

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS  
ENGENHARIA DE MATERIAIS

PAULO CÉSAR GUIMARÃES JÚNIOR

ASPECTOS COMPARATIVOS ENTRE AS AREIAS DE FUNDIÇÃO: NOVA E PÓS  
RECUPERAÇÃO (TÉRMICA E MECÂNICA)

BELO HORIZONTE

2020

PAULO CÉSAR GUIMARÃES JÚNIOR

ASPECTOS COMPARATIVOS ENTRE AS AREIAS DE FUNDIÇÃO: NOVA E PÓS  
RECUPERAÇÃO (TÉRMICA E MECÂNICA)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Curso de Graduação em Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Me. Joao Bosco dos Santos

BELO HORIZONTE

2020

PAULO CÉSAR GUIMARÃES JÚNIOR

ASPECTOS COMPARATIVOS ENTRE AS AREIAS DE FUNDIÇÃO: NOVA E PÓS  
RECUPERAÇÃO (TÉRMICA E MECÂNICA)

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado no Curso de Graduação em  
Engenharia de Materiais do Centro Federal  
de Educação Tecnológica de Minas Gerais  
como requisito parcial para obtenção do  
título de Bacharel em Engenharia de  
Materiais.

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Me. João Bosco dos Santos

---

Prof. Dr. Ernane Rodrigues da Silva

---

Prof. Dr. Joel Lima

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, a Deus, pelas oportunidades proporcionadas e por toda a força no decorrer da minha caminhada de formação.

A minha maior inspiração de vida, meus pais, Elisa e Paulo César, a minha irmã Gabriela e Lorryne Caroline, por todo apoio. Obrigada por serem meu alicerce, por acreditarem em mim e me motivar sempre.

Ao CEFET-MG pela oportunidade de me desenvolver em uma instituição de ensino de qualidade.

Ao orientador deste trabalho, João Bosco, por todas as orientações dadas e pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

Aos meus orientadores na iniciação científica que fiz no Laboratório de Fundação do CEFET-MG, Joel Lima e João Bosco.

Aos meus amigos que sempre estiveram dispostos a me ajudar e fizeram com que essa caminhada fosse mais leve.

E, a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, fizeram parte desta formação.

## **RESUMO**

O insumo areia vem sendo utilizado nos últimos anos como matéria prima para as fundições de não ferrosos e principalmente de ferrosos, deveria ser recuperado após seu uso na fundição, e vem sendo continuamente utilizado após a sua recuperação pelas empresas do setor, uma vez que suas características intrínsecas interferem na qualidade do componente fundido de alto conteúdo tecnológico. No presente estudo, ao pesquisar por métodos de ensaio de recuperação que sejam mais eficazes e que poderão ser aplicados a este insumo, principalmente, quando aglomerada com resina após sua utilização pela indústria de fundição, observou-se a presença dos métodos mecânicos e térmicos de recuperação em toda literatura pesquisada. Decidiu-se por quantificar o número de publicações mais relevantes dos últimos 5 anos, que justificassem estabelecer uma linha de pesquisa sobre o tema a partir de uma pesquisa no banco de dados disponíveis do estado da arte de recuperação da areia aglomerada. Verificou-se que o número de publicações de reutilização deste insumo para a indústria da construção civil na fabricação de blocos de concreto, mostrou-se bem mais numeroso do que aplicação industrial de recuperação da areia.

Palavras-chave: fundição; areia; recuperação; mecânica; térmica.

## **ABSTRACT**

The foundry sand has been used in recent years as raw material for non-ferrous and mainly ferrous casting, it should be recovered after its use in the foundry, and has been continuously used after its recovery by companies in the sector, since its intrinsic characteristics interfere in the quality of the cast component with high technological content. In the present study, when searching for recovery test methods that are more effective and that can be applied to this input, especially when agglomerated with resin after its use by the foundry industry, the presence of mechanical and thermal methods of recovery in all researched literature. It was decided to quantify the number of most relevant publications in the last 5 years, which would justify establishing a line of research on the topic based on a search in the available state-of-the-art database for recovering agglomerated sand. It was found that the number of publications of reuse of this input for the construction industry in the manufacture of concrete blocks, proved to be much more numerous than the industrial application of sand recovery.

**Keywords:** foundry; sand; reclamation; mechanical; thermal.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Desenho esquemático da morfologia dos tipos de grãos de areia.....	19
Figura 2 - Morfologia dos grãos de areia de fundição.....	20
Figura 3 - Reação de obtenção da resina fenólica.....	24
Figura 4 - Reação de obtenção das resinas furânica.....	25
Figura 5 - Fluxograma processo de recuperação mecânica.....	28
Figura 6 - Fluxograma processo de recuperação térmica.....	29
Figura 7 - Regeneração via leito fluidizado.....	30
Figura 8 - Fluxograma metodologia.....	33

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Propriedades da areia de silícica utilizada no processo de fundição.....	19
Tabela 2 - Requisitos para seleção de estudos sobre recuperação da areia de fundição aglomerada quimicamente.....	34
Tabela 3 - Palavras-chave utilizadas para pesquisa em banco de dados.....	35

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABIFA	Associação Brasileira de Fundição
AFS	American Foundry Society
Areia N.P	Areia nova de processo
Areia R.M	Areia recuperada mecanicamente
Areia R.T	Areia recuperada termicamente
CEMP	Comissão de Estudos de Matérias Primas
FF/FA	Fenol-formol/álcool furfurílico
Resina FF	Resina fenol-formol
Resina UF	Resina ureia-formol (UF)
rpm	Rotações por minuto
UF/FA	Ureia-formol/ álcool furfurílico
BDTD	Biblioteca digital brasileira de teses e dissertações
ADF	Areia Descartada de Fundição
CPAD	Central de processamento, armazenamento e destinação

## SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO.....	12
2 - OBJETIVOS.....	14
2.1 - Objetivos gerais.....	14
2.2 - Objetivos específicos.....	14
3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1 - Fundição.....	15
3.1.1 - Fundição em moldes de areia.....	15
3.1.2 - Etapas do processo de fundição em moldes de areia.....	16
3.1.2.1 - Confecção do Modelo.....	16
3.1.2.2 - Moldagem.....	16
3.1.2.3 - Macharia.....	17
3.1.3 - Areia de fundição .....	18
3.1.3.1 - Propriedades da areia de fundição .....	18
3.1.3.2 - Composição química .....	18
3.1.3.3 - Morfologia do grão de areia.....	19
3.1.3.4 – Granulometria.....	20
3.1.3.5 - Temperatura de fusão.....	21
3.1.3.6 - Pureza da areia.....	21
3.1.3.7 - Disponibilidade e viabilidade econômica .....	21
3.1.4 - Mistura de areia e aglomerante .....	21
3.1.4.1 - Propriedades da mistura .....	22
3.1.4.2 - Vida de banca .....	22
3.1.4.3 - Tempo de cura .....	22
3.1.4.4 - Escoabilidade .....	22
3.1.4.5 - Consistência .....	22
3.1.4.6 - Colapsibilidade.....	22
3.1.5 - Aglomeração da areia de fundição .....	23
3.1.5.1 - Tipos de aglomerantes: resinas .....	23
3.1.5.2 - Resina fenólica .....	23
3.1.5.3 - Resina furânica .....	24
3.1.6 - Propriedades da resina de utilizada no processo de fundição .....	25
3.1.6.1 - Potencial de hidrogênio .....	26
3.1.6.2 - Tempo de gel .....	26

3.1.6.3 - Tempo de cura .....	26
3.1.6.4 - Teor nitrogênio .....	26
3.1.7 - Modos de reutilizar a areia retornando para o processo.....	26
3.1.7.1 - Recuperação mecânica .....	27
3.1.7.2 - Recuperação térmica .....	28
3.1.7.2.1 - Equipamentos utilizados na regeneração térmica .....	29
4 - ESTADO DA ARTE .....	31
5 - METODOLOGIA .....	33
6 - RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	35
7 - CONCLUSÃO .....	38
8 - SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS .....	39
9 - REFERÊNCIAS .....	40
10 - ANEXOS .....	43

## 1- INTRODUÇÃO

A indústria utiliza diversos recursos em seus processos, transformando estes recursos em produtos e/ou serviços, que é fundamental para o desenvolvimento econômico e social de uma sociedade organizada. Durante esta transformação envolvida no processo de aquisição de bens, problemas podem ser gerados, e cabe aos profissionais com graduação nas diversas modalidades das engenharias empregarem seus conhecimentos técnicos e habilidades para agregar valores neste contexto da geração riquezas para uma nação. Assim, as habilidades e especificidades de diversos ramos das engenharias, e neste caso da Engenharia de Materiais, objeto deste trabalho de conclusão de curso, surge como um diferencial na interlocução de informações técnicas específicas de negociações com os outros ramos do processo de fabricação, numa fundamentação decisiva, mas articulada de definição de um determinado processo envolvido de uma empresa do seguimento da tecnologia de fundição.

Logo, a gestão destes recursos, principalmente quando os mesmos não são renováveis, tornasse também numa responsabilidade também social envolvidas para executar, por exemplo, a adequação ou descarte de uma areia de fundição, somente se todas as possibilidades de recuperação deste material já foram equacionadas pelo conhecimento prévio deste profissional. É desejável lembrar que um Engenheiro de Materiais seja capaz de apresentar análises que considerem de forma clara todo o cenário e contexto envolvido e faça contribuições que abordem de maneira ampla os aspectos chaves e possam trazer avanços e melhorias.

Neste sentido, os termos utilizados de recuperação, regeneração e reutilização, já são amplamente definidos e citados em normas que tratam da questão pelo aspecto técnico do processo de fundição e pelo aspecto da gestão de resíduos. A norma NBR 15984 por exemplo, denomina a areia de fundição quando utilizada recebe o nome de ADF – Areia Descartada de Fundição ao passo que a Central de processamento, armazenamento e destinação (CPAD) aos locais e instalações onde a areia é tratada e aí cabe destaque a três (3) funções: reuso, reciclagem ou disposição.

A areia de fundição é um insumo milenar que permite a fabricação de componentes metálicos, desde as peças mais básicas até as mais complexas, com dimensões e formatos variados, permitindo a fabricação de peças únicas ou em escala, com elevada viabilidade econômica, quando comparada aos demais processos de conformação dos materiais metálicos (BALDAM; VIEIRA, 2013). Este é um tipo de

processamento dos materiais metálicos, que consiste no vazamento de uma liga metálica no estado líquido dentro da cavidade de um molde, negativo da peça a ser formada, após a solidificação da liga metálica no interior do molde (SIEGEL, 1982).

O processo de fundição faz a utilização de recursos naturais não renováveis, em especial a areia, no processo de fundição em areia, como o próprio nome sugere. Este recurso natural não renovável é utilizado na fundição para a fabricação de moldes e machos, sendo eles responsáveis pelo formato que o metal líquido irá adquirir. A areia para poder ser utilizada na fundição necessita ser aglomerada com alguma substância que provoque a sua aglomeração e forneça resistência suficiente para suportar as ações do metal líquido. Assim, é comum que as fundições utilizem aglomerantes químicos, como resinas termofixas para realizarem a aglomeração da areia e assim conseguir modelar a mistura areia e resina para os formatos desejados para a fabricação de um componente metálico no processo de fundição (DORIS *et al.*, 1989).

Devido às excelentes propriedades que as resinas termofixas entregam para o processo de fundição como excelente colapsibilidade, baixo teor de água, possibilidade de conformação de morfologias complexas, variedade de resinas disponíveis conforme o tipo de liga e capacidade de resistir a capacidade as ações do metal líquido durante o processo (DORIS *et al.*, 1989). Com isto as resinas são utilizadas em grande escala na fundição com a intenção de atender os padrões cada vez mais rigorosos desejados para as peças fundidas, no entanto após o processo de fabricação das peças cria-se o problema que é o descarte da areia de fundição ou a sua reutilização no processo, uma vez que a areia aglomerada não é um material inerte e pode promover a contaminação do meio ambiente e é também inadequada para ser reutilizada no processo de fundição (PIRES, 2012; PEIXOTO, 2003).

Visando mitigar o problema gerado pelas areias de fundição aglomeradas quimicamente, este trabalho visou estudar dois processos para a reutilização da areia no próprio processo de fundição. O primeiro processo é a regeneração térmica e o segunda a recuperação mecânica, assim foi comparado as principais propriedades das areias tratadas com a areia nova de processo, com a finalidade de aumentar a sustentabilidade do processo.

## **2- OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivos gerais**

Pesquisar os métodos de recuperação mecânica e térmica das areias aglomeradas quimicamente utilizada no processo de fundição para fabricação de moldes e machos em banco de dados;

### **2.2 Objetivos específicos**

- Avaliar os aspectos da areia de fundição nova e pós recuperação mecânica e térmica;
- Comparar a características de perda ao fogo, granulometria, vida de banca e pH de areias nova e aglomeradas quimicamente após o processo de recuperação mecânica e termicamente.

### **3- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

O capítulo Revisão Bibliográfica discorre sobre os conceitos necessários para o entendimento do tema deste trabalho de conclusão de curso, seguido de uma pesquisa do estado da arte sobre o tema apresentado conforme, RESOLUÇÃO CGRAD 33/20, de 02 setembro de 2020, Art. 5º - Os Trabalhos de Conclusão de Curso I e II deverão ser adaptados para serem desenvolvidos de maneira remota, respeitadas as especificidades teóricas e metodológicas das diferentes áreas do conhecimento. Recomendam-se os seguintes formatos: I - Revisão da literatura; II - Estudo de caso; III - Descrição do estado da arte; IV - Projetos editoriais; V - Projetos de engenharia; VI - Simulações computacionais; VII - Outros formatos que o orientador julgar adequado à área do conhecimento. Portanto, na orientação deste trabalho definiu-se dentre esses formatos, pela descrição do estado da arte.

#### **3.1 - Fundição**

A areia de fundição é um insumo milenar que permite a fabricação de produtos metálicos, desde as peças mais básicas até as mais complexas, com dimensões e formatos variados, permitindo a fabricação de peças únicas ou em escala, com elevada viabilidade econômica, quando comparada aos demais processos de conformação dos materiais metálicos (BALDAM; VIEIRA, 2013).

Este é um tipo de processamento dos materiais metálicos, que consiste no vazamento de uma liga metálica no estado líquido dentro da cavidade de um molde, negativo da peça a ser formada, após a solidificação da liga metálica no interior do molde (SIEGEL, 1982).

##### **3.1.1 - Fundição em moldes de areia**

A fundição em areia é o processo mais utilizado para a produção de componentes fundidos, principalmente para ligas ferrosas, pois a areia é um material refratário e de elevado ponto de fusão, assim este material é utilizado para a confecção dos moldes, por isto o nome do processo “fundição em moldes de areia”. A peça formada é resultada do vazio formado entre o molde e os machos (CALLISTER JR; RETHWISCH, 2016; BALDAM; VIEIRA, 2013).

O objetivo deste trabalho é estudar o impacto da regeneração térmica e da recuperação mecânica da areia de fundição aglomerada quimicamente, com as propriedades da areia de sílica virgem. Portanto o processo de fundição em moldes de areia será abordado com maior ênfase a partir de deste parágrafo, por se tratar do método mais tradicional e que utiliza a areia aglomerada quimicamente em grande escala (moldagem e macharia). O processo em areia não utiliza apenas areia aglomerada quimicamente, há outras formas utilizadas para aglomerar a areia de fundição, por exemplo, a areia a verde (GUESSER, W.L.; MASIERO, I., 1981).

### **3.1.2 - Etapas do processo de fundição em moldes de areia**

A produção de componentes fundidos envolve várias etapas, sendo a primeira a elaboração do desenho técnico da peça a ser confeccionada ou a utilização de uma peça já existente com características semelhantes àquela desejada. A próxima etapa envolve a elaboração do projeto, que irá definir o processo de fabricação a ser adotado, quais serão as etapas e as variáveis para a fabricação da peça, com o projeto finalizado, um modelo é confeccionado (CHIAVERINI, V., 1986)

#### **3.1.2.1 - Confeção do Modelo**

O modelo é uma peça com design semelhante à peça final, porém as principais diferenças são maiores dimensões para compensar a retração que a peça final irá sofrer com o resfriamento, ângulos de saída para facilitar a extração da peça do molde, formando assim a cavidade que irá formar a peça fundida e marcações para macho, responsável por detalhes e vazios internos no fundido.

#### **3.1.2.2 - Moldagem**

O molde será o recipiente que será responsável por receber o metal líquido e forma a peça projetada, junto com os machos. No processo de moldagem, em geral os produtos utilizados são areia, aglomerante, catalisador e desmoldante. Nesta etapa a escolha dos produtos utilizados são fundamentais para as propriedades da peça que será produzida (BALDAM; VIEIRA, 2013).

Com o modelo em condições de trabalho, a etapa de moldagem em areia é iniciada, com o posicionamento do modelo e das peças responsáveis pelos componentes massalote, saída de gases e conjuntos responsáveis pelo canal de vazamento. Assim duas caixas são produzidas, a inferior e a superior respectivamente, com a união das caixas o molde é formado (CHIAVERINI, V., 1986)

O massalote é a região de fornecimento de metal líquido, localizada adjacente à peça, sua função é fornecer metal líquido para a peça, compensar as contrações durante o processo de solidificação e não permitir que o vazio ou rechupe seja formado na peça (BALDAM; VIEIRA, 2013).

Em seguida ocorre preparação do molde que consiste em abrir as mesmas e posicionar os machos, realizar a operação de acabamento do canal de vazamento e de saída de gases deixado pelo molde para facilitar a desmoldagem. Ao final deste procedimento a caixa superior é posicionada sobre a inferior, formando o molde e são travadas ou imobilizadas para o vazamento do metal líquido (CHIAVERINI, V., 1986).

### **3.1.2.3 - Macharia**

Macharia é o nome recebido para o local onde os machos são produzidos. O processo de confecção do macho ocorre paralelamente ou antecipadamente ou processo de confecção do molde, uma vez que os machos serão posicionados no molde. Para alguns autores o macho pode ser definido também como o componente do molde (PEDRO, 2013). O processo para fabricação de um macho em geral envolve a utilização de areia, aglomerante, catalisador e desmoldante (para retirada do macho do molde) que são aglomerados no interior de um molde dando origem ao macho, uma tipo de peça que dará origem à cavidades internas e formação de detalhes na peça, com o macho produzido o mesmo é encaixado sobre o molde de formando uma peça única para receber o metal líquido no processo de vazamento (TUPY, 2014).

A fundição apesar de ser uma técnica milenar apresenta diversas variáveis e derivações de processos que permitem a fabricação de uma elevada gama de peças, desde as de maior complexidade até as mais básicas. Por este motivo a fundição é um processo utilizado em elevada escala para produção dos mais diversos tipos de componentes (GUESSER, W.L.; MASIERO, I., 1981).

### **3.1.3 - Areia de fundição**

A areia é um recurso natural não renovável que é utilizado no processo de fundição, por apresentar as características necessárias, necessárias para a produção de um componente fundido, com viabilidade econômica (OLIVEIRA, T.M.N.; COSTA, R.H.R., 2000).

#### **3.1.3.1 - Propriedades da areia de fundição**

Para a utilização de um tipo areia no processo de fundição e os subsequentes, uma série de variáveis devem ser levadas em consideração, como composição química, morfologia do grão, granulometria, expansibilidade, densidade, temperatura de fusão, pureza (incluindo presença de orgânicos), disponibilidade e viabilidade econômica, estes são os principais requisitos são fatores que influenciam na escolha da areia a ser utilizada (DORIS et al, 1989).

#### **3.1.3.2 - Composição química**

A areia de sílica é composta majoritariamente pelo dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) é um dos tipos mais utilizados, devido a sua grande abundância na crosta terrestre e facilidade para extração (SCHEUNEMANN, 2005; PEIXOTO, 2003). A sílica apresenta ponto de fusão entre 1370 e 1760 °C, a morfologia de seus grãos podem variar desde angulares até arredondados e apresenta peso específico de aproximadamente 2,65 g/cm<sup>3</sup>. Um fator que influencia a utilização da sílica é a sua reatividade elevada com alguns metais como no caso do magnésio, o ferro metálico em geral não tende a reagir com a sílica exceto quando se encontra no estado oxidado, pois do estado de óxido poderá iniciar a reação de escorificação da sílica.

**Tabela 1 - Propriedades da areia de sílica utilizada no processo de fundição**

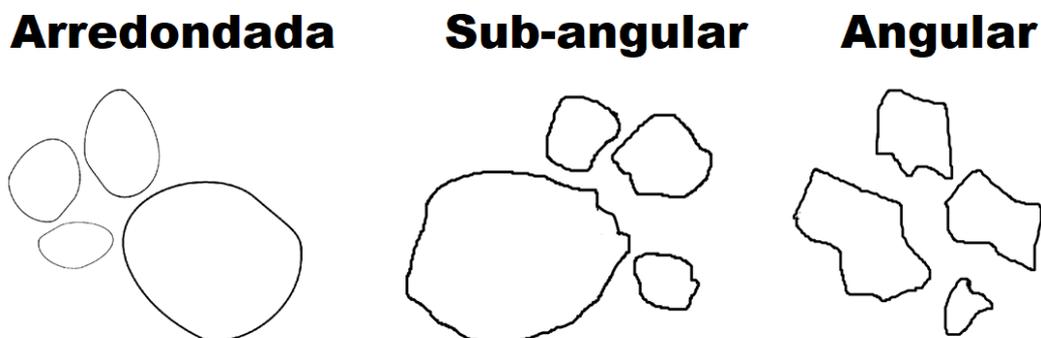
Característica	Sílica
Cor	Marrom - amarelado
Formato do grão	Arredondado - angular
Exp. Térm (1600 °C)	0,013
Reatividade química	Ácido-neutro
Ponto de fusão (°C)	1370 - 1760
Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )	2,65

Fonte: PEIXOTO, 2003 (Adaptado)

### 3.1.3.3 - Morfologia do grão de areia

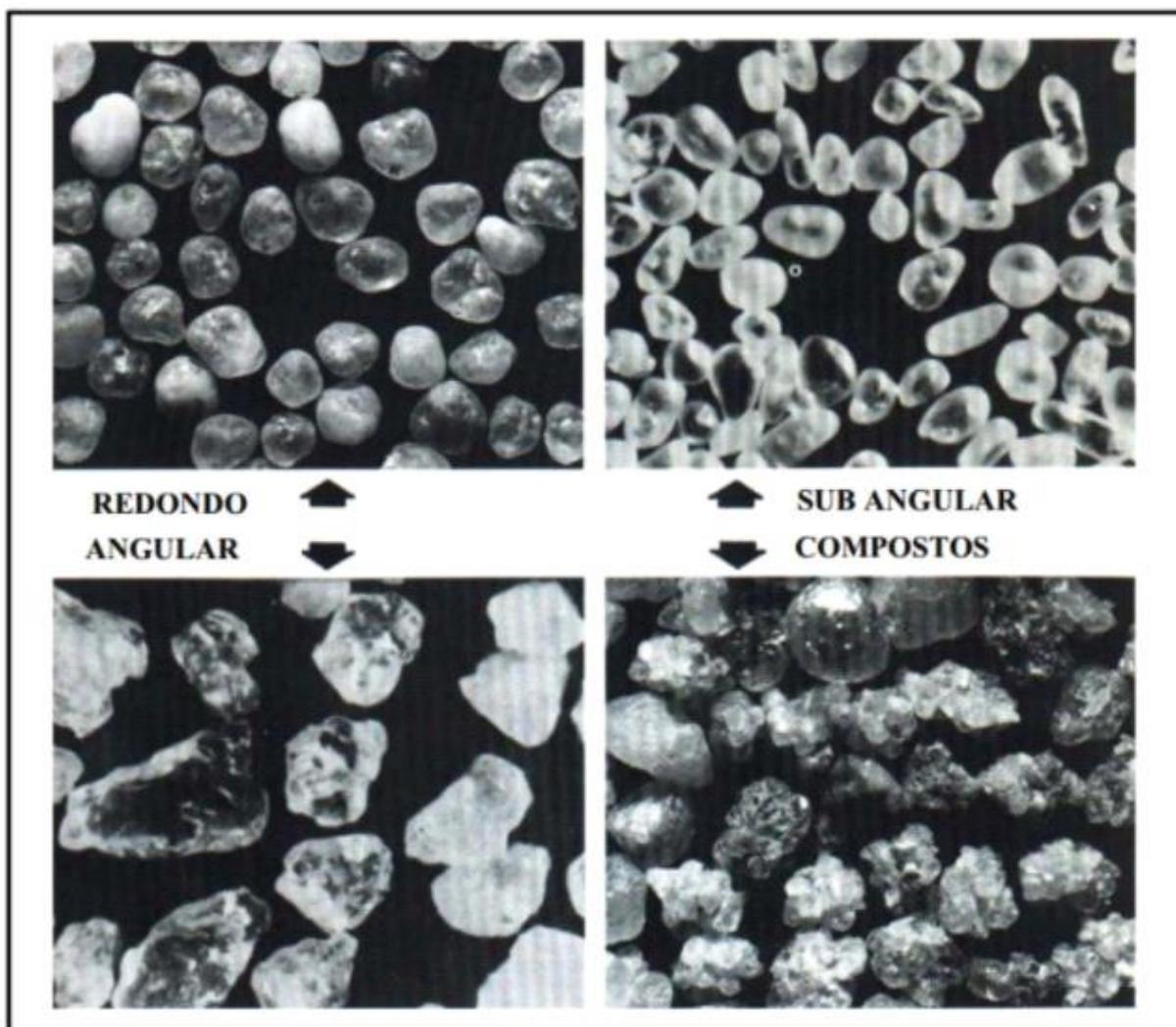
Segundo a American Foundry Society (AFS), as areias podem ser classificadas em quatro tipos, conforme a sua morfologia (PEIXOTO, 2003). Os grãos arredondados tendem a ser mais interessantes do ponto de vista da fundição, uma vez que produzem peças com melhor acabamento superficial, reduzem o consumo de ligante devido à menor área superficial e tendem a formar películas uniformes ao seu redor, além de promover maior compactação dos moldes e machos e conseqüentemente maior densidade em relação a uma areia angular. No entanto nem sempre as areias com grãos arredondados são utilizadas, há a utilização de morfologias angulares, quando a reatividade da areia com a liga metálica é elevada, quando a temperatura de fusão é inadequada e por questões econômicas também, como disponibilidades locais e custos para obtenção (BALDAM; VIEIRA, 2013).

**Figura 1 – Desenho esquemático da morfologia dos tipos de grãos de areia**



Fonte: Produzido pelo autor

**Figura 2 - Morfologia dos grãos de areia de fundição**



Fonte: SANDERS, 1973

### 3.1.3.4 - Granulometria

No campo da fundição a forma como a classificação em relação às dimensões das partículas de areia são padronizadas pela AFS (American Foundry Society), no qual consiste na média ponderada dos tamanhos de areia obtido em uma amostra que passou por um processo denominado análise granulométrica (GUESSER, W.L.; MASIERO, I., 1981). A análise consiste na adição de uma amostra de areia em um peneirador mecânico dotado de um conjunto de peneiras dotado de malhas com perfurações, sendo a primeira malha (a que está ao fundo) a que as perfurações possuem as menores dimensões, formando um sistema crescente (de cima para baixo) em relação às dimensões dos furos das malhas. Assim após o período estimado para o ensaio, as malhas terão retido a

amostra, ficando a parte mais fina da amostra ao fundo e a parte mais grosseiras nas peneiras do topo, assim a quantidade retirada em cada peneira é levada para uma balança, com os resultados encontrados será calculado a granulometria, que será expressa como o módulo de finura.

### **3.1.3.5 - Temperatura de fusão**

Pode-se produzir peças metálicas em moldes metálicos e moldes não metálicos, no entanto as peças não ferrosas são produzidas geralmente em moldes de aço, devido a baixo ponto de fusão da liga fundida, já as peças de materiais ferrosos são produzidas normalmente em moldes de areia, isto ocorre pois as temperaturas de fundição para este tipo de liga são superiores às dos metais não ferrosos como no caso do alumínio e magnésio, assim faz-se a opção por materiais refratários e de maior ponto de fusão, por isto a utilização de moldes de areia para produção de peças de ligas de ferro (PEIXOTO, 2003).

### **3.1.3.6 - Pureza da areia**

A pureza é uma das principais exigências para as areias de fundição, uma vez que a presença de impurezas pode provocar maior reatividade e redução do ponto de fusão da areia (OLIVEIRA, T.M.N.; COSTA, R.H.R., 2000).

### **3.1.3.7 - Disponibilidade e viabilidade econômica**

Dentre os fatores fundamentais para a escolha da areia de fundição a ser utilizada em um determinado processo está a disponibilidade local e o custo para a aquisição desta areia, a escolha não se baseia apenas em critérios de propriedades físicas e químicas (SCHEUNEMANN, 2005)

### **3.1.4 - Mistura areia e aglomerante**

As propriedades comentadas acima são da areia e com frequência acontece a confusão entre propriedades da areia e da mistura (areia e aglomerante), a partir deste momento, este trabalho irá ser dedicado a explicar as propriedades da mistura.

#### **3.1.4.1 - Propriedades da mistura**

Dentre as principais propriedades desejadas para mistura areia e aglomerante está a vida de banca, tempo de cura, escoabilidade e consistência.

#### **3.1.4.2 - Vida de banca**

A vida de banca é definida como o tempo em que se pode trabalhar uma mistura (areia e aglomerante) sem que ocorra perdas de propriedades que impactem no processo de fundição (JOAQUIM, 2012).

#### **3.1.4.3 - Tempo de cura**

Tempo de cura é definido como o tempo gasto para a mistura (areia e resina) atingirem a cura após exposição ao catalisador ou outro agente de cura (DORIS *et al*, 1989).

#### **3.1.4.4 - Escoabilidade**

A escoabilidade é definida como a propriedade que permite os grãos da areia fluírem entre si durante um processo de moldagem, assim quando uma força é aplicada sobre o volume de areia mais aglomerante, a mistura tende a preencher os espaços vazios adquirindo assim forma própria. Em geral quanto maior a escoabilidade, menor será o esforço para a mistura copiar determinada forma.

#### **3.1.4.5 - Consistência**

A consistência é definida como a capacidade da mistura de areia com aglomerante manter a forma na qual foi modelada (BALDAM; VIEIRA, 2013).

#### **3.1.4.6 - Colapsibilidade**

Propriedade da mistura areia e aglomerante perder a resistência mecânica após a solidificação da peça (PEDRO, 2013).

### **3.1.5 - Aglomeração da areia de fundição**

O intuito deste trabalho é realizar a comparação entre os processos de regeneração térmica e mecânica da areia de fundição aglomeradas com aglomerantes químicos. Na década de 1950, aglomerantes químicos como as resinas passaram a ser utilizados principalmente na fabricação de machos, representando a evolução do processo de macharia que até então utilizava óleos, em especial o de linhaça, para promover a aglomeração da areia de fundição. Possibilitando assim a redução de custos de produção, redução do tempo do processo, aumento da resistência mecânica, machos com melhor acabamento, melhor colapsibilidade, melhor estabilidade a verde e após curado também (DORIS *et al*, 1989).

#### **3.1.5.1 - Tipos de aglomerantes: resinas**

As resinas podem ser classificadas de duas formas, sendo a primeira a classe de resinas termoplásticas são materiais que possuem a capacidade de ganhar mobilidade quando aquecidas e se enrijecerem ou solidificarem, quando resfriadas. Já a segunda classe são as resinas termofixas após se enrijecerem ou solidificarem não possuem a capacidade de voltar a ter mobilidade com o aumento de temperatura, no caso dos materiais termofixos é necessário que algum agente externo provoque a cura e/ou polimerização. São as resinas termofixas as utilizadas na fundição (BALDAM; VIEIRA, 2013).

#### **3.1.5.2 - Resina fenólica**

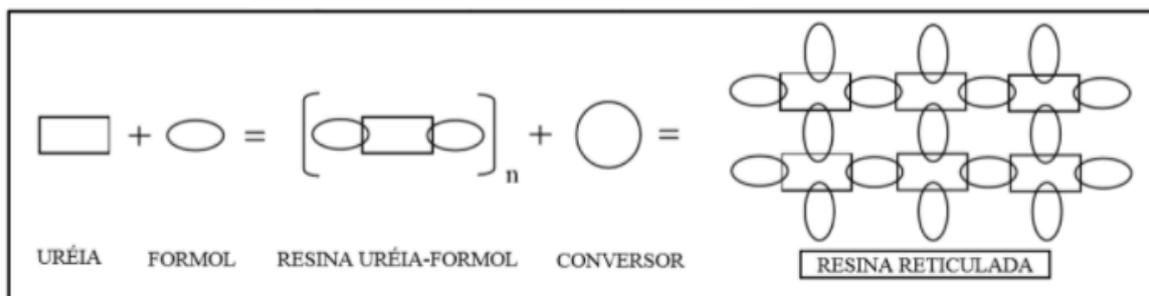
A resina fenólica também é conhecida como resina fenol-formol ou FF, sendo ela uma resina termofixa gerada pela reação entre fenol e formol. A utilização industrial das resinas fenólicas ocorreu em 1910 para a produção de vernizes de equipamentos elétricos (DORIS *et al*, 1989).

As resinas fenólicas podem seguir duas vias para processamento sendo uma alcalina e a outra ácida. A resina fenólica, quando alcalina pode se apresentar na forma líquida ou sólida e exigem elevadas temperaturas para cura, cerca de 130 °C (nesta temperatura apenas a ação da temperatura é suficiente para iniciar o processo de polimerização), entretanto também é possível obter resinas fenólicas que se curam à

temperatura ambiente mediante a adição de catalisadores (DORIS *et al*, 1989), conforme figura 3.

Quando obtida por via ácida são sólidas, no entanto é possível trabalhar com elas no estado líquido, quando administradas com solventes. Para realizar a polimerização destas resinas é necessário a adição de um catalisador, sendo a hexamina o mais utilizado, a resinas fenólicas, quando ácidas exigem elevadas temperaturas para cura e podem ser armazenadas por elevado tempo. Tanto na forma alcalina quanto na forma ácida a resina fenólica possui aplicação na fundição para a aglomeração de resinas para machos e moldes, porém a escolha do tipo deve ser analisada conforme a compatibilidade com as demais variáveis do processo.

**Figura 3 - Reação de obtenção da resina fenólica**



Fonte: MARIOTTO, 2001

### 3.1.5.3 - Resina furânica

A resina furânica é formada por três componentes ativos a ureia-formol/ álcool furfurílico (UF/FA) ou fenol-formol/álcool furfurílico (FF/FA), sendo esta uma resina líquida termofixa e que é catalisada por agentes ácidos (DORIS *et al*, 1989).

As principais modalidades deste tipo de resina utilizada no processo de fundição são:

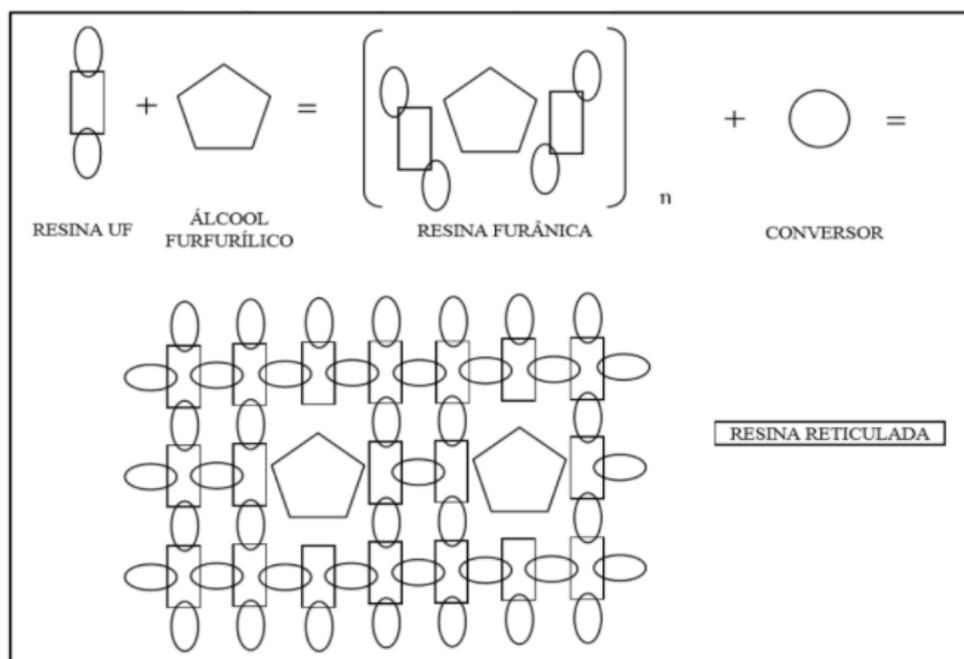
- Resina uréica-furânica (UF/FA): nesta resina o teor de álcool furfurílico varia entre 30 e 80% e apresenta elevadas variações nos teores de nitrogênio e água. É utilizada para a fabricação de peças de alumínio e ferros fundido de baixa liga, no entanto se o nível de nitrogênio for elevado pode comprometer as propriedades do fundido devido a formação de porosidades.

- Resina fenólica-furânica: nesta resina o teor de álcool furfurílico varia entre 30 e 70%, conforme figura 4. Devido à ausência de nitrogênio é utilizada para a fabricação de peças aço, ferro fundido nodular e ferro fundido de alta resistência.

- Resina uréica-fenólica-furânica (UF/FA): nesta resina o teor de álcool furfurílico varia entre 40 e 85% e apresenta baixa concentração de nitrogênio. É utilizada em geral para a fabricação de peças aço, ferro fundido nodular e ferro fundido de alta resistência (DORIS *et al*, 1989).

A cura da resina furânica ocorre na presença de um catalisador, quando são do tipo de cura a quente o produto utilizado em geral é a hexamina. Já quando utilizada para a cura a frio a cura ocorre com ácidos fortes como o ácido fosfórico, ácido paratolueno sulfônico e ácido xileno sulfônico. A utilização do ácido fosfórico pode provocar a formação de fosfatos que podem transferir fósforo para o metal e até inviabilizar a recuperação da areia.

**Figura 4 - Reação de obtenção das resinas furânica**



Fonte: MARIOTTO, 2001

### 3.1.6 - Propriedades da resina de utilizada no processo de fundição

Dentre as principais variáveis dentro de um processo de fabricação de machos e moldes estão as propriedades das resinas utilizadas, sendo elas potencial de hidrogênio, tempo de gel, tempo de cura e teor de nitrogênio.

### **3.1.6.1 - Potencial de hidrogênio**

Potencial de hidrogênio pode ser definido como o valor que revela o quão ácido ou alcalino uma solução é (DORIS *et al*, 1989).

### **3.1.6.2 - Tempo de gel**

Tempo de gel é definido como o tempo decorrido para a resina entrar em estado gelatinoso ou aumento elevado da viscosidade após a exposição da resina ao agente de cura, como catalisador e temperatura.

### **3.1.6.3 - Tempo de cura**

Tempo de cura é definido como o tempo decorrido para cura da resina após a exposição da resina ao agente de polimerização, como catalisador e temperatura (DORIS *et al*, 1989).

### **3.1.6.4 - Teor nitrogênio**

É definido como a concentração de nitrogênio presente em uma resina, elevadas concentrações podem provocar defeitos no fundido como porosidade. Na análise de teor de nitrogênio em uma resina é calculado o teor de nitrogênio que poderá ser liberado durante o vazamento.

### **3.1.7 - Modos de reutilizar a areia retornando para o processo**

Um dos maiores passivos ambientais do processo de fundição são os resíduos de areia contaminadas com aglomerantes químicos, assim existem diversas linhas de estudo de formas de mitigar a este resíduo utilizando em um processo industrial como na produção de vidros, na construção civil e reutilização no processo de fundição (PIRES, 2012; NASCIMENTO *et al*, 2018). Este trabalho irá abordar as formas de retornar à areia aglomerada com resina para o processo de fundição.

Dentre as vias disponíveis para tratar a areia de fundição contaminada com resina os processos de maior destaque são a recuperação a úmido, mecânica, regeneração

térmica e tratamento químico via fenton (MARIOTTO, 2001; PEIXOTO; GUESSER, 2003).

O foco deste trabalho é realizar a comparação entre as areias de fundição: nova e pós recuperação mecânica e térmica, por este motivo apenas estas duas vias de recuperação serão abordadas a seguir.

### **3.1.7.1 - Recuperação mecânica**

A recuperação mecânica da areia de fundição tem como objetivo restabelecer as propriedades perdidas da areia nova de fundição durante o processo de aglomeração utilizando resinas (SPONCHIADO *et al*, 2017).

O processo de recuperação por forma mecânica visa realizar a retirada da resina que está promovendo a coalescência dos grãos de areia via impacto contra os aglomeração ou fricção (atrito), promovendo a retirada da camada aglomerante e possíveis danos a areia como perda da morfologia original e conseqüentemente formação de partículas finas (SPONCHIADO *et al*, 2017), conforme figura 5.

A recuperação da areia iniciasse com a etapa de destorroamento dos aglomerados de areias provenientes de machos e moldes, estas uniões são comumente chamadas de torrões no meio industrial. Nesta etapa os torrões são encaminhados para equipamentos que promovem vibração para que ocorra a desaglomeração dos grãos de areia, o equipamento em que esta etapa correr é dotado de malhas com perfurações, sendo a primeira malha (a que está ao fundo) a que as perfurações possuem as menores dimensões, formando um sistema crescente (de cima para baixo) em relação às dimensões dos furos das malhas. A finalidade o conjunto de malhas perfuradas na ordem explicada acima é promover a colisão preferencialmente entre os torrões e promover maior eficiência no processo, os finos formados são retirados por um exaustor (PEIXOTO, 2003).

Além dos finos no processo de destorroamento também é possível promover a retirada de partes metálicas remanescentes do processo de vazamento. Nas situações onde os torrões possuem elevadas dimensões pode ocorrer a britagem a fim de aumentar a eficiência do destorroamento.

A etapa de destorroamento promove a desaglomeração, porém junto com a desaglomeração ocorre a retirada parcial da camada de resina e a quebra do grão de areia devido a fricção e impactos sofridos (SPONCHIADO *et al*, 2017).

**Figura 5 - Fluxograma processo de recuperação mecânica**



Fonte: PEIXOTO, 2003

### 3.1.7.2 - Regeneração térmica

A regeneração da areia de fundição tem como objetivo entregar uma areia com condições semelhante a uma areia nova de forma que seu desempenho esteja próximo areia inicial (SCHEUNEMANN, 2005).

A regeneração por via térmica visa restabelecer as propriedades originais da área e para isto, utiliza o aquecimento para promover a degradação do material orgânico que promove a ligação dos grãos de areia, em geral o material que promove a união é polimérico, proveniente da cura de uma resina polimérica (PEIXOTO, 2003). O processo térmico é reconhecido por ser o processo que apresenta maior eficiência para realizar a limpeza da superfície do grão de areia, uma vez neste processo o material é degradado devido a ação da temperatura (FERREIRA JR., 2016; COMISSÃO DO MEIO AMBIENTE DA ABIFA, 1999).

O processo de regeneração térmica tende a ser mais oneroso financeiramente, quando comparado a recuperação mecânica via atrito, uma vez que exige equipamentos mais complexos que atuam geralmente entre 450 e 900 °C, gastos com fontes de energia para alimentação dos fornos e custos com resfriadores, no entanto é um sistema utilizado desde meados do século XX, por apresentar possibilidade de regeneração de areia ligada

a diversos tipos de materiais orgânicos (PEIXOTO, 2003; TAYLOR, 1983; FOUNDRY TRADE JOURNAL INTERNATIONAL, 1987; COMISSÃO DO MEIO AMBIENTE DA ABIFA, 1999), conforme figura 6.

A regeneração térmica ocorre geralmente em atmosfera oxidante, em condições que permitam a degradação do material polimérico que envelopa os grãos de areia (PEIXOTO, 2003; FOUNDRY TRADE JOURNAL INTERNATIONAL, 1987). O processo descrito acima ocorre principalmente em três tipos de equipamentos, os fornos verticais, rotativos e leito fluidizados, a temperatura que de processo flutua conforme as dimensões do equipamento, necessidade produtiva e tempo de permanência da areia no forno (COMISSÃO DO MEIO AMBIENTE DA ABIFA, 1999; PEIXOTO, 2003).

**Figura 6 - Fluxograma processo de regeneração térmica**



Fonte: PEIXOTO, 2003

### 3.1.7.2.1 - Equipamentos utilizados na regeneração térmica

Os principais equipamentos utilizados para o processo de regeneração térmica são os fornos verticais, rotativos e leito fluidizado (PEIXOTO, 2003).

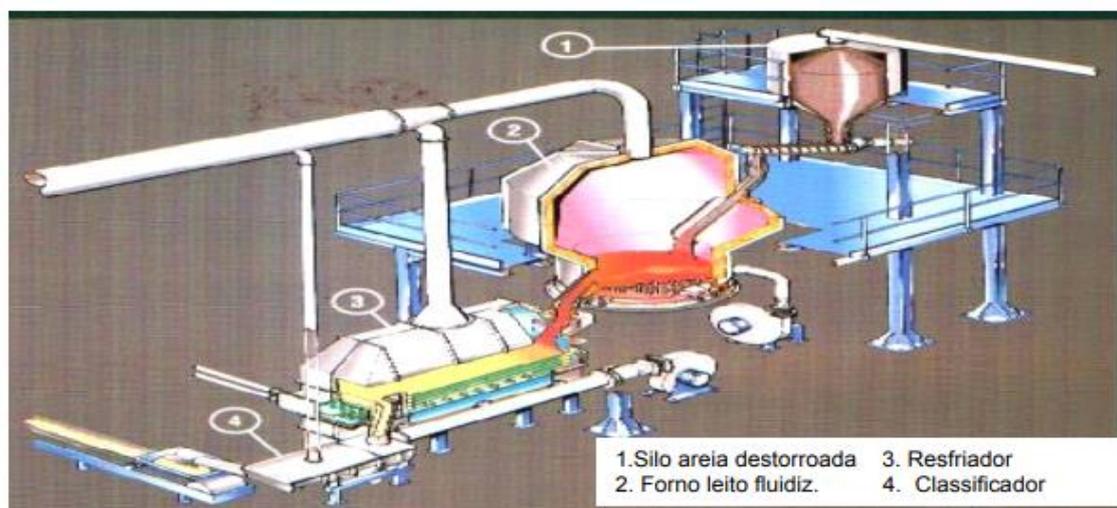
No processo via fornos verticais, a areia é inserida pela parte superior do equipamento, que será transferida para a parte inferior do equipamento através de partes rotativas e perfurações existentes no equipamento que permitem o trânsito interno da areia

no interior do equipamento, durante o deslocamento ocorre a calcinação do material que recobre os grãos de areia devido ao fluxo de gases em elevadas temperaturas, produzidos por queimadores. Os gases permeiam dentro do forno através das perfurações.

Outra forma de realizar a regeneração da areia de fundição por via térmica é a utilização de **fornos rotativos**, neste processo o ar em alta temperatura é direcionado no interior de um tubo em rotação no sentido oposto ao de alimentação de areia, promovendo assim a limpeza da película orgânica que revestia o grão de areia, este processo é conhecido como indireto e nele a areia a ser regenerada é inserida na extremidade mais elevada do tubo que deve ser ligeiramente inclinado em relação a horizontal. Já o processo direto os queimadores estão localizados na mesma extremidade de alimentação da areia é alimentada.

Por fim o leito fluidizado, de acordo com figura 7, uma outra forma de realizar a regeneração térmica da areia aglomerada quimicamente. Neste processo a areia a ser regenerada é suspensa através de fluxo de ar em elevada temperatura até apresentar características de um fluido. Desta forma a areia com a película de material polimérico estará em contato o ar quente promovendo assim a degradação do material orgânico que recobre o grão, o resfriamento acontece da mesma maneira, no entanto o ar que envolve os grãos de areia estará em menor temperatura, ocorrendo assim a refrigeração (PEIXOTO; GUESSER, 2003)

**Figura 7 - Regeneração via leito fluidizado**



Fonte: PEIXOTO; GUESSER, 2003

#### 4 - ESTADO DA ARTE

O estado da arte é uma referência ao estado atual de conhecimento sobre um determinado tópico que está sendo objeto de análise ou estudo. De forma geral, o estado da arte representa o nível mais alto de um processo de desenvolvimento, seja de um aparelho, de uma técnica ou de uma área científica, alcançado até um determinado momento. Porém, em alguns contextos, pode se referir também ao nível de desenvolvimento alcançado até um determinado momento. Por exemplo, em trabalhos científicos e acadêmicos, é comum o destaque do estado da arte como parte da introdução, como mecanismo para se estabelecer um ponto de partida para o estudo proposto (MARCONI, M.A.; LAKATOS, E. M, 2003).

Nesta fase de condução do trabalho está associado a um mapeamento do tema que está sendo pesquisado e que possibilitará o conhecimento e/ou reconhecimento de outros estudos que estão sendo, ou já foram realizados no Brasil (em alguns casos no mundo) com temáticas, ou linhas de pesquisa, iguais ou parecidas a que você está estudando.

Logo, entende-se por estado da arte como uma linguagem acadêmica atual sobre determinado tema que poderá ser obtida por meio de uma pesquisa em base de dados, como por exemplo: a sielo, ou ao catálogo de teses e dissertações da CAPES, ou à biblioteca digital brasileira de teses e dissertações (BDTD), science direct entre outras bases de dados, onde busca-se o conhecimento de como se apresenta naquele momento determinado tema que está sendo pesquisado e que é publicado pela literatura científica.

Assim, este tema da pesquisa pode surgir a partir de um questionamento próprio na busca de respostas para determinado fenômeno observado, ou de uma indagação, ou mesmo de uma provocação sugerida por um professor ou grupo de pesquisa de onde se participa. Neste contexto específico de definir um tema para o projeto de conclusão de curso, surgiu a questão do presente estudo: de quais seriam as possibilidades obtidas no processo de recuperação da areia aglomerada utilizada na fabricação dos moldes e machos deste insumo tão essencial na tecnologia de produção de componentes fundidos? Quais seriam os melhores métodos existentes já praticados pela indústria de fundição no mundo? Quais características destas areias seriam mais relevantes na avaliação destes insumos após recuperação da areia, sem comprometer sua especificidade como um elemento fundamental da fundição? Em que momento deveria ser descartado este material refratário? Poderia ser reutilizado em outro segmento do processo industrial?

De posse de muitos questionamentos que pudessem surgir ao longo desta fase inicial, definiu-se algumas palavras chaves, a saber: recuperação, areia aglomerada com resina e fundição, que serviriam de uma base inicial para começar esta pesquisa. Portanto, foram utilizadas nesta etapa da pesquisa a busca por estes termos já mencionados nos bancos de dados já mencionados anteriormente, como: BDTD, o catalogo de teses da capes e o portal da science direct.

Como método empregado, delimitou-se as respostas que foram surgindo, para cada artigo selecionado, e se inteirava do conteúdo publicado pela leitura do resumo do artigo e registrava-se em anotações à parte, e em alguns momento, salvando os artigos que trouxessem algum interesse imediato de uma metodologia praticada, de uma técnica apresentada que fosse mais relevantes ou dos índices alcançados e relatados pelos textos. Afim de delimitar a pesquisa, algumas questões foram determinadas, tais como:

- Quais foram as quantidades de artigos científicos publicados? existem linhas de pesquisa determinadas para este tema estudado? houve citações sobre este tema específico em diferentes revistas de diferentes linhas?

- Optou-se como método de inclusão nesta fase da pesquisa, em adotar os últimos 3 anos, bem como a técnica de exclusão da pesquisa para períodos maiores do que 5 anos, ou seja, delimitou-se em ordem temporal, para aferir como vem sendo tratado esta temática mais recentemente;

- Quais são os órgãos, institutos e empresas que estão a frente nesta questão da recuperação da areia aglomerada, trata-se de um processo economicamente viável, existe novas tecnologia de construção de equipamentos para realizar esta separação, e o impacto do descarte deste insumo, como ele é re-utilizado?

Em relação a forma de se delimitar este estado da arte apoia-se na sua relevância acadêmica, de aplicação industrial na recuperação deste insumo dentro da própria fundição ou no seu descarte final. Nestas pesquisas nos bancos de dados que foram realizadas, verificou-se uma lacuna, ou seja, se houve maior incidência ou ausência completa sobre este tema. Portanto, abrindo-se possibilidades de mais uma linha de pesquisa que poderão num futuro ser estabelecida para busca de respostas para esta questão.

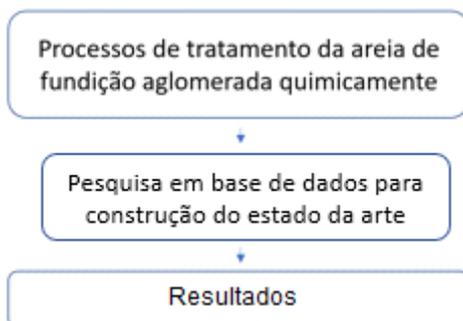
## 5 METODOLOGIA

O estudo, referente aos aspectos comparativos entre as areias de fundição: nova e pós recuperação (térmica e mecânica), visou apresentar a comparação entre os processos de tratamento mecânico e térmico desta areia aglomeradas quimicamente após sua utilização como molde e/ou machos.

A metodologia foi dividida em duas partes, conforme figura 8, sendo que a primeira está relacionada a pesquisa bibliográfica em portais de base de dados de pesquisa. A segunda parte consiste na avaliação das características da areia após ser tratada mecânica e termicamente em relação à areia nova.

A primeira parte do trabalho consistiu em pesquisa bibliográfica referente ao estado da arte da recuperação da areia de fundição, onde utilizou-se de palavras-chaves associadas ao tema investigado. Após a pesquisa, uma série de informações relevantes foram encontrados, norteando o sentido da pesquisa que se estabelece na comparação entre os métodos mecânicos e térmicos na recuperação da areia aglomerada.

**Figura 8 - Fluxograma metodologia**



Fonte: Produzido pelo autor

A segunda parte consistiu na seleção de trabalhos mais relevantes que estudaram a recuperação térmica ou a recuperação mecânica da areia de fundição aglomerada quimicamente. Os critérios utilizados para a triagem dos trabalhos foram abordar sobre a recuperação térmica ou recuperação mecânica da areia de fundição aglomerada quimicamente e apresentaram ensaios de perda ao fogo, granulometria e demanda ácida.

**Tabela 2 - Requisitos para seleção de estudos sobre recuperação da areia de fundição aglomerada quimicamente**

<b>Requisitos</b>
Abordar sobre a recuperação mecânica e térmica da areia de fundição aglomerada quimicamente
Apresentar ensaios de perda ao fogo, granulometria e demanda ácida

Fonte: Produzido pelo autor

## 6 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

**Tabela 3 - Palavras-chave utilizadas para pesquisa em banco de dados**

<b>Palavras-chave</b>
Fundição
Areia aglomerada
Recuperação
Foundry
Sand
Reclamation

Fonte: Produzido pelo autor

Dentre as características de controle que apareceram para avaliar as areias recuperadas mecânica e termicamente estão sempre presentes: a perda ao fogo, módulo de finura, tamanho médio do grão e a demanda ácida. A vida de bancada que estava previsto na revisão bibliográfica não foi registrada em nenhum dos artigos analisados.

Na base de dados do BDTD, observou-se uma ausência sistêmica de teses e dissertações associadas ao processo de recuperação da areia aglomeradas para utilização na indústria de fundição, ao mesmo tempo que verificou-se um presença constante envolvendo as questões de aplicação deste resíduo da fundição na fabricação de blocos de concreto para construção civil. Fica evidente uma lacuna no estado da arte associado à pesquisa acadêmica de recuperação desta areia aglomerada em contrapartida a quantidades de trabalhos associados ao impacto ambiental de destino deste resíduo. Percebe-se que a areia aglomerada é vista como resíduo, e matéria prima para outros processos subsequentes, mas não como insumo recuperado para a indústria de fundição. Na contextualização da revisão sistemática, verificou-se que nos últimos 5 anos pouco se publicou sobre este tema, e todas as publicações convergem para um mesmo lugar comum.

Ao passo que na revisão integrativa, observou-se tem aparecido inúmeras publicações sobre aproveitamento dos resíduos como insumo para o concreto, isto ficou bem evidenciado pelo número de publicações em revistas de impacto ambiental e reutilização deste resíduo para o ramo da construção civil.

Após tentar estabelecer um ponto de convergência nestas publicações sobre a recuperação das areias aglomeradas quimicamente de fundição, fica claro que elas são um subproduto das indústrias de fundição e que são utilizadas para fazer moldes, devido as resinas fenólicas que são usadas para unir os grãos de areia de sílica e dar forma ao

molde, pelo menos foi o que consegue-se apurar sobre o estado da arte deste tema específico.

Prevenindo impactos ambientais como o aterro, muitas pesquisas foram realizadas para encontrar uma forma adequada de recuperação da areia e avaliação da limpeza de sua superfície. Outro ponto de convergência, de acordo com Severo et al (2018) ficou evidente destas publicações que o processo de recuperação mecânica quase nunca atinge 100% de limpeza. Na maioria dos resultados, os valores de perda por ignição sempre apresentaram-se reduzidos quando se compararam com areia nova, que na maioria das vezes é adotada como padrão.

Algo apresentado por todos os pesquisadores foram os resultados obtidos pela combinação dos dois processos de recuperação, ou seja, a mecânica associada a recuperação térmica, e isto acabou por conduzir para a redução do tempo e eventual temperatura de remoção da resina devido à remoção parcial da camada de resina ou ao seu enfraquecimento durante o processo de recuperação mecânica.

Em geral, os resultados da recuperação térmica no leito fluidizado foram bastante satisfatórios em relação à eficiência desta recuperação, conforme constataram, Mohd et al (2020) e Meera et al (2017).

Como explicação para o mecanismo observado, tudo indica que o material aglutinante desativa-se quando exposto à alta temperatura ( $\sim 1400$  ° C) do metal fundido, e como resultado, esses ligantes formam depósitos fracamente ligados a superfície dos grãos de areia.

A proposta de pesquisa e estudo comparando os dois tipos de métodos de recuperação mecânica e térmica, sempre esteve associado a preocupação do descarte de areia residual de fundição e continua sendo um dos desafios significativos enfrentados pela indústria de fundição atualmente. E, portanto, sempre objetivando utilizar as areias na produção de moldes e machos nas fundições, geralmente as amostras, depois de serem recuperadas mecanicamente ou termicamente, ou pela combinação de ambos, eram comparadas usando vários itens de controle. Dentre estes itens para caracterizá-las incluíse: o módulo de finura do grão, a perda por ignição, valor de demanda de ácido (ADV) e distribuição de tamanho de grão, ou seja, uma adequação da areia recuperada ao processo de fundição.

Os resultados mostraram que nenhum desses tratamentos é suficiente para remover completamente os depósitos de resina sobre a superfície dos grãos de areia, no

entanto, areia recuperada exclusivamente mecanicamente mostrou-se mais adequada para a produção de moldes.

Dentre estas publicações, uma metodologia muito interessante tem sido proposta associando a mudanças de cor dos grãos de areia durante o processo de recuperação, e neste processamento da imagem vem apresentando bons resultados como uma técnica útil para estimar a recuperação (Mohammad et al, 2019). O método de recuperação térmica associado a uma metodologia de superfície resposta (RSM) tem sido usados como a forma mais adequada de recuperação e avaliados em projeto de experimentos. Onde amostras são aquecidas em diferentes temperaturas e tempo, e assim acaba-se por produzir mudanças de cor das amostras que são medidas usando a técnica de processamento de imagem pela detecção de mudanças nos parâmetros do sistema de coordenadas de cores VVA (Vermelho, Verde, Azul), e a variação das mesmas. Em síntese, os resultados dos testes revelam que os compostos fenólicos são removidos durante o processo de recuperação, o que faz com que a cor da areia mude de preto para quase branco. Baseando nisso, um modelo linear é desenvolvido para prever os valores VVA relativos às variações de tempo ou temperatura, onde os resultados aprovam que uma investigação sobre os valores de variação e fornecem uma estimativa precisa do nível de recuperação de grãos de areia (menos de 10% de erro) para orientar sua reutilização nas indústrias de fundição.

## **7 – CONCLUSÃO**

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram confirmar o interesse acadêmico, principalmente pela reutilização da areia aglomerada com resina na indústria da construção civil.

O interesse industrial neste tratamento de recuperação da areia aglomerada após o uso pela fundição, em especial com a utilização da recuperação mecânica e térmica, revelou-se mais comedido, em relação ao impacto ambiental sempre presente em reutilizar este tipo de descarte da fundição.

## **8 - SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS**

Apesar dos trabalhos encontrados sugerir aplicações industriais na recuperação mecânica e térmica da areia aglomerada, algumas lacunas foram muito perceptíveis, abrindo possibilidades da criação de linhas de pesquisa para essa demanda industrial

## REFERÊNCIAS

ABIFA Associação Brasileira de Fundição. Disponível em: <<https://www.abifa.org.br/>> Acesso em 06 dez. 2020

ABNT NBR 15984, Areia descartada de fundição – Central de processamento, armazenamento e destinação (CPAD). Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=088523>> Acesso em 05 dez. 2020

ANDRADE, R. M. *et al.* **Foundry sand recycling in the troughs of blast furnaces: a technical note.** Journal of Materials processing Technology, v. 159, n. 1, 2005.

BALDAM, R. L.; VIEIRA, E. A. **Fundição: processos e tecnologias correlatas.** São Paulo: Érica, 2013.

BRAGA, T. R.; SOUZA, J. O. C. B.; PEREIRA, F. F. C. **Influência da utilização de areia de cura a frio recuperada nas propriedades mecânicas da areia e acabamento do fundido**, p. 1685-1696. In: 72nd ABM Annual Congress, São Paulo, 2017. ISSN: 2594-5327, DOI 10.5151/1516-392X-30526.

BRASIL, A. B.; MARTINEZ, C. B.; NASCIMENTO FILHO, J. **Projeto e Construção de um Modelo de Turbina Pelton em Escala Reduzida.** In: II Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, João Pessoa, Brasil. 2002. p. 01-10.

CALLISTER JR, William D.; RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia de materiais - Uma introdução**, 9ª Edição, 2016.

CHIAVERINI, V. **Tecnologia mecânica.** Volume 2. 2ª ed. São Paulo: McGraw Hill, 1986

CILLA, M. S.; MORELLI, M.R. **Effect of addition of inorganic components on the mechanical strength of sand molds for casting.** Revista Cerâmica, v. 58, n. 345, 2012.

COMISSÃO, DO MEIO AMBIENTE DA ABIFA. **Manual de Regeneração e Reuso de Areias de Fundição.** São Paulo: ABIFA, 1999.

DORIS, R. *et al.* **Resinas sintéticas para fundição.** Alba Química. 1. ed. São Paulo: Editora Cultura, 1989.

FERREIRA JR., C. A. **Projeto e fabricação de um regenerador térmico laboratorial para areia de fundição.** Relatório de Estágio Supervisionado. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2016.

FOUNDRY TRADE JOURNAL INTERNATIONAL. Sand Reclamation – the choic is yours. Foundry Trade Journal International. N. 35, v. 10, sept. 1987. P. 138-142

GUESSER, W.L.; MASIERO, I. **Controle de sistema de Areias.** In: ANAIS DI SIMPOSIO DE CONTROLE DE SISTEMA DE AREIAS, São Paulo: ABM, 1981.

JOAQUIM, R. G. **Aglomerantes de base poliuretano para aplicação em areias de fundição**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais). Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

MARCONI, M.A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos da metodologia científica**. 5ª ed., Atlas. São Paulo: 2003.

MARIOTTO, C. L. **Regeneração de areias: uma tentativa de discussão temática**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., 2001.

MEERA, K. J. *et al.* **Moulding sand recycling and reuse in small foundries**. Procedia Manufacturing, v. 7, n. 1, 2017.

MOHD, M. K. *et al.* **Mechanical and thermal methods for reclamation of waste foundry sand**. Journal of Environmental Management Available, 2020.

MOHD, M. K. *et al.* **Reclamation of used green sand in small scale foundries**. Journal of Materials processing Technology, v. 255, n. 1, 2018.

NASCIMENTO, T. S. *et al.* **Caracterização de areias de construção para utilização em fundição**, p. 735-742. In: 49º Seminário de Aciaria, Fundição e Metalurgia de Não-Ferrosos, São Paulo, 2018.

OLIVEIRA, J. C. D. de. **Estudo experimental da regeneração térmica de areia de macharia em leito fluidizado**. 2007. [s.n.]. Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

OLIVEIRA, T.M.N.; COSTA, R.H.R. **Areia de fundição: uma questão ambiental**. Departamento de Engenharia sanitária e Ambiental. Florianópolis: UFSC, 2000.

PARK, C. L. *et al.* **The regeneration of waste foundry sand and residue stabilization using coal refuse**. Journal of Hazardous Materials, v. 203-204, n. 1, 2012.

PEDRO, J. F. **Elaboração de ligante para areia de macharia a partir de resíduo de tinta em pó, oriundo do processo de pintura eletrostática**. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade Socioeconômica e Ambiental). Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2013.

PEIXOTO, F. **Regeneração térmica de areia ligada quimicamente**. 135 p.2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais e Processos Avançados). Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2003.

PEIXOTO, F.; GUESSER, W. L. **Reutilização de areia regenerada termicamente**. In: Congresso Nacional de Fundição, 2003, São Paulo. Trabalhos do CONAF, 2003.

PIRES, D. C. *et al.* **Avaliação de areia fenólica usada de fundição regenerada em escala industrial por método mecânico**. In: Anais do 3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente. 2012, Bento Gonçalves, Brasil. Nova Santa Rita: PROAMB, 2012.

Processo de fundição. Disponível em:

<[http://ri.tupy.com.br/conteudo\\_pt.asp?idioma=0&conta=28&tipo=54401](http://ri.tupy.com.br/conteudo_pt.asp?idioma=0&conta=28&tipo=54401)>. Acesso em 31 out. 2020.

PROSZEK, D. *et al.* **Otimização de processo de regeneração mecânica de areia fenólica usada de fundição.** p. 8337-8347. In: 69º Congresso Anual da ABM - Internacional, São Paulo - Brasil, 2014.

RUBIO, J. C. *et al.* **Qualidade superficial de peças de alumínio fundidas em molde de areia.** Revista Materia, v. 11, n. 2, 2006.

SABOUR, M. R. *et al.* **Utilization of color change and image processing to evaluate the waste foundry sand reclamation level.** Journal of Materials Research and Technology, v. 9, n. 1, 2020.

SANDERS, A. C. **Foundry sand practice.** Illinois: American Colloid Company, 1973.

SCHEUNEMANN, R. **Regeneração de areia de fundição através de tratamento químico via processo fenton.** 2005, 85f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

SEVERO, J. A. *et al.* **Thermal regeneration of waste foundry phenolic sand in a lab scale fluidized bed.** Revista Materia, v. 23, n. 1, 2018.

SIEGEL, Miguel *et al.* Fundição. **Notas de Aulas. ABM–Associação Brasileira de Metais.** 13ª ed. São Paulo: Édile Serviços Gráficos e Editora Ltda, 1982.

SILVA, C. E. *et al.* **The influence of recycled cold set on the mechanical proprieties and surface characteristics of molds used in casting process.** Revista Escola de Minas, v. 65, n. 1, 2012.

SPONCHIADO, M. J. C. *et al.* **Revisão sobre utilização de resíduos de areias de fundição recuperadas.** Revista Academus, v. 5, n. 1, 2017. Disponível em: <<https://www.revistaacademus.com.br/revista/index.php/revistaacademus/article/view/44/56>>. Acesso em: 21 set. 2020.

TAYLOR, D. A. **Trends in sand reclamation.** Beira Journal. V 31, report 1525, may 1983.

ZANETTI, M. C.; FIORE, S. **Foundry processes: the recovery of green molding sands for core operations.** Resources, Conservation and Recyclin, v. 38, n. 3, 2003.

## ANEXOS

## ANEXO A - Base de Dados da SCIENCE DIRECT - pesquisando por recuperação de areia

The screenshot shows a web browser window displaying the ScienceDirect search results for the query 'SAND RECLAMATION'. The page header includes the ScienceDirect logo, navigation links for 'Journals & Books', and a user profile for 'Joao Santos'. The search bar contains the query 'SAND RECLAMATION' and a search icon. Below the search bar, there are options for 'Advanced search' and 'Find articles with these terms'. The results section shows '9,370 results' and a 'Set search alert' button. On the left, there are 'Refine by' filters for 'Years' (2021: 82, 2020: 854, 2019: 685) and 'Article type' (Review articles: 687, Research articles: 8,683, Encyclopedia: 253, Book chapters: 1,794). Below these are 'Publication title' filters (Science of The Total Environment: 444, Ecological Engineering: 286, Water Research: 230). The main results list includes:

- Download selected articles** [Export](#) sorted by *relevance* | *date*
- Research article**  
Mechanical and thermal methods for **reclamation** of waste foundry **sand**  
Journal of Environmental Management, Available online 14 November 2020, ...  
Mohd Moiz Khan, S. M. Mahajani, ... S. Mandre  
[Abstract](#) [Export](#)
- Research article** **Open access**  
Utilization of color change and image processing to evaluate the Waste Foundry **Sand reclamation** level  
Journal of Materials Research and Technology, 13 December 2019, ...  
Mohammad Reza Sabour, Mohammadamin Akbari, Ghorbanali Dezvareh  
[Download PDF](#) [Abstract](#) [Export](#)
- Research article**  
The effectiveness of Yellow lupine (*Lupinus luteus* L.) green manure cropping in **sand mine cast reclamation**  
Ecological Engineering, 17 February 2017, ...  
Marcin Pietrzykowski, Piotr Gruba, Gregory Sproull  
[Abstract](#) [Export](#)
- Research article**  
Rendering plant wastewater **reclamation** by coagulation, **sand** filtration, and ultrafiltration  
Chemosphere, 7 April 2019, ...  
M. Racar, D. Dolar, ... K. Košutić  
[Abstract](#) [Export](#)
- Research article**  
**Reclamation of food waste sand** in small scale foundries

The bottom of the screenshot shows the Windows taskbar with the system clock at 13:32 on 07/12/2020.

## ANEXO B - Desdobrando a pesquisa por títulos da publicação

The screenshot shows a web browser window displaying search results on Scopus. The search query is 'SAND%20RECLAMATION' and the results are sorted by relevance. The page shows 9,370 results. On the left, there are filters for 'Refine by' including 'Years' (2021, 2020, 2019) and 'Article type' (Review articles, Research articles, Encyclopedia, Book chapters). Below that, 'Publication title' filters are listed for various journals. The main content area displays a list of search results, each with a checkbox, a title, journal information, authors, and options to view the abstract or export the article.

9,370 results

Download selected articles Export sorted by relevance | date

Refine by:

Years

- 2021 (82)
- 2020 (854)
- 2019 (685)

Show more

Article type

- Review articles (687)
- Research articles (8,683)
- Encyclopedia (253)
- Book chapters (1,794)

Show more

Publication title

- Science of The Total Environment (444)
- Ecological Engineering (286)
- Water Research (230)
- Desalination (228)
- Journal of Hydrology (224)
- Geoderma (213)
- Ocean & Coastal Management (210)
- Marine Pollution Bulletin (202)
- CATENA (200)
- Chemosphere (196)
- Agricultural Water Management (194)

Research article

Mechanical and thermal methods for reclamation of waste foundry sand  
Journal of Environmental Management, Available online 14 November 2020, ...  
Mohd Moiz Khan, S. M. Mahajani, ... S. Mandre  
Abstract Export

Research article Open access

Utilization of color change and image processing to evaluate the Waste Foundry Sand reclamation level  
Journal of Materials Research and Technology, 13 December 2019, ...  
Mohammad Reza Sabour, Mohammadamin Akbari, Ghorbanali Dezvareh  
Download PDF Abstract Export

Research article

The effectiveness of Yellow lupine (*Lupinus luteus* L.) green manure cropping in sand mine cast reclamation  
Ecological Engineering, 17 February 2017, ...  
Marcin Pietrzykowski, Piotr Gruba, Gregory Sproull  
Abstract Export

Research article

Rendering plant wastewater reclamation by coagulation, sand filtration, and ultrafiltration  
Chemosphere, 7 April 2019, ...  
M. Racar, D. Dolar, ... K. Kožutić  
Abstract Export

Research article

Reclamation of used green sand in small scale foundries  
Journal of Materials Processing Technology, 10 January 2018, ...  
Mohd Moiz Khan, Manvendra Singh, ... Shashank Mandre  
Abstract Export

Research article

Green sand reclamation using a fluidized bed with an attrition nozzle  
Resources, Conservation and Recycling, November 2009, ...  
Nestor Cruz, Cedric Briens, Franco Berruti

Feedback

13:33  
07/12/2020

## ANEXO C - Base de Dados da SCIENCE DIRECT - pesquisando por areia de fundição

The screenshot shows a web browser window displaying the ScienceDirect search results for the query "SAND OF FOUNDRY". The page header includes the ScienceDirect logo, navigation links for "Journals & Books", and a user profile for "Joao Santos". The search bar contains the query "SAND OF FOUNDRY" and a search icon. Below the search bar, there are options for "Advanced search" and "Find articles with these terms".

The search results section shows 2,778 results, sorted by relevance. The results are listed in a table-like format with checkboxes for selection and options for "Download selected articles" and "Export". The results are as follows:

Article Type	Title	Journal/Source	Availability	Authors
<input type="checkbox"/> Research article	Study of sustainable concrete property containing waste foundry sand	Materials Today: Proceedings	Available online 3 December 2020, ...	O. R. Kavitha, G. Shyamala, V. Akshana
<input type="checkbox"/> Research article	Mechanical and thermal methods for reclamation of waste foundry sand	Journal of Environmental Management	Available online 14 November 2020, ...	Mohd Moiz Khan, S. M. Mahajani, ... S. Mandre
<input type="checkbox"/> Research article	Feasibility of sustainable construction materials for concrete paving blocks: A review on waste foundry sand and other materials	Materials Today: Proceedings	Available online 29 November 2020, ...	Ashwini R. Patil, Sheetal B. Sathe
<input type="checkbox"/> Research article	Study on performance enhancement of self-compacting concrete incorporating waste foundry sand	Construction and Building Materials	9 April 2020, ...	Anuj Parashar, Paratibha Aggarwal, ... Shashank Bishnoi

On the left side of the page, there are filters for "Refine by":

- Years: 2021 (14), 2020 (256), 2019 (195), Show more
- Article type: Review articles (230), Research articles (2,548)
- Publication title: Construction and Building Materials (154), Materials Today: Proceedings (117), Journal of Materials Processing Technology (110), Journal of Cleaner Production (108), Materials Science and Engineering: A (87), Wear (79), Science of The Total Environment (53)

The Windows taskbar at the bottom shows the time as 13:33 on 07/12/2020.

## ANEXO D - Refinando a pesquisa por artigos revisados, artigos pesquisados, estudo de casos, registro de patentes, guia prático e comunicações

The screenshot shows a web browser window with the URL `sciencedirect.com/search?q=SAND%20OF%20FOUNDRY&articleTypes=REV%2CFLA`. The browser's address bar and tabs are visible at the top. The main content area displays a search filter interface with the following sections:

- Title, abstract or author-specified keywords:** A text input field.
- Title:** A text input field.
- References:** A text input field.
- ISSN or ISBN:** A text input field.
- Article types** (with a help icon): A grid of checkboxes for selecting article types. The checked options are: Review articles, Research articles, Case reports, and Patent reports.

At the bottom of the filter section, there are two buttons: "Cancel" and "Search Q".

The Windows taskbar is visible at the bottom of the screen, showing the system tray with the time 13:34 and date 07/12/2020.