



**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL**  
**CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**ISADORA ZANARDI**

**RESÍDUO AREIA DE FUNDIÇÃO COMO OBJETO DE ESTUDO NOS  
PROGRAMAS *STRICTO SENSU* NO BRASIL**

**CAXIAS DO SUL**

**2018**

**UNIVERSIDADE DE CAXAS DO SUL**  
**CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**ISADORA ZANARDI**

**RESÍDUO AREIA DE FUNDIÇÃO COMO OBJETO DE ESTUDO NOS  
PROGRAMAS *STRICTO SENSU* NO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como parte dos requisitos  
necessários para obtenção da aprovação  
na disciplina de Trabalho de Conclusão de  
Curso II do Curso de Engenharia  
Ambiental da Universidade de Caxias do  
Sul.

Orientadora: Prof. Dra. Suzana Maria De  
Conto.

**CAXIAS DO SUL**

**2018**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por estar sempre presente, proporcionando fé, força e foco.

Aos meus pais, por serem meus exemplos de persistência, proatividade, lealdade e por me aconselharem nas minhas escolhas.

A minha professora e orientadora, Suzana Maria De Conto, pela dedicação e orientações prestadas durante a realização deste trabalho.

Aos meus amigos, que assim como meus pais, são pessoas que admiro muito e espero que estejam sempre por perto.

Aos meus colegas de aula e de trabalho, por estarem presentes em todos os momentos do curso, compartilhando momentos de alegrias e de aflições.

*"If you can dream it, you can do it. "*

**Walt Disney**

## RESUMO

O processo de fundição é uma técnica antiga conhecida na área da metalurgia. Por ainda estar presente em grande quantidade no meio ambiente, a areia torna-se um material de custo baixo para a fabricação dos moldes da fundição, podendo ser utilizada nas mais variadas composições. O objetivo de estudo é mapear a produção do conhecimento em relação ao resíduo sólido industrial areia de fundição nos programas *Stricto Sensu* no Brasil, no período de 1987 a 2016, analisando quais as tendências e as opções tecnológicas existentes. No estudo foram analisadas as produções localizadas no catálogo da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, 2018b), utilizando a expressão “areia de fundição”. O estudo realizado demonstrou que as pesquisas acadêmicas, em relação ao resíduo areia de fundição, são realizadas desde a década de 90 e, nos últimos anos, apresentaram-se com interesse crescente. As regiões Sul e Sudeste apresentaram a maior quantidade de estudos relacionados a esse tema. Também, esse estudo demonstrou que, todas as produções analisadas obtiveram resultados que comprovaram viabilidade técnica, ambiental e econômica, desde que seguidos determinados parâmetros recomendados pelos autores. O tema mais pesquisado nas produções acadêmicas analisadas foi em relação ao uso da areia descartada de fundição como matéria-prima na fabricação de produtos da construção civil, seguido de práticas de regeneração e tratabilidade, impacto ambiental, caracterização do perfil ambiental das fontes geradoras e diagnóstico e prognóstico do setor de fundição.

**Palavras-chave:** Areia de fundição. Programas de Pós-Graduação *Stricto Sensu*. Resíduos sólidos. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

## ABSTRACT

The casting process is an advanced series in the area of metallurgy. Because it is present in large quantities in the environment, sand becomes a low cost material for the manufacture of casting molds, and can be used in various compositions. The objective of the study is to map *stricto sensu* in Brazil, in the Portuguese from 2016 the analysis of the solid in the digital damage to the development in the software *stricto sensu* in Brazil, the period of 1987 to 2016. However, the study was not analyzed as one of the most advanced coordination techniques of Higher Level Improvement (CAPES, 2018b), using the expression "casting sand". The study showed the existence of a decade of 90, in the last years, decorating with increasing interest. The South and Southeast regions have a greater number of studies related to this theme. Also, this study showed that all the analyzed productions obtained results that proved the technical, environmental and economic viability, since the ones followed were the vectors of appeal by the authors. The most researched theme in the academic productions analyzed was the use of sand in the civil construction industry, such as civil construction, regeneration and treatability practices, environmental impact, characterization of the environmental profile of the generating and diagnostic sources and prognosis of the foundry sector.

**Keyword:** Casting sand. *Stricto Sensu* Graduate Programs. Solid waste. Coordination of Improvement of Higher Level Personnel.

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1** – Etapa de vazamento de metal fundido em molde.**Erro! Indicador não definido.**

**Figura 2** - Corte transversal de molde de fundição.....17

**Figura 3** – Componentes de automóveis fabricados pelo processo de fundição.....17

**Figura 4** – Fluxograma do processo de fundição.....18

**Figura 5** – Fluxograma de entradas e saídas do processo de fundição. ....19

**Figura 6** – Areia de moldagem já no formato para o processo de fundição. .... **Erro! Indicador não definido.**

**Figura 7** – Número de programas de pós-graduação *Stricto Sensu* no Brasil.....39

**Figura 8** – Número de cursos de pós-graduação *Stricto Sensu* no Brasil, apresentados pela CAPES, das regiões brasileiras.....40

**Figura 9** – Produções que estudam o resíduo areia de fundição por regiões do Brasil. ....48

**Figura 10** – Número de produções que estudam o resíduo areia de fundição por IES da região Sul do Brasil. ....49

**Figura 11** – Número de produções que estudam o resíduo areia de fundição por IES da região Sudeste do Brasil. ....49

**Figura 12** – Número de produções que estudam o resíduo areia de fundição por área do conhecimento. ....52

## LISTA DE QUADROS

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Quadro 1</b> – Fluxograma do processo de fundição.....                           | 20 |
| <b>Quadro 2</b> – Produções sem acesso para leitura de resumo e palavras-chave..... | 45 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1</b> – Número de cursos de pós-graduação <i>Stricto Sensu</i> do Brasil, apresentados pela CAPES, por estados da região Sudeste.....                              | 41 |
| <b>Tabela 2</b> – Número de cursos de pós-graduação <i>Stricto Sensu</i> do Brasil, apresentados pela CAPES, dos estados da região Sudeste. ....                             | 41 |
| <b>Tabela 3</b> – Produções, contendo a expressão “areia de fundição”, por tipo de curso encontradas nos programas <i>Stricto Sensu</i> do Brasil, no período1987-2016. .... | 43 |
| <b>Tabela 4</b> – Produções por tipo de estudo encontradas na pesquisa. ....                                                                                                 | 46 |
| <b>Tabela 5</b> – Instituições de Ensino Superior (IES) em que as produções foram desenvolvidas, no período 1987-2016. ....                                                  | 46 |
| <b>Tabela 6</b> – Áreas do conhecimento em que as produções foram desenvolvidas, no período 1987-2016. ....                                                                  | 50 |
| <b>Tabela 7</b> – Abordagem da ADF realizada nos estudos resultantes da pesquisa, no período 1987-2016. ....                                                                 | 53 |
| <b>Tabela 8</b> – Aplicações da ADF como matéria-prima abordadas nos estudos resultantes da pesquisa, no período 1987-2016. ....                                             | 54 |

## SUMÁRIO

|          |                                                                                                            |           |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                                                                    | <b>11</b> |
| <b>2</b> | <b>JUSTIFICATIVA .....</b>                                                                                 | <b>13</b> |
| <b>3</b> | <b>OBJETIVO.....</b>                                                                                       | <b>14</b> |
| 3.1      | OBJETIVO GERAL.....                                                                                        | 14        |
| 3.2      | OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....                                                                                 | 14        |
| <b>4</b> | <b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>                                                                           | <b>15</b> |
| 4.1      | BIBLIOMETRIA.....                                                                                          | 15        |
| 4.2      | PROCESSO DE FUNDIÇÃO.....                                                                                  | 16        |
| 4.3      | AREIA DE FUNDIÇÃO .....                                                                                    | 21        |
| 4.4      | IMPACTOS AMBIENTAIS DA AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO .....                                                  | 22        |
| 4.5      | LEGISLAÇÕES APLICÁVEIS A AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO (ADF) .....                                          | 24        |
| 4.6      | REDUÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS ATRAVÉS DO USO DE OPÇÕES TECNOLÓGICAS NO SETOR DE FUNDIÇÃO.....            | 26        |
| 4.7      | OPÇÕES DE USO DA AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO.....                                                         | 28        |
| <b>5</b> | <b>METODOLOGIA.....</b>                                                                                    | <b>34</b> |
| 5.1      | ESTADO DA ARTE .....                                                                                       | 34        |
| 5.2      | CAPES .....                                                                                                | 35        |
| 5.3      | PLATAFORMA SUCUPIRA .....                                                                                  | 36        |
| 5.4      | ACESSO ÀS INFORMAÇÕES .....                                                                                | 37        |
| <b>6</b> | <b>RESULTADOS .....</b>                                                                                    | <b>39</b> |
| 6.1      | PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO <i>STRICTO SENSU</i> DO BRASIL NA CAPES .....                                   | 39        |
| 6.2      | PRODUÇÕES ENCONTRADAS COM A EXPRESÃO “AREIA DE FUNDIÇÃO” .....                                             | 42        |
| 6.3      | ANÁLISE DA ABORDAGEM DOS ESTUDOS EM RELAÇÃO A AREIA DE FUNDIÇÃO.....                                       | 44        |
| 6.4      | ANÁLISE DAS PRODUÇÕES COM ABORDAGEM DO RESÍDUO AREIA DE FUNDIÇÃO POR INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR ..... | 46        |

|          |                                                                                                              |           |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 6.5      | ANÁLISE DAS PRODUÇÕES POR ÁREAS DO CONHECIMENTO.....                                                         | 50        |
| 6.6      | ANÁLISE DAS PRODUÇÕES POR APLICAÇÕES DA AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO ABORDADAS NOS ESTUDOS PESQUISADOS ..... | 53        |
| 6.6.1    | Uso da ADF como matéria-prima na produção de cerâmicas, fritas cerâmicas e vitrocerâmicos .....              | 55        |
| 6.6.2    | Uso da ADF como matéria-prima na produção de pavimento e misturas asfálticas .....                           | 59        |
| 6.6.3    | Uso da ADF como matéria-prima na produção de demais produtos .....                                           | 64        |
| 6.6.4    | Estudos que abordaram práticas de regeneração e tratabilidade da ADF.....                                    | 70        |
| 6.6.5    | Estudos que abordaram os impactos ambientais referentes as areias descartadas de fundição .....              | 74        |
| 6.6.6    | Estudos que abordaram a caracterização ambiental, diagnóstico e prognóstico do setor de fundição .....       | 76        |
| <b>7</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>                                                                            | <b>79</b> |
| 7.1      | CONCLUSÕES.....                                                                                              | 79        |
| 7.2      | LIMITAÇÕES DO ESTUDO E RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS.....                                               | 82        |
|          | <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                                                                      | <b>83</b> |
|          | <b>APÊNDICE A – ARTIGO PARA PUBLICAÇÃO NA REVISTA TRANSPORTES....</b>                                        | <b>95</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

O processo de fundição é uma técnica antiga conhecida na área da metalurgia. De acordo com o minidicionário Houaiss (2009), fundição significa processo de derretimento (especialmente de metais) ou o local onde se fundem metais. Complementando o minidicionário Houaiss, Kondic (1973) afirma que a fundição consiste na fusão e no vazamento de metais em moldes para a fabricação de peças com formas e dimensões conhecidas.

Segundo Bradaschia (1974), a formação destas peças ocorrerá com a solidificação do metal fundido no interior do molde, através do resfriamento. Assim, o material utilizado para a fabricação do molde deve ser capaz de suportar altas temperaturas, sem sofrer alterações significativas em suas propriedades físicas e químicas. Conforme o autor, estes materiais podem ser: metálicos, cerâmicos, gesso e areia.

Por ainda estar presente em grande quantidade no meio ambiente, a areia torna-se um material de custo baixo para a fabricação dos moldes, podendo ser utilizada nas mais variadas composições. Bradaschia (1974), afirma que, para a criação do molde, além da utilização da areia base, a qual varia em sua granularidade, comportamento térmico e químico, há o uso de materiais ligantes, podendo ser orgânicos e/ou minerais.

De acordo com a Associação Brasileira de Fundição (ABIFA, 2016), o Brasil esteve em sétimo colocado no ranking mundial, em 2015, referente a maior produção de fundidos, com 2.737.200 toneladas e estima que, em 2020, a produção aumente para 3.000.000 toneladas (2.400.000 toneladas para importação e 600.000 toneladas para exportação). Segundo ABIFA (2008 *apud*, Mastella, 2013), de toda produção de fundidos, mais de 80% dos produtos fabricados, utilizam moldes de areia, os quais também são compostos de água, aditivos orgânicos e/ou bentonitas. Após a etapa de desmoldagem, onde há a separação das peças fundidas e do molde de areia, de acordo com Mastella et al. (2014), este molde ainda pode ser utilizado mais algumas vezes para a formação de outras peças, no entanto, após uma determinada quantidade de repetições do uso do molde, a areia já não possui as características físicas e químicas iniciais do processo, tornando-se um resíduo do processo de fundição. Conforme a Norma ABNT NBR 10.004, o resíduo areia de fundição é

classificado como resíduo Classe II A, ou seja, não inerte, devendo ser analisado o anexo H da norma. (ABNT, 2004)

Esse resíduo, quando destinado incorretamente, como a sua disposição em “lixões” ou aterros sanitários para resíduos classe II, pode ocasionar impactos ambientais como a contaminação de solos, por exemplo, pois, segundo Klinsky (2008), após o uso destes moldes, a areia de fundição tende a estar contaminada por elementos e compostos químicos, como: arsênio, bário, cádmio, chumbo, cloretos, fenóis, fluoretos, mercúrio, sódio e surfactantes.

No entanto, mesmo que a areia descartada de fundição (ADF) seja destinado para aterros industriais, ainda há o custo de descarte de um material que não será mais reaproveitado, sendo este um recurso mineral natural. Desta forma o processo não produz um resultado sustentável, no âmbito econômico e ambiental, havendo a necessidade de buscar outros meios de destino final desse resíduo, como reaproveitamento ou descontaminação. Em casos de reaproveitamento da areia de fundição, as empresas iriam colaborar para a minimização no uso de recurso natural, o aumento da vida útil de aterros industriais e, conseqüentemente, reduzir o custo final do processo de fundição.

Ferreira et al. (2014, p. 63) afirma que

Levando em consideração a problemática da sustentabilidade quanto à geração e descarte de ADF, insere-se neste contexto a necessidade de novos estudos e tecnologias que possibilitem uma maior reutilização deste resíduo como fonte de matéria-prima alternativa aos diferentes tipos de materiais, de forma a conseguir benefícios ambientais, econômicos e de ordem social. (FERREIRA et al., 2014)

Assim, deve-se analisar se há meios de reaproveitamento ou tratamento do resíduo sólido industrial, areia de fundição, quais são estes meios e quais os benefícios que eles podem proporcionar para as empresas que desenvolvem o processo de fundição.

## 2 JUSTIFICATIVA

Este trabalho será executado com o intuito de identificar e comparar os estudos realizados em programas de pós-graduação *Stricto Sensu* no Brasil, no âmbito do reaproveitamento de areia de fundição, para avaliar quais as tendências e as opções tecnológicas que metalúrgicas de fundição podem utilizar, promovendo o destino ambientalmente correto do resíduo e aumentando o custo-benefício do processo.

Nesse sentido, o estudo é importante e justifica-se por possibilitar a análise das diferentes contribuições acadêmicas em suas distintas áreas de conhecimento. Em síntese, busca-se analisar melhores alternativas de tratamento e ou reaproveitamento do resíduo a partir das pesquisas acadêmicas.

Atualmente, as indústrias vêm buscando por propostas de ações e atividades que reduzam seus impactos ambientais, tanto para enriquecer seus processos, como para atender as legislações existentes. No entanto, para que elas estejam seguras de que estas propostas sejam eficientes e não impactem significativamente sua economia, torna-se necessária a busca e a compilação dos resultados de estudos acadêmicos desenvolvidos nesta área, observando se a implementação do estudo realizado torna-se, ou não, viável economicamente, tecnicamente e ambientalmente.

Segundo a Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (1988), é preciso ocorrer o encorajamento das indústrias e das atividades industriais que fazem o uso principalmente de recursos renováveis, em minimizar a geração de resíduos, bem como de poluição, reduzindo desta forma, os impactos negativos que são irreversíveis à saúde humana e ambiental. Assim, é possível descrever a relevância do tema na academia brasileira e verificar se houve, no país, evolução para um meio mais sustentável em relação ao processo de fundição e o que ainda pode ser desenvolvido.

### 3 OBJETIVO

Neste capítulo são apresentados subcapítulos contendo o objetivo geral do trabalho, bem como os objetivos específicos para atingir o mesmo.

#### 3.1 OBJETIVO GERAL

- Mapear a produção do conhecimento em relação ao resíduo sólido industrial areia de fundição nos programas *Stricto Sensu* no Brasil, no período de 1987 a 2016.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar os programas de pós-graduação *Stricto Sensu* do Brasil;
- Identificar as dissertações e teses dos programas *Stricto Sensu* localizados no Banco de Teses da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES);
- Verificar as produções que apresentam como objeto de estudo o resíduo industrial areia de fundição;
- Analisar tendências, afinidades e opções tecnológicas sobre a utilização da areia de fundição nas produções.

## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

Nos subcapítulos seguintes são apresentadas referências que abordam temas sobre a bibliometria, o funcionamento do processo de fundição, bem como as características da areia de fundição, os impactos ambientais causados no seu descarte, as opções de uso para o resíduo areia de fundição, uso de tecnologias para a redução dos impactos ambientais e algumas legislações aplicáveis ao tema.

### 4.1 BIBLIOMETRIA

A bibliometria, na área da ciência da informação, é utilizada para demonstrar o grau de desenvolvimento de uma determinada área do conhecimento, tanto de um campo científico como do saber, tendo significativa importância em análises da produção científica do país, segundo Araújo e Alvarenga (2011, p. 52). De acordo com Chueke e Amatucci (2015, p. 1), o estudo bibliométrico tem a função de sistematizar pesquisas já desenvolvidas em um determinado campo do saber e, posteriormente, encaminhar problemas para serem avaliados em pesquisas futuras.

Assim, os mesmos autores complementam que, o desenvolvimento do conhecimento científico é realizado gradualmente. Desta forma, Chueke e Amatucci (2015, p. 1) destacam que os conhecimentos adquiridos em pesquisas anteriores devem ser bem observados para que a pesquisa acadêmica possa avançar na produção de novos conhecimentos.

Conforme citado por Fonseca (1986), a medida é uma forma superior de abordagem em todos os campos do conhecimento e a bibliometria é uma forma de medida. Chueke e Amatucci (2015, p. 1) definem a bibliometria como uma forma de “[...] mapear as origens dos conceitos existentes, apontar as principais lentes teóricas usadas para investigar um assunto e levantar as ferramentas metodológicas utilizadas em trabalhos anteriores” (CHUEKE; AMATUCCI, 2015, p. 1) e Fonseca (1986) confirma que a bibliometria é um método interdisciplinar, que esclarece e retifica a história do conhecimento adquirido.

Segundo Araújo e Alvarenga (2015, p. 58), os quais realizaram um estudo bibliométrico sobre a própria bibliometria, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), possui uma importante ferramenta de expansão

e consolidação da pós-graduação *Stricto Sensu* do Brasil, que é o Banco de Teses, o qual possui o intuito de promover o acesso a informações, disponibilizando teses e dissertações defendidas nos programas de pós-graduação do país, desde o ano 1987. Desta forma, estes mesmos autores realizaram seu estudo sobre a bibliometria através de uma consulta no Banco de Teses da CAPES, utilizando o termo “bibliometria” e, através da análise do título, resumo e palavras-chave, obtiveram como resultado que, entre os anos 1987 até 2007, 82 trabalhos defendidos (teses e dissertações) apresentaram aspectos bibliométricos.

Uma das formas de realizar o estudo bibliométrico é através de uma pesquisa sobre o Estado da Arte sobre a área que se deseja pesquisar. O Estado da Arte, de acordo com Marques (2004), é realizado para referenciar as descobertas já existentes relacionadas ao assunto pesquisado, auxiliando na melhoria e no desenvolvimento de novos conceitos, demandas e paradigmas e evita, aos leitores, desperdício de tempo na busca de investigações, por vezes, não necessárias. Sendo assim, Marques (2004) considera como uma das partes mais importantes de um trabalho científico, a realização do Estado da Arte.

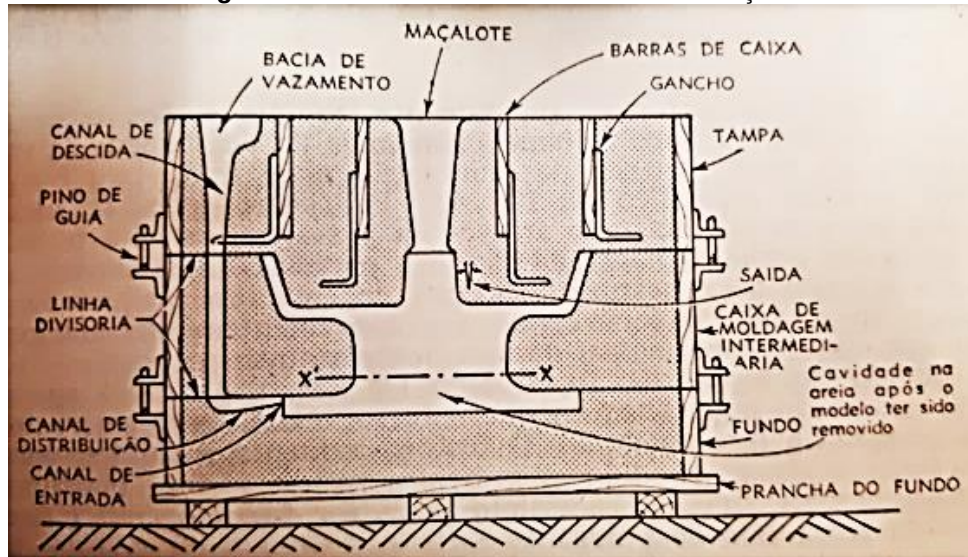
De acordo com Palanch e Freitas (2015), estudos que utilizam o Estado da Arte relacionam aspectos pontuais como uma proposta específica dentro de uma determinada área de formação. Além disto, Palanch e Freitas (2015), complementam que este método também é utilizado para destacar quais subtemas e conteúdos estão sendo priorizados em pesquisas.

#### 4.2 PROCESSO DE FUNDIÇÃO

Em 1973, Kondic (1973) descreveu que os processos de fundição têm sido realizados pelos humanos há mais de 4.000 anos, tendo como finalidade, através de diferentes métodos, a criação de diferentes produtos pela fusão de metais, que são vazados em espaços vazios de moldes, que conferirão a forma da peça que será produzida, como apresentado na Figura 1, em que é possível verificar o molde de areia, bem como a estrutura para fixar o molde e as nomenclaturas de cada parte por onde o metal fundido é vazado. Segundo o autor, esculturas, jóias e ferramentas são alguns dos produtos fabricados através de processos de fundição, sendo

componentes de máquinas, automóveis, aviões e foguetes os mais representativos da época.

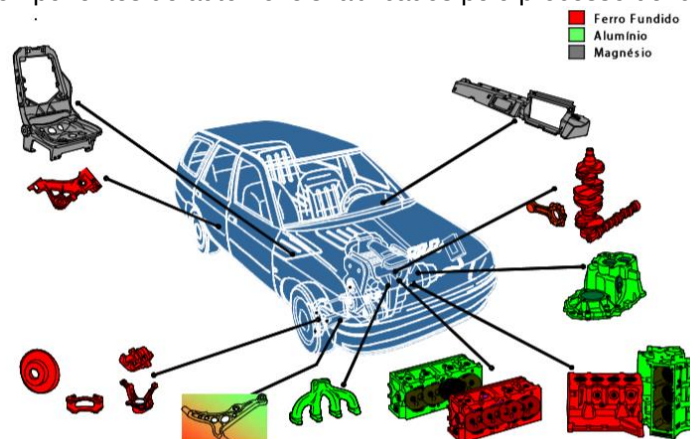
**Figura 1** - Corte transversal de molde de fundição.



Fonte: Doyle et al. (1966).

De acordo com a Associação Brasileira de Fundição (ABIFA, 2000), 50% da produção de fundidos é destinada à indústria automotiva. De acordo com a Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (FIEMG, 2018), no ramo automotivo, a fundição é utilizada para fabricar peças como: caixas de engrenagem, elementos de suspensão, blocos de motor, pistões e seus anéis, balancins, eixos comando de válvulas, entre outros, como é apresentado na Figura 2, onde são demonstrados alguns componentes de automóveis fabricados pelo processo de fundição.

**Figura 2** – Componentes de automóveis fabricados pelo processo de fundição.



Fonte: Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (FIEMG, 2018)

Apesar de ser um processo antigo, a fundição permanece sendo muito utilizada nas indústrias. Kondic (1973, p. 3), comenta que isto se deve

[...] pelo fato de que, em muitos casos, é o método mais simples e econômico e, em outros, o único método tecnicamente viável de obter uma determinada forma sólida. As duas características mais valiosas da fundição são a relativa simplicidade técnica com que se produz formas complexas com a maioria dos metais e a natureza economicamente competitiva do processo, quando comparado com métodos alternativos de manufatura.

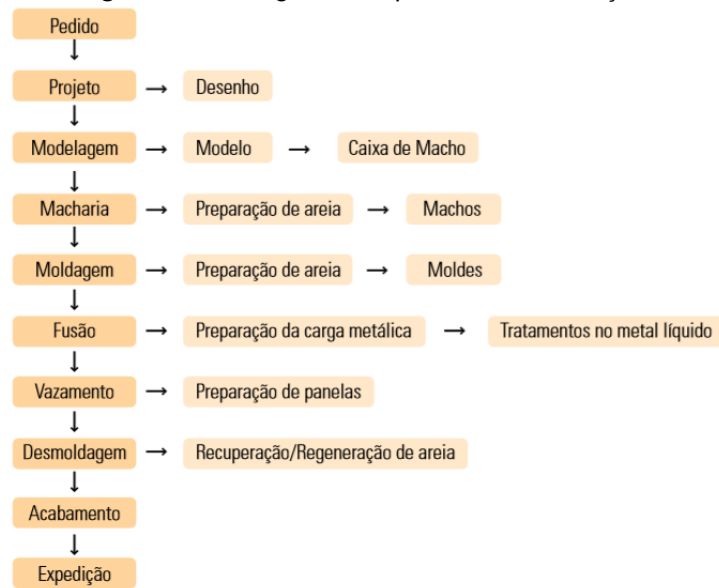
Concordando com Kondic (1973), Moro e Paegle (2007), informam que a principal característica da fundição, em relação aos outros processos mecânicos, é que este permite a fabricação de peças grandes e complexas de modo mais econômico, assim como a FIEMG (2018, p. 16) afirma que

O que distingue a fundição de outros processos de manufatura para a produção de componentes metálicos é a sua capacidade de gerar formas muito complexas, tanto externas quanto internas, e dimensões muito próximas daquilo que se deseja no produto acabado, resultando em economia de tempo, trabalho e materiais.

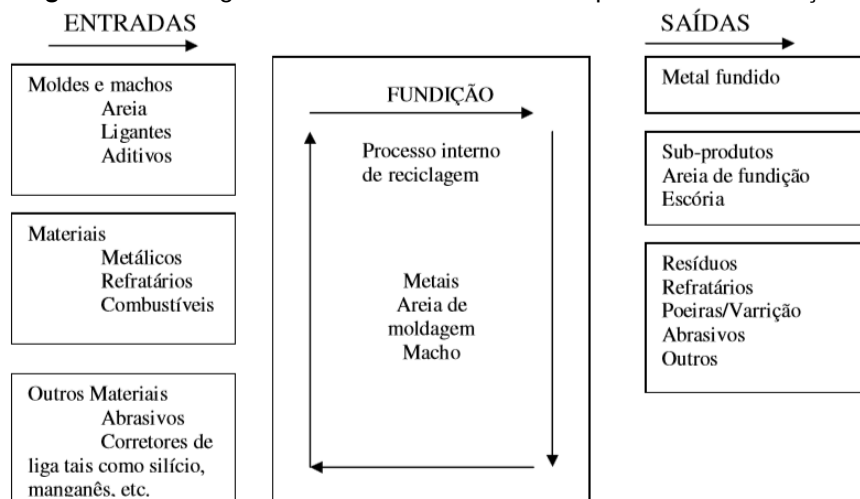
Também a FIEMG informa que o primeiro registro de fundição no Brasil é de São Paulo, ao final do século XVI, época em que os jesuítas passaram a realizar o processo para a fabricação de anzóis, facas e outros tipos de ferramenta.

Do seu início até a época atual, o processo de fundição conserva as suas principais etapas. De acordo com a FIEMG (2018), a fundição é baseada em dez etapas principais, em que a primeira é a realização do pedido pelo cliente, em que ele solicita a peça desejada com um determinado formato, seguindo da elaboração do projeto, onde há o desenvolvimento do formato do molde, passando pelas etapas operacionais (modelagem, macharia, moldagem, fusão do metal, vazamento do metal no molde, desmoldagem e acabamento da peça), terminando com a expedição da peça pronta. O fluxograma desse processo é apresentado na Figura 3, o qual foi desenvolvido pela FIEMG.

A partir deste fluxograma do processo, pode-se analisar, em conjunto de todas as etapas, quais as matérias-primas necessárias ao processo e quais os resíduos gerados por eles, como apresentado no fluxograma de entradas e saídas (Figura 4). Nesse fluxograma é possível observar que vários resíduos são gerados no processo, sendo um delas a areia de fundição.

**Figura 3** – Fluxograma do processo de fundição.

Fonte: Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (FIEMG, 2018)

**Figura 4** – Fluxograma de entradas e saídas do processo de fundição.

Fonte: Lenahan (2002)

Dentro da etapa de moldagem, apresentada em ambos os fluxogramas, pode haver diversos meios de realizá-la. De acordo com Moro e Paegle (2007), a escolha do tipo de molde é muito importante, uma vez que este pode alterar as propriedades físicas do produto fundido. Segundo os autores Moro e Paegle (2007), a qualidade da peça é determinada pelo tipo de molde, uma vez que o tamanho final de grão e a característica de resistência mecânica da peça são determinadas pela taxa de dissipação de calor, a qual varia conforme a matéria-prima utilizada na confecção de cada molde.

Desta forma, os autores comentam que a etapa de moldagem é classificada tanto pelo tipo de molde utilizado como pela força ou pressão que ele sofre durante o processo. Sendo assim, no Quadro 1 são apresentados os diferentes métodos de moldagem afirmados por Moro e Paegle (2007).

**Quadro 1** – Fluxograma do processo de fundição.

| <b>Tipo de Força</b> | <b>Tipo de Molde</b>                           |
|----------------------|------------------------------------------------|
| Por gravidade        | Areia verde (molde descartável)                |
|                      | Em casca (shell molding)                       |
|                      | Molde permanente (molde metálico, bipartido)   |
|                      | Cera perdida (molde e modelo são descartáveis) |
| Por pressão          | Injeção (molde metálico)                       |

Fonte: Adaptado de Moro e Paegle (2007)

Os metais fundidos que são escoados para dentro destes moldes apresentados, segundo Recusani (1974), acabam sendo diferenciados em sua composição, podendo ser classificados em mais de 90 ligas de cobre. Estas ligas, de acordo com o autor, podem ser agrupadas em ligas que contenham, além do cobre, estanho, zinco, chumbo, manganês, silício, níquel e alumínio.

Observando a questão ambiental, de acordo com Fagundes et al. (2010), estes metais que passam pelo processo de fundição são sucatas, ou seja, metais que já não possuem mais utilidade no local que antes eram usados e foram descartados. Sendo assim, o autor afirma que o setor de fundição pode ser considerado, desta forma, uma empresa recicladora, uma vez que introduz resíduos em sua cadeia produtiva, minimizando a extração de minérios e outros materiais na natureza e, além disto, reduz o consumo de energia dos processos primários de transformação. No entanto, de acordo com os autores, ao mesmo tempo que o setor de fundição é considerado um reciclador, também é um poluidor, já que sua cadeia produtiva é geradora de uma significativa quantidade de resíduos.

Segundo McIntyre et al.<sup>1</sup> (1992 apud SILVA et al., 2013), para cada tonelada de metal fundido produzido, é gerado, aproximadamente, uma tonelada de resíduo.

<sup>1</sup> MCINTYRE, S. et al. **Beneficiation and Reuse of Foundry Sand Residuals: A Preliminary Report.** Transactions of the American Foundrymen's Society, 100, 1992.

Supõe-se então, através do interesse em reaproveitamento da areia de fundição, por parte da ABIFA, das empresas e de órgãos ambientais, que dentre todos os resíduos gerados no processo, este é o mais representativo em quantidade. Conforme ABIFA (2015), é estimada uma geração de três milhões de toneladas de Areia Descartada de Fundição (ADF) por ano, no Brasil, sendo desta geração, 600 mil toneladas provenientes do estado de Santa Catarina. Colaborando com esta afirmação, a FIEMG (2018), confirma que os resíduos sólidos, atualmente, são os problemas mais significativos para o setor de fundição, em relação ao meio ambiente, sendo que a maioria desses resíduos são as areias utilizadas na confecção de moldes e machos.

#### 4.3 AREIA DE FUNDIÇÃO

De acordo com Mariotto (1974), os moldes de areia necessitam atender pelo menos oito propriedades físicas e químicas para um bom resultado na fundição, sendo elas: moldabilidade, escoabilidade, consistência, plasticidade, refratariedade, estabilidade térmica dimensional, difusividade térmica, inércia química em relação ao metal líquido, colapsibilidade x resistência a quente, permeabilidade aos gases e desmoldabilidade. Mariotto (1974, p. XIII-1) também comenta que para os trabalhadores da fundição, o significado de areia de moldagem é “[...] qualquer material de moldagem que tenha como base um agregado mineral (areia base) e com ligantes ou aglomerantes” e que a areia base “é o agregado mineral granular, constituinte básico das diversas areias de moldagem.” (MARIOTTO, 1974, p. XIII-4), devendo ser observada três características relevantes para sua escolha, como: sua granularidade, seu comportamento térmico e seu comportamento químico em relação ao metal a ser fundido.

Desta forma, Bradaschia (1974) complementa que podem existir três tipos de areias de moldagem convencionais, sendo elas “[...] naturais (quando não requerem nenhum corretivo), semi-sintéticas (quando recebem alguma substância corretiva) e sintéticas (quando são obtidas pela mistura artificial de aglomerantes minerais e, ou orgânicos à areia base)”. O mesmo autor informa que a areia empregada pode ser tanto de característica úmida, sendo conhecida como areia verde, ou de característica seca, a qual deve passar por etapa de secagem em uma estufa antes de seu uso.

Sendo mais específico, Mariotto (1974) afirma que estas areias sintéticas podem ser misturadas com argilas, onde na composição há areia, água e argila, esta última podendo ser do grupo da caulinita, das micas hidratadas, das montmorilonitas ou outros grupos menos utilizados. Além desta, também há a mistura da areia com ligantes orgânicos, os quais podem ser: cereais, óleos vegetais secativos, óleos compostos, resinas naturais ou sintéticas. Outras misturas comentadas pelo autor são areia ligada com silicato de sódio ou então com ligantes minerais, como: cimento Portland, gesso, silicato de etila hidrolisado, ligantes fosfáticos e cimentos de alumínio de cálcio.

Complementando as descrições de areia de moldagem para a fundição, Romanus (2005) atribui diferentes definições para o tipo de areia verde através do modo como o molde é preparado, ou seja, se este é realizado por meio manual ou automatizado. Em casos de a confecção do molde ser manual, o autor classifica a areia verde como de faceamento e de enchimento. A primeira é a denominação para a areia que deve cobrir o modelo e deve resistir à extração do mesmo, à colocação de machos, ao seu fechamento e ao transporte. Já a areia de enchimento, segundo Romanus (2005, p. 15), “[...] deveria ter a mesma composição do faceamento, podendo-se apenas reduzir um pouco o seu tempo de mistura [...]”, já que a mesma irá entrar em contato com o metal fundido, podendo ocasionar erosões ao molde.

Em casos de a confecção do molde ser automatizada, Romanus (2005) utiliza a definição de areia de sistema. Isto, devido ao fato de o modo e o tempo de mistura utilizado é o mesmo, independente da pressão usada ser alta, média ou baixa.

Atualmente, para a definição da melhor areia a ser utilizada no processo de fundição, a ABIFA, através da Recomendação CEMP 081, “prescreve o método de ensaio para determinação da distribuição granulométrica, módulo de finura e teor de finos de materiais sob forma granular para fundição, principalmente areias”. (ABIFA, 2015, p. 1).

#### 4.4 IMPACTOS AMBIENTAIS DA AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO

Segundo Ruiz et al. (2013), juntamente com o crescimento da economia brasileira, também há o aumento do uso de recursos minerais, como a areia. Assim,

[...] os principais segmentos consumidores de areia industrial impulsiona a expansão e a descentralização da sua indústria extrativa. Por sua vez, a sua obtenção, com base em fontes naturais, pode causar impactos ambientais

relevantes e que devem ser considerados e devidamente mitigados, ampliando a importância de seu estudo (RUIZ et al., 2013, p. 51).

De acordo com ABIFA (2008a), o Coordenador de Soluções ADF, Fábio Garcia Filho, comenta que o envio do resíduo areia de fundição para aterros industriais, é a opção menos favorável, tanto para as empresas geradoras deste resíduo como para o meio ambiente, pois

- 1) Elimina toda e qualquer possibilidade de reciclagem e ou reutilização das ADFs que são o resíduo industrial de maior volume do Brasil.
- 2) Diminui significativamente a vida útil dos aterros industriais, fazendo com que novos sejam criados.
- 3) Torna as empresas reféns de fornecedores, um mercado onde não há concorrência na grande maioria dos casos e existe o risco das fundições serem responsabilizadas no caso de um acidente.
- 4) Causa um impacto socioambiental enorme, com fretes de longas distâncias. (ABIFA, 2008a, p. 67).

Em ABIFA (2008b) é apresentado que o problema da disposição das areias descartadas de fundição em aterros, além da redução da vida útil do mesmo, também inviabiliza a reutilização e ou a reciclagem, uma vez que o resíduo não é segregado.

Além disso, estudos de mestrado realizados, como Monteiro (2013) e Nunes (2013) por exemplo, demonstraram que a areia descartada de fundição, se não disposta em locais ambientalmente adequados e controlados, pode ocasionar em passivos ambientais. Monteiro (2013), realizou o estudo dos impactos ambientais ocasionados em um depósito de ADF não controlado, tendo mais de 30 anos de existência. Ao final de sua avaliação, a autora concluiu que o solo apresentou em seu perfil concentrações de elementos como: alumínio, zircônio, fósforo, manganês, titânio e vanádio que migraram do resíduo areia de fundição depositado no local para diferentes camadas do solo, ao longo dos 30 anos de existência, através de ações naturais, como lixiviação e intemperismo, conformação dos minerais e metais causadas por diferentes reações químicas. Sendo assim “o mesmo pode apresentar risco ao meio ambiente quando depositado em locais não controlados e submetidos a condições climáticas supérgenas tropicais” (MONTEIRO, 2013, p. XIII).

Assim, para eliminar as chances da contaminação ao meio ambiente pelo resíduo areia de fundição em depósitos não controlados, ABIFA (2008a) comenta que o uso das areias descartadas de fundição como matéria-prima na fabricação de outros produtos pode trazer benefícios ao meio ambiente, onde há a minimização da utilização de areia de rios e cavas e, segundo o autor, aproximadamente 90% deste resíduo pode ser reciclado e ou reutilizado, pois não há a contaminação do solo e da

água por meio deste quando bem gerenciado (ABIFA, 2008b). No entanto, o autor afirma que, a viabilidade do uso deste resíduo como matéria-prima na fabricação de outros produtos depende não somente de legislações e normas técnicas, mas também da economia que o mercado proporcionar (ABIFA, 2008a).

Nunes (2013) também analisou em seu estudo os impactos ambientais causados pela ADF, no local em que ocorre a disposição temporária deste resíduo. Em seu estudo, a autora avaliou o solo e as águas superficiais (a montante e a jusante de arroio local, além da saída de uma tubulação, a qual passa pela área de propriedade da empresa e desemboca no arroio) e subterrâneas (poço artesiano local) locais. Assim, foram encontrados teores elevados de alumínio e ferro nas amostras do solo local e de fluoreto e as amostras de água foram determinadas como ruins nos pontos à montante e à jusante e péssimo na saída da tubulação. Portanto, ao final de seu estudo, Nunes (2013), indica que a ADF pode estar contaminando o meio ambiente local, como contribuindo para o aumento de compostos como o fluoreto no solo da região.

Sendo assim, entende-se que quanto mais processos de fundição realizarem técnicas de reaproveitamento, reciclagem ou tratabilidade do seu resíduo areia de fundição, menores serão as chances deste resíduo ocasionar impactos negativos ao meio ambiente, como a poluição de solos e águas, por exemplo, evitando que as empresas do ramo gerem passivos ambientais.

#### 4.5 LEGISLAÇÕES APLICÁVEIS A AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO (ADF)

O art.225 da Constituição Federal de 1988, estabelece que “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações” (BRASIL, 1988). A partir deste, começaram a surgir diversas leis, normas técnicas, resoluções e demais legislações referentes ao meio ambiente, sendo algumas aplicáveis a geração e ao uso de resíduos sólidos, como a areia descartada de fundição.

Em agosto de 2007, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do estado de São Paulo (CETESB) determinou a Decisão de Diretoria nº 152/2007/C/E

que “Dispõe sobre procedimentos para gerenciamento de areia de fundição” (SÃO PAULO, 2007, p. 1). Através desta Decisão de Diretoria, a CETESB exige das empresas de fundição adequações dos depósitos existentes de areia de fundição, das operações, da empresa destinatária além de, obtenção de autorização para reutilização do resíduo areia de fundição na empresa destinatária e informações e ensaios laboratoriais para classificação do mesmo. Esta Decisão de Diretoria baseia-se na Agenda 21, da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, nos princípios e diretrizes da Política Estadual de Resíduos Sólidos do estado de São Paulo (Lei nº 12.300), nas solicitações de empresas pela manifestação da CETESB em relação a reutilização da ADF, entre outros critérios.

Ainda em 2007, foi criado o Comitê Brasileiro da Fundição ABNT/CB-059, em que seu âmbito de atuação envolve a

Normalização no campo da fundição compreendendo fundição de ferro, de aço e de não-ferrosos, insumos, matéria-prima, resíduos no que concerne a terminologia, requisitos, métodos de ensaio e generalidades. (ABNT, 2018, p. 1).

De acordo com ABIFA (2014), o Comitê ABNT/CB-059 possui, entre suas funções, a de complementar as normas já existentes sobre o tema ADF, com o intuito de consolidar as possibilidades, técnicas e legais, do uso deste resíduo.

Assim, em 2009, foi criada por este Comitê, a norma técnica ABNT NBR 15.702:2009, a qual define diretrizes sobre a aplicação da areia descartada de fundição como matéria-prima em asfaltos e cobertura de aterros sanitários. Segundo Quissini (2009, p. 44),

a criação desta norma específica sobre a ADF é inédita no Brasil, pois dentre todas as Normas ABNT sobre resíduos nenhuma delas incentiva ou fornece diretrizes a respeito da aplicação de resíduos que é o ponto primordial nas legislações estaduais sobre resíduos sólidos.

Anteriormente a criação desta norma técnica, em agosto de 2008, foi originada em Santa Catarina, a Resolução CONSEMA nº 11/2008 a qual “estabelece critérios para a utilização da Areia Descartada de Fundição de materiais ferrosos na produção de concreto asfáltico e artefatos de concreto sem função estrutural” (SANTA CATARINA, 2008, p. 1).

Por conseguinte, em 2013, o estado de Santa Catarina, determinou a Resolução CONSEMA nº 26/2013, que “estabelece as diretrizes sobre a utilização das Areias Descartadas de Fundição – ADF e adota outras providências” (SANTA CATARINA,

2013, p. 1). A premissa desta resolução é de poder contribuir com um desenvolvimento sustentável, combinando os membros dos pilares da sustentabilidade, como o econômico, o social e o ambiental.

De acordo com o art. 4º desta Resolução, “a utilização de forma criteriosa da ADF contribuirá para o aumento da vida útil dos aterros sanitários e industriais, bem como para a preservação de recursos naturais” (SANTA CATARINA, 2013, p. 1), sendo o seu objetivo (e complementando a Resolução CONSEMA nº 11/2008) poder definir critérios para o uso do resíduo areia de fundição em diferentes obras civis, como na cobertura diária em aterros sanitários e industriais, em assentamento de tubulações, na produção de concreto asfáltico e em artefatos de concreto, na produção de cerâmica vermelha e de base, sub-base e reforço de subleito em execuções de estradas e rodovias.

Em Minas Gerais, também houve a preocupação com o descarte do resíduo areia de fundição, sendo tomada a iniciativa e elaborada a Deliberação Normativa COPAM nº 196/2014, que “estabelece requisitos para que o empreendimento gerador de areia descartada de fundição possa disponibilizar esse resíduo para empreendimentos que fabricam artefatos de concreto sem função estrutural” (MINAS GERAIS, 2014, p. 1), sendo baseada na expressiva produção estadual de produtos fundidos, na significativa geração de ADF no estado encaminhada para descarte em aterro e em demais normas técnicas, legislações e outras referências bibliográficas relacionadas ao resíduo areia de fundição.

#### 4.6 REDUÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS ATRAVÉS DO USO DE OPÇÕES TECNOLÓGICAS NO SETOR DE FUNDIÇÃO

Uma das tecnologias apontadas pela ABIFA, no setor de fundição, é o jateamento com gelo seco nos equipamentos e nas peças, processo também conhecido como limpeza criogênica. De acordo com a ABIFA (2016), este método de limpeza é seguro e prático, além de eliminar resíduos secundários, uma vez que produz uma significativa redução nos danos causados aos equipamentos.

Outras duas tecnologias comentadas pela ABIFA (2015) são:

- o sistema de automação e controle de areia, os quais realizam ajustes automáticos de compactabilidade e resistência a compressão, tendo como vantagens um funcionamento completamente automático, uma garantia de qualidade da mistura da areia, um menor consumo de aditivos e um menor índice de refugo;
- o misturador de areia super-intensivo que, em relação aos sistemas tradicionais, possui as vantagens de melhorar a eficiência de mistura da areia, reduzir o consumo de energia elétrica e de aditivos, minimizar os índices de refugo e de retrabalho, diminuir a área de ocupação, o volume de exaustão, além de reduzir os valores de investimento e custo operacional por ser de fabricação nacional.

Outra tecnologia que reduz o consumo de aditivos na areia de fundição, apontada por Eirich (2017). Segundo o mesmo, este processo, que foi apresentado no Congresso Conaf de 2017, possui vantagens além da redução, ou até mesmo eliminação de aditivos na areia de fundição, como a minimização do consumo de bentonita, reutilização da areia através do circuito fechado, reduz em 25% o volume do armazenamento da areia de retorno, o descarte de finos e o lançamento de emissões atmosféricas são minimizados.

De acordo com Eco Sand, outra tecnologia aplicável na área de fundição são os equipamentos de recuperação térmica de areia de fundição. Estes equipamentos têm como objetivo aquecer a areia resinada até 700°C e, conseqüentemente queimar a resina aglomerada nos grãos de areia, os quais, após recuperados, retornam como matéria-prima ao sistema (ECO SAND, 2018).

Outra forma de retornar a ADF como matéria-prima ao processo, é através da tecnologia apresentada pela Inovação Tecnológica (2005). Esta tecnologia, criada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) da Universidade de São Paulo (USP), baseia-se em uma usina pequena, a qual não necessita ser fixa, em que ocorre um processo de regeneração do resíduo areia de fundição, através de um tratamento a seco do resíduo, separando as partículas e possibilitando a redução de 90% dos poluentes presentes, tornando a ADF pronta para ser utilizada na fabricação de novos moldes (IPT, 2018).

#### 4.7 OPÇÕES DE USO DA AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (2010), o conceito de reciclagem é assim definido: “processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sisnama e, se couber, do SNVS e do Suasa” (PNRS, 2010, p. 1). Já para a reutilização a Política assim define “processamento de aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sisnama e, se couber, do SNVS e do Suasa” (PNRS, 2010, p. 1).

Ainda, também segundo a PNRS (2010), em seu Art. 7º são estabelecidas as prioridades, quanto ao que deve ser realizado com os resíduos. Sendo assim, primeiramente deve ser procurado evitar a geração de resíduos e, caso não seja possível, realizar, então, a redução da geração desse. No entanto, caso a redução também não seja possível de ocorrer, procura-se formar de reutilização e, posteriormente, de reciclagem. Assim, caso nenhuma dessas ações sejam possíveis de serem realizadas, ainda há, os processos de menor priorização como, o tratamento do resíduo e a disposição final ambientalmente adequada, devendo este último ser utilizado somente em últimos casos, quando o resíduo acaba sendo considerado um rejeito.

Ré (1974) trabalha com o conceito de condicionamento da areia, a qual necessita passar por alguns tipos de tratamento após a etapa de desmoldagem, como: separação de partículas metálicas, quebra de torrões e peneiramento, resfriamento, retirada de finos inertes, correção de teor de aglomerados e umidade, homogeneização e arejamento. Assim, após estes tratamentos, segundo o autor, esta areia deve possuir características que permitam-na ser reutilizada na moldagem da fundição.

Quissini (2009) realizou seu estudo na área de reutilização, em que se verificou a aplicação de ADF como material alternativo para camadas de cobertura de aterros de resíduos. Para tanto, a autora analisou propriedades como granulometria, compactação, permeabilidade, absorção, retenção adensamento resistência ao

cisalhamento e ensaio de trincas, além dos limites de Atterberg e teor de bentonita na ADF. Assim, Quissini concluiu que a aplicação é viável ambientalmente e economicamente, uma vez que o uso desta areia como cobertura em aterros de resíduos possibilitaria a redução de 12 impactos ambientais, sendo a destinação em aterros industriais, acarretando com os custos com transporte e aterramento, o aumento do volume de resíduos aterrados, obtendo riscos de contaminação do solo, da água, do ar e a inutilização de áreas, além do custo do transporte do material e a extração de solos argilosos, os quais geram áreas degradadas e a necessidade do uso de solos naturais para camadas de cobertura do aterro.

Assim como Quissini (2009), Domingues (2015) também analisou a aplicação de ADF como camada de cobertura, sendo específico para aterros sanitários, observando tanto a viabilidade econômica como a ambiental. Para este estudo, Domingues realizou misturas de solo com a ADF, sendo esta em concentrações de 30%, 50% e 70%. Analisando propriedades como permeabilidade, resistência ao cisalhamento, toxicidade e custo da mistura realizada para a camada de cobertura, Domingues verificou que, dentre as diferentes concentrações analisadas, a que possuía 70% de ADF agregada ao solo apresentou a melhor viabilidade econômica e ambiental, obtendo redução do volume e do custo com solo natural necessário para a cobertura e aumento da vida útil de aterros que deixam de receber esta ADF como resíduo.

Outra alternativa para o uso da ADF é sua aplicação na produção de concreto. Pinto (2013) estudou sobre a efetividade da aplicação deste resíduo como matéria-prima na fabricação do concreto. Assim, Pinto (2013) formou corpos de prova de concreto, substituindo a areia natural utilizada no processo por areia descartada de fundição em concentrações de 0%, 10% e 20% e avaliou as propriedades de resistência a compressão axial e absorção por imersão, nos estados fresco e endurecido do concreto. Portanto, em seu estudo Pinto apresentou que, ambos os corpos de prova com 10% e 20% de ADF proporcionaram aumento de resistência à compressão, tornando esta aplicação viável tecnicamente. Esta aplicação da areia descartada de fundição, também estudada por Manoharan et al. (2018), além de auxiliar a minimização deste resíduo em aterros industriais, também contribui na redução do uso de areia presente em rios e suas margens, preservando este recurso natural.

Seguindo o mesmo raciocínio da confecção de concreto, Martins (2016), caracterizou e analisou o pó de exaustão e a areia de fundição para substituição parcial da areia já utilizada na fabricação deste produto. Desta forma, a autora realizou testes de granulometria, massa específica, massa unitária e de solubilização e lixiviação, caracterizando o resíduo como Classe II A (não perigoso e não inerte). As concentrações de resíduo utilizada para a substituição parcial foram de 0%, 10%, 20%, 30%, 40% e 50%. A expectativa do estudo era que a resistência à compressão das amostras fosse superior a 25 MPa, resultado que pôde ser confirmado com a amostra de concentração 40%, aos 28 dias de teste, apresentando 46 MPa. Portanto, Martins confirmou que o resíduo testado pode melhorar a resistência à compressão do concreto convencional produzido.

Diferentemente de Pinto (2013) e Martins (2016), Mastella (2013) realizou seu estudo observando os efeitos da aplicação da areia descartada de fundição na produção de artefatos cimentícios, como: blocos de alvenaria para paredes, blocos de alvenaria estrutural, blocos de pavimentação, entre outros. Para as amostras do teste, Mastella substituiu a areia natural por teores de 0% a 50% em peso e avaliou o produto com ensaios de resistência à compressão e toxicidade. Assim, o autor pôde concluir que a amostra com substituição de 25% em peso da areia, além de não apresentar toxicidade, também permitiu uma resistência à compressão ideal, sendo superior a 35 MPa, aos 56 dias de teste.

Já Vargas et al. (2015) realizaram um estudo sobre a aplicação da ADF em argamassas. Desta forma, em seus testes foram avaliadas argamassas com diferentes teores do resíduo areia de fundição incorporando, sendo de 25%, 50%, 75% e 100%. No entanto, o resultado final do estudo não foi completamente positivo, pois percebeu-se que as argamassas com teores mais elevados de resíduo obtiveram queda na resistência à compressão, devido a necessidade do aumento de água na composição. Por fim, a única argamassa que apresentou resistência à compressão adequada foi a que possuía teor de 25% do resíduo.

Na mesma direção de estudo sobre o resíduo areia de fundição, Rufino e Galdino (2015) também avaliaram a aplicação da ADF em argamassas, mas desta vez houve, além do resíduo areia de fundição, a adição de escória dos fornos de fundição, resina em pó de Poli e aditivo plastificante líquido, com o intuito de minimizar a absorção da

água no material e, conseqüentemente, melhorar as propriedades físicas e mecânicas. Em seus resultados, os autores observaram uma redução de 31% na porosidade aparente da argamassa e uma redução de 30% na absorção de água, proporcionando uma argamassa dentro das especificações necessárias, e confirmando que o uso de ADF como matéria-prima na confecção de argamassa é viável tecnicamente.

Além do uso em concreto, argamassa e cobertura de aterros de resíduos, também já foram realizados estudo sobre a aplicação da areia descartada de fundição em bases e sub-bases de pavimentações de estradas. Klinsky (2008), por exemplo, teve seus estudos de mestrado e doutorado relacionados a esta proposta. Em seu mestrado, Klinsky (2008) analisou a incorporação da areia descartada de fundição em solos argilosos lateríticos da região de Sertãozinho, em São Paulo. Assim, para verificar a viabilidade ambiental e das propriedades mecânicas, o autor realizou diversos ensaios, como: limite de liquidez e plasticidade, granulometria, perda de massa por imersão, expansão, contração, infiltrabilidade, permeabilidade, lixiviação, solubilização, entre outros. Desta forma, o autor realizou a incorporação da areia descartada de fundição em teores de 0%, 20%, 40%, 60% e 70%, sendo que o teor de 60% apresentou características enquadradas nos parâmetros da CETESB quanto sua toxicidade e periculosidade, além de proporcionar propriedades mecânicas que atendem as especificações necessárias do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo e do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.

Já em sua tese de doutorado, Klinsky (2013) também realizou o estudo da incorporação da areia descartada de fundição (desta vez originada de Piracicaba, em São Paulo) com solos e agentes estabilizantes para a construção de bases e sub-bases de pavimentos. Para tanto, o autor realizou os testes em amostras com teores de 0%, 20%, 40%, 60% e 70% da mistura realizada com a areia descartada de fundição e realizou diversos ensaios das propriedades do produto de interesse da engenharia rodoviária, além de ensaios de lixiviação e solubilização. Assim, Klinsky (2013, p. VII) concluiu que a ADF “apresenta características para ser reaproveitada nas atividades de construção de pavimentos de baixo volume de tráfego”, no entanto o autor recomenda que seja realizada a construção de trechos experimentais, em que

seja possível monitorar a ocorrência de alterações em suas propriedades, durante longo período, com fins de avaliar a segurança ambiental.

Ainda na área de asfaltos, Coutinho e Fabbri (2005) avaliaram o uso da ADF em misturas asfálticas densas do tipo Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ). Desta forma os autores realizaram ensaios laboratoriais de resistência à tração, umidade induzida, módulo de resiliência, entre outras com amostras da mistura asfáltica com incorporação de 15% do resíduo areia de fundição. Ao final do estudo Coutinho e Fabbri (2005), classificaram a areia utilizada como resíduo classe II A e II B e concluíram que as misturas asfálticas analisadas apresentaram boas propriedades mecânicas, demonstrando positiva a viabilidade física e ambiental para o uso da ADF em misturas asfálticas.

Seguindo outra linha de produto, Queiroz (2014) analisou a aplicabilidade do uso da areia descartada de fundição juntamente com o pó do jato de granalha na confecção de produtos cerâmicos. Desta forma, foram criados corpos de provas que obtiveram incorporações destes resíduos de fundição em teores de 5% e 10% (m/m), sendo avaliadas as propriedades físicas e mecânicas em ambos. Ao final de seu estudo, Queiroz (2014) notou que o corpo de prova com teor de 10% (m/m) com ADF apresentou os melhores resultados em relação as propriedades mecânicas e não apresentou periculosidade ambiental. Assim, a autora concluiu que é viável, tanto economicamente como ambientalmente, a incorporação deste resíduo na produção de produtos cerâmicos.

Ainda no segmento de cerâmicos, Correia (2015) teve como estudo de sua dissertação a análise da aplicação do resíduo areia de fundição na confecção de fritas cerâmicas em escala laboratorial, sendo realizados ensaios físicos, químicos e toxicológicos para avaliação da viabilidade quanto ao uso do resíduo. Durante os testes, a autora aplicou em diferentes amostras, concentrações de 25%, 50% e 75% de areia descartada de fundição juntamente com sílica e as substâncias tetraborato de lítio ( $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) e carbonato de lítio ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ). Em relação ao ensaio de toxicidade, Correia (2015, p. 7) observou que a amostra com concentração de 25% já apresentou toxicidade crônica, devido as substâncias  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$  e  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ , mas foi comprovada a formação de vidro. Assim a autora conclui que “as formulações propostas teriam uma boa indicação de uso, tornando-se o setor vítreo um forte candidato para o reuso deste

resíduo com as devidas adaptações para o tratamento final dos efluentes, oferecendo risco reduzido à saúde e ao meio ambiente”. (CORREIA, 2015, p. 6)

Seguindo o segmento de vidros, Martin (2017), estudou a viabilidade de propriedades mecânicas, quanto da aplicação do resíduo areia de fundição na confecção de vidros em sistema soda-cal que, segundo ela, são os vidros comerciais mais utilizados. Ao final de seu estudo a autora também avaliou os efeitos que a incorporação do resíduo ao produto provocou na coloração do vidro. Para tanto, o primeiro passo foi realizar um tratamento na ADF para minimizar a possível coloração, o qual não produziu passivos ambientais. Assim foram realizadas amostras com 5% e 100% de ADF tratada e outra com 25% de ADF não tratada, substituindo a sílica na composição. Concluindo seu estudo, a autora constatou que em todas as amostras analisadas, não foi possível a obtenção de vidros incolores. Desta forma, a autora concluiu que o uso de resíduo areia de fundição é viável tecnicamente para confecções de vidros coloridos e afirma que, pode-se obter diferentes intensidade de cor, a partir da variação no percentual do resíduo incorporado.

## 5 METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentados os métodos de pesquisa utilizados para este trabalho, além dos endereços eletrônicos, proporcionados pela Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), em que será realizada a busca pelos trabalhos publicados nos programas *Stricto Sensu* do Brasil.

### 5.1 ESTADO DA ARTE

De acordo com Ferreira (2002), uma pesquisa de Estado da Arte é caracterizada por compor uma metodologia que busca realizar um inventário e uma descrição da produção acadêmica e científica sobre um determinado tema. Complementando com essa afirmação, Romanowski e Ens (2006) comentam que para eles o Estado da Arte busca caracterizar quais são as contribuições significativas resultantes dos estudos que se deseja analisar, assim como as restrições, as dificuldades de disseminação, as experiências inovadoras, como alternativas de solução para problemas da prática, que estes estudos trazem como resultado, além de reconhecer as contribuições das pesquisas realizadas na área desejada. Sendo ainda mais específicos, Romanowski e Ens (2006) descrevem que o trabalho de Estado da Arte propõe um balanço das áreas de conhecimentos avaliadas, procurando esclarecer quais os temas relevantes, emergentes e recorrentes na devida área estudada, indicando os tipos de pesquisa e organizando as informações e as lacunas existentes. Assim, Ferreira (2002) afirma que trabalhos relacionados com o Estado da Arte demonstram um aumento significativo na sua produção, no período de 1987 a 2002.

Referente a essas pesquisas, Estado da Arte, que buscam a produção do conhecimento, Ferreira (2002, p. 258) descreve que estas são assim definidas:

[...] de caráter bibliográfico, elas parecem trazer em comum o desafio de mapear e de discutir uma certa produção acadêmica em diferentes campos do conhecimento, tentando responder que aspectos e dimensões vêm sendo destacados e privilegiados em diferentes épocas e lugares, de que formas e em que condições têm sido produzidas certas dissertações de mestrado, teses de doutorado, publicações em periódicos e comunicações em anais de congressos e de seminários.

Desta forma, reforçando a afirmação de Ferreira (2002), Romanowski e Ens (2006) informam que os estudos, os quais possuem como intuito sistematizar a produção de uma determinada área do conhecimento, são imprescindíveis para que se possa compreender a amplitude da evolução destas produções.

Como comentado por Ferreira (2002), a pesquisa do Estado da Arte é de caráter bibliográfico, um dos três tipos de pesquisas comentados por Köche (2011). Köche (2011) afirma que existem pesquisas do tipo: bibliográfica, experimental e descritiva. Segundo Köche (2011, p. 122) o desenvolvimento de uma pesquisa bibliográfica ocorre quando se busca

[...] explicar um problema, utilizando o conhecimento disponível a partir das teorias publicadas em livros ou obras congêneres. Na pesquisa bibliográfica o investigador irá levantar o conhecimento disponível na área, identificando as teorias produzidas, analisando-as e avaliando sua contribuição para auxiliar a compreender ou explicar o problema objeto da investigação. O objetivo da pesquisa bibliográfica, portanto, é o de conhecer e analisar as principais contribuições teóricas existentes sobre um determinado tema ou problema, tornando-se um instrumento indispensável para qualquer tipo de pesquisa. (KÖCHE, 2011, p. 122)

Também, este trabalho está englobado na área de análise bibliométrica que, de acordo com Bandeira, Zary e Campos (2016, p. 2):

A análise bibliométrica permite identificar *quem* (pesquisadores e instituições) está desenvolvendo pesquisas sobre o tema, *onde* esta pesquisa está sendo publicada, *o que* de fato está sendo estudado e *quando* a pesquisa foi desenvolvida. (BANDEIRA; ZARY; CAMPOS, 2016)

Assim, é possível desenvolver um estudo de estado da arte, de forma a desempenhar os conceitos a cima citados, através da utilização do Catálogo de Teses e Dissertações, disponibilizado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

## 5.2 CAPES

Fundada em julho de 1951, a Campanha Nacional de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, atualmente conhecida como Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), teve como seu primeiro objetivo "assegurar a existência de pessoal especializado em quantidade e qualidade suficientes para atender às necessidades dos empreendimentos públicos e privados que visam ao desenvolvimento do país." (CAPES, 2018a).

Após, segundo a CAPES (2018a), em 1981, ela foi a responsável por elaborar o Plano Nacional de Pós-Graduação *Stricto Sensu* do Brasil, tendo como tarefa a coordenação e avaliação dos programas de pós-graduação *Stricto Sensu* do Brasil. Desta forma, em 1995, o sistema da CAPES conseguiu constituir mais de mil cursos de mestrado e 600 de doutorado, os quais englobaram mais de 60 mil alunos.

Atualmente, a CAPES (2018a) conta com as diretorias de Educação Básica Presencial (DEB) e de Educação a distância (DED), as quais possuem programas que buscam aprimorar a qualidade da educação básica além de, fazer o uso de recursos e tecnologias de comunicação e informação para incentivar experiências inovadoras. Desta forma, a mesma comenta que possui a função de expandir e consolidar os programas de pós-graduação *Stricto Sensu* no Brasil e aprimorar a formação de professores da educação básica. Assim, é dever desta Coordenação realizar:

- avaliação da pós-graduação *stricto sensu*;
  - acesso e divulgação da produção científica;
  - investimentos na formação de recursos de alto nível no país e exterior;
  - promoção da cooperação científica internacional;
  - indução e fomento da formação inicial e continuada de professores para a educação básica nos formatos presencial e a distância.
- (CAPES, 2018a)

Para a disponibilização de informações à população e às comunidades técnicas e científicas, a CAPES oferece uma plataforma online. Esta apresenta notícias da área acadêmica, avaliação dos programas de pós-graduação abrangidos, portal de periódicos, entre outras informações.

### 5.3 PLATAFORMA SUCUPIRA

O Catálogo de Teses e Dissertações é um dos recursos disponibilizados, desde julho de 2002, pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior que, CAPES (2018b), apresenta teses e dissertações dos programas de pós-graduação *Stricto Sensu* do Brasil, com o intuito de facilitar o acesso à estas informações acadêmicas.

Neste catálogo são apresentadas referências de trabalhos defendidos desde 1987. Além disso, o mesmo disponibiliza, na íntegra, os trabalhos abrangidos na Plataforma Sucupira, desde a sua criação.

Segundo CAPES (2014), originada com o nome em homenagem ao professor Newton Sucupira, a Plataforma Sucupira, ferramenta da CAPES, possui a finalidade de coletar informações, analisar, avaliar e ser referência do Sistema Nacional de Pós-Graduação (SNPG). Desta forma, a Plataforma Sucupira, objetiva trazer avanços tanto para os processos da CAPES, como para os das Instituições de Ensino, disponibilizando, para a comunidade acadêmica, informações, processos e

procedimentos, realizados pela CAPES no SNPG, em tempo real e com mais transparência.

De acordo com a CAPES (2018b), no início do Catálogo de Teses e Dissertações, somente era possível realizar a busca pelos trabalhos de pós-graduação, através do autor, do título, da instituição, do nível ou do ano de defesa. Atualmente, através do acesso ao Catálogo, verificou-se a atualização do campo de busca aos trabalhos, constatando que é possível filtrar os resultados por campos como: tipo de trabalho, ano de publicação, autor, orientador, banca, grande área do conhecimento, área do conhecimento, área de avaliação, área de concentração, nome do programa, instituição e biblioteca em que o trabalho se encontra.

#### 5.4 ACESSO ÀS INFORMAÇÕES

Para realizar a pesquisa dos trabalhos produzidos nos programas de pós-graduação *Stricto Sensu* do Brasil, foi acessado o Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES (CAPES, 2018b). Desta forma, no campo de busca, que aparece na tela do computador, foi digitado, entre aspas, a expressão: “areia de fundição”. Ao fazer isto, os resultados encontrados pelo sistema da CAPES, deverão aparecer e, a partir deles, foi possível utilizar os filtros disponíveis (comentados no item da Plataforma Sucupira).

Em relação ao período de análise da pesquisa, este foi a partir de 1987, primeiro ano de registro dos programas de pós-graduação da CAPES, até 2016. O ano 2017 não será considerado, pois levou-se em consideração que alguns estudos apresentados em 2017 podem ainda não estar disponíveis no Banco de Teses da CAPES até o momento.

A partir destes filtros foram produzidas tabelas, afim de avaliar e comparar os estudos existentes em relação ao resíduo areia de fundição, nos programas de pós-graduação da CAPES. Desta forma, pretendeu-se avaliar o histórico das pesquisas relacionadas a este tema, ou seja, a partir de que ano se tem registro de trabalhos de mestrados e doutorados referentes a este assunto, quais as áreas do conhecimento que mais possuem interesse, qual a região brasileira e suas respectivas instituições de ensino que mais possui interesse e qual a linha de estudo mais pesquisada,

relacionada a este tema, caracterizando uma pesquisa de Estado da Arte. Também, foi possível analisar as tendências quanto as técnicas e tecnologias relacionadas ao reaproveitamento do resíduo areia de fundição e da sua destinação final.

Para a realização deste trabalho, inicialmente, foi analisado o título, o resumo e as palavras-chave de cada um dos estudos resultantes, encontrados durante a pesquisa no catálogo da CAPES, através da expressão “areia de fundição” utilizada para a busca (para os trabalhos que estiverem disponíveis na Plataforma Sucupira ou no endereço eletrônico da instituição de origem do mesmo), sendo estas produções encontradas até o dia 17 de maio de 2018. Após, foi verificado se a abordagem dos estudos é realmente referente ao resíduo areia de fundição, pois somente estes foram levados em consideração durante a análise.

Das produções em que foi observado, através da leitura do título, do resumo e das palavras-chave, que se referiram ao resíduo areia de fundição, foi realizada a leitura completa dos estudos, os quais foram catalogados.

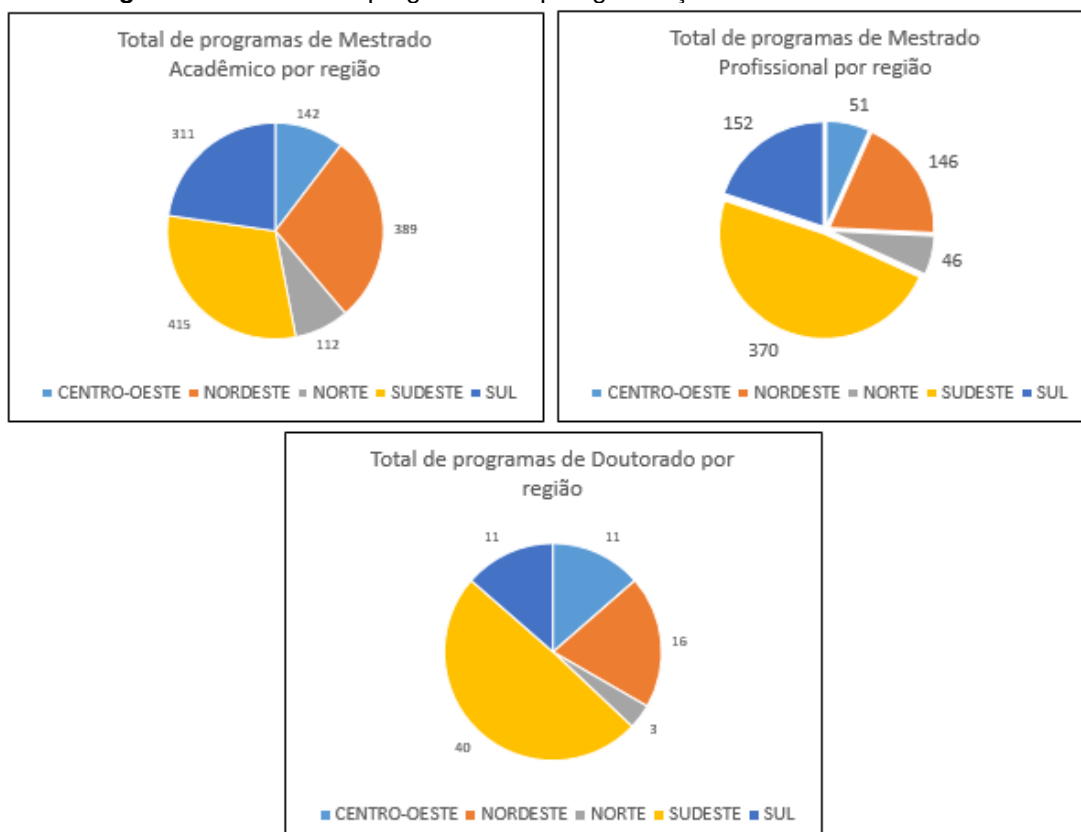
## 6 RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados da pesquisa. Neles, são descritos os Programas de Pós-graduação *Stricto Sensu* reconhecidos e recomendados pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), bem como a análise das produções, sobre o resíduo areia de fundição, encontradas durante a realização do estudo.

### 6.1 PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* DO BRASIL NA CAPES

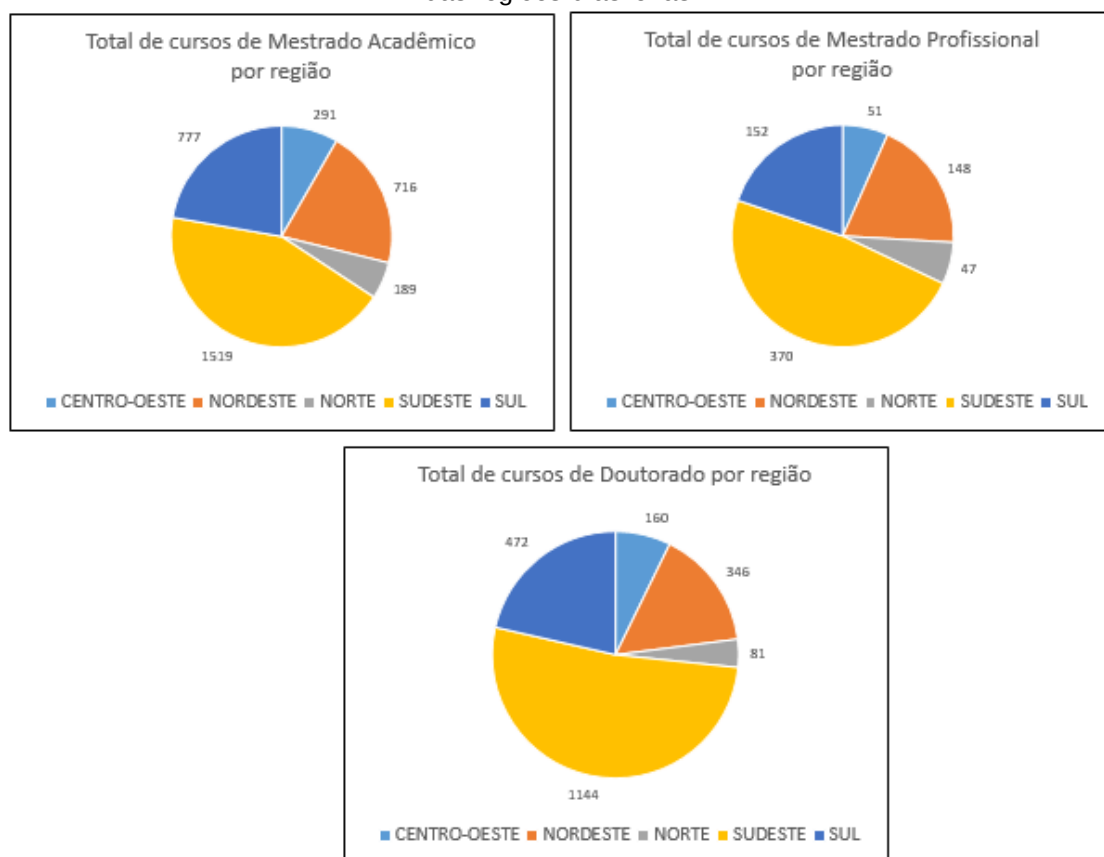
Por meio da Plataforma Sucupira CAPES (CAPES, 2018c) foi possível verificar quantitativamente os programas e cursos de Pós-graduação *Stricto Sensu* do Brasil (Mestrado Acadêmico, Mestrado Profissional e Doutorado), os quais são avaliados e reconhecidos pela CAPES. Desta forma, por meio da observação dos dados disponibilizados na Plataforma Sucupira, foram elaboradas as Figura 5 e 6, para melhor visualização dos mesmos.

**Figura 5 –** Número de programas de pós-graduação *Stricto Sensu* no Brasil.



Fonte: elaborado pela autora com base na CAPES (2018c).

**Figura 6** – Número de cursos de pós-graduação *Stricto Sensu* no Brasil, apresentados pela CAPES, das regiões brasileiras.



Fonte: elaborado pela autora com base na CAPES (2018c).

Analisando ambas as figuras, percebe-se que a maior parte dos programas e cursos, reconhecidos pela CAPES, estão localizados na região Sudeste do país e, posteriormente, na maioria dos casos, na região Sul, sendo seguidos pela região Nordeste em terceiro lugar, centro-oeste em quarto lugar e Norte em quinto lugar. Cabe destacar que os dados podem estar relacionados a estatística populacional, a qual, de acordo com a Agência IBGE Notícias (2017), a região Sudeste seria a primeira, com 86.949.714 residentes e a região Sul em terceira colocada (após a região Nordeste), com 29.644.948 residentes. As regiões, Norte e Centro-Oeste com as menores quantidades de programas e cursos reconhecidos pela CAPES, estas possuem também as menores estimativas populacionais, de acordo com a Agência IBGE Notícias (2017), com 17.936.201 e 15.875.907 residentes, respectivamente.

Em sequência, foram analisados quantitativamente os mesmos programas, mas desta vez, por estados das regiões Sudeste e Sul, uma vez que estas apresentam o maior número de cursos e programas reconhecidos pela CAPES. Os resultados foram

encontrados em CAPES (2018d) e CAPES (2018e), os quais são apresentados nas Tabelas 1 e 2.

**Tabela 1** – Número de cursos de pós-graduação *Stricto Sensu* do Brasil, apresentados pela CAPES, por estados da região Sudeste.

| SUDESTE   | TOTAL DE PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO |     |    |     |       | TOTAL DE CURSOS DE PÓS-GRADUAÇÃO |      |      |     |
|-----------|-------------------------------------|-----|----|-----|-------|----------------------------------|------|------|-----|
|           | Total                               | ME  | DO | MP  | ME/DO | Total                            | ME   | DO   | MP  |
|           | 1928                                | 415 | 40 | 370 | 1103  | 3034                             | 1519 | 1144 | 370 |
| <b>ES</b> | <b>73</b>                           | 28  | 1  | 16  | 28    | <b>101</b>                       | 56   | 29   | 16  |
| <b>MG</b> | <b>440</b>                          | 154 | 3  | 74  | 209   | <b>649</b>                       | 363  | 212  | 74  |
| <b>RJ</b> | <b>492</b>                          | 80  | 14 | 126 | 272   | <b>766</b>                       | 353  | 287  | 126 |
| <b>SP</b> | <b>923</b>                          | 153 | 22 | 154 | 594   | <b>1517</b>                      | 747  | 616  | 154 |

Fonte: CAPES (2018d).

Sendo:

ME = Mestrado Acadêmico

DO = Doutorado

MP = Mestrado Profissional

ME/DO = Mestrado e Doutorado

**Tabela 2** – Número de cursos de pós-graduação *Stricto Sensu* do Brasil, apresentados pela CAPES, dos estados da região Sudeste.

| SUL       | TOTAL DE PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO |            |           |            |            | TOTAL DE CURSOS DE PÓS-GRADUAÇÃO |            |            |            |
|-----------|-------------------------------------|------------|-----------|------------|------------|----------------------------------|------------|------------|------------|
|           | Total                               | ME         | DO        | MP         | ME/DO      | Total                            | ME         | DO         | MP         |
|           | <b>935</b>                          | <b>311</b> | <b>11</b> | <b>152</b> | <b>461</b> | <b>1401</b>                      | <b>777</b> | <b>472</b> | <b>152</b> |
| <b>PR</b> | <b>344</b>                          | 145        | 4         | 39         | 156        | <b>500</b>                       | 301        | 160        | 39         |
| <b>RS</b> | <b>417</b>                          | 113        | 4         | 75         | 225        | <b>642</b>                       | 338        | 229        | 75         |
| <b>SC</b> | <b>174</b>                          | 53         | 3         | 38         | 80         | <b>259</b>                       | 138        | 83         | 38         |

Fonte: CAPES (2018e).

Sendo:

ME = Mestrado Acadêmico

DO = Doutorado

MP = Mestrado Profissional

ME/DO = Mestrado e Doutorado

A partir destas tabelas disponibilizadas pela CAPES, em sua Plataforma Sucupira, é possível perceber que, em todos os estados da região Sul, tanto nos programas como nos cursos reconhecidos, o número de Mestrados Acadêmicos é sempre elevado em relação ao número de Doutorados e Mestrados Profissionais. Sendo o estado do Rio Grande do Sul, o que apresenta a maior quantidade dos programas e cursos, seguido do estado do Paraná e, por fim, do estado de Santa Catarina.

Em relação a região Sudeste, assim como na Sul, os Estados de Espírito Santo e Minas Gerais, também possuem mais programas de Mestrado Acadêmico, em relação aos de Doutorado e Mestrado Profissional, enquanto os estados de Rio de Janeiro e São Paulo, apresentam maior quantidade em seus programas de Mestrado Profissional. Já na avaliação dos cursos de pós-graduação, nessa mesma região, todos os estados possuem quantidades elevadas de Mestrados Acadêmicos, em relação aos Mestrados Profissionais e Doutorados.

## 6.2 PRODUÇÕES ENCONTRADAS COM A EXPRESÃO “AREIA DE FUNDIÇÃO”

Durante a pesquisa realizada no Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES, utilizando a expressão areia de fundição, entre aspas, foram encontrados 61 resultados de trabalhos publicados nos programas *Stricto Sensu* do Brasil. Ao utilizar os filtros disponíveis no Catálogo da CAPES, é possível constatar que as produções são de doutorado, mestrado acadêmico e mestrado profissional. Estes dados foram compilados na Tabela 3, juntamente com seu ano de publicação. Nesta tabela são apresentados os resultados obtidos apenas através da leitura dos títulos, resumo e palavras-chave dos estudos, ainda não levando em consideração a abordagem de cada um sobre a areia de fundição.

Pela visualização da Tabela 3 tem-se o total de sete produções no Doutorado (1999, 2000, 2004, 2007, 2008, 2013 e 2016), bem como sete produções de Mestrado Profissional (2002, 2003, 2006, 2012, 2013, 2015 e 2016) e 47 produções de Mestrado Acadêmico (1993, 1996, 1997, 2000, 2003 a 2016). Para melhor visualização dos resultados, foi gerado o gráfico, apresentado na Figura 7.

Ao observar a Figura 7, percebe-se que a preocupação em estudar o resíduo areia de fundição é do início da década de 90, tendo o primeiro registro de publicação pelo Catálogo da CAPES em 1993, (TEIXEIRA, 1993) que possui como título “Ensaio de tratabilidade de resíduo sólido industrial – areia fenólica: isolamento, identificação e seleção de fungos filamentosos”, da Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.

**Tabela 3** – Produções, contendo a expressão “areia de fundição”, por tipo de curso encontradas nos programas *Stricto Sensu* do Brasil, no período 1987-2016.

| Ano          | Teses    | Dissertações |               | Total     |
|--------------|----------|--------------|---------------|-----------|
|              |          | Acadêmicas   | Profissionais |           |
| 1987-1992    | -        | -            | -             | -         |
| 1993         | -        | 1            | -             | 1         |
| 1994         | -        | -            | -             | -         |
| 1995         | -        | -            | -             | -         |
| 1996         | -        | 1            | -             | 1         |
| 1997         | -        | 1            | -             | 1         |
| 1998         | -        | -            | -             | -         |
| 1999         | 1        | -            | -             | 1         |
| 2000         | 1        | 1            | -             | 2         |
| 2001         | -        | -            | -             | -         |
| 2002         | -        | -            | 1             | 1         |
| 2003         | -        | 1            | 1             | 2         |
| 2004         | 1        | 4            | -             | 5         |
| 2005         | -        | 9            | -             | 9         |
| 2006         | -        | 2            | 1             | 3         |
| 2007         | 1        | 4            | -             | 5         |
| 2008         | 1        | 2            | -             | 3         |
| 2009         | -        | 2            | -             | 2         |
| 2010         | -        | 2            | -             | 2         |
| 2011         | -        | 3            | -             | 3         |
| 2012         | -        | 4            | 1             | 5         |
| 2013         | 1        | 4            | 1             | 6         |
| 2014         | -        | 3            | -             | 3         |
| 2015         | -        | 1            | 1             | 2         |
| 2016         | 1        | 2            | 1             | 4         |
| <b>Total</b> | <b>7</b> | <b>47</b>    | <b>7</b>      | <b>61</b> |

Fonte: elaborado pela autora com base na CAPES (2018b).

Ainda na análise da Tabela 3, também é possível verificar que o interesse em estudar sobre a ADF é contínuo, tendo todos os anos, no mínimo uma publicação, desde 2003 até 2016. Além disso, observa-se também que este interesse obteve um crescimento, principalmente no ano 2005, em que foi constatado o ano com o maior número de publicações, sendo nove ao total.

### 6.3 ANÁLISE DA ABORDAGEM DOS ESTUDOS EM RELAÇÃO A AREIA DE FUNDIÇÃO

Do total de 61 produções, 41 relacionam o resíduo areia de fundição com a aplicação deste como matéria-prima na fabricação de diferentes produtos, relacionando com o estudo de toxicidade do resíduo e os impactos que ele causa no meio ambiente, com a minimização da geração deste resíduo, com a regeneração do mesmo e sobre a viabilidade econômica do seu uso por diferentes meios.

Alguns destes trabalhos analisados apresentam o estudo de aplicação da areia descartada de fundição como matéria-prima, juntamente com outros resíduos do processo de fundição ou outros industriais. Também houveram aqueles que estudaram somente o resíduo areia de processos específicos da fundição, como por exemplo, o resíduo areia apenas da etapa de macharia e não o resíduo areia de fundição resultante de todos os processos. Além destes, também foi constatado um trabalho que estudou o perfil ambiental dos processos de fundição que utilizam a areia de fundição, procurando analisar as alternativas que as empresas realizam para minimizar, recuperar e dar a destinação final da areia de fundição como resíduo. Entretanto, a maioria dos trabalhos analisados, tiveram como foco de seu estudo somente o resíduo areia de fundição, resultantes de todas as atividades deste processo.

Dos demais estudos apresentados no Catálogo da CAPES, 13 não foram localizados na Plataforma Sucupira e no endereço eletrônico das suas respectivas instituições, os quais são apresentados no Quadro 2. Além destes, houveram sete estudos em que foi possível constatar que estes não possuem seu tema relacionado ao resíduo areia de fundição, mas com a areia de fundição virgem ou areias em geral (Tabela 4). Sendo assim, foi possível a leitura do título, resumo e palavras-chave de 48 estudos.

**Quadro 2** – Produções sem acesso para leitura de resumo e palavras-chave.

| <b>PRODUÇÕES NÃO ENCONTRADAS</b>                                                                                                                                                                                   |                                                            |                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------|
| <b>Publicação</b>                                                                                                                                                                                                  | <b>Instituição de ensino</b>                               | <b>Ano de publicação</b> |
| Encapsulamento de areia de fundição de descarte em matriz de cimento                                                                                                                                               | Universidade de São Paulo                                  | 1996                     |
| Avaliação da biodegradação em solo de resíduos sólidos - areia fenólica - utilizando o método respirométrico                                                                                                       | Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho     | 1999                     |
| Estudo da possibilidade de utilização de areia fenólica de fundição na cobertura de valas de aterro sanitário, através da avaliação por método respirométrico da biodegradação de diferentes misturas solo-resíduo | Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho     | 2000                     |
| Estudo de viabilidade técnica para o emprego de areia de fundição de descarte como agregado miúdo na produção de concreto de cimento Portland                                                                      | Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo | 2003                     |
| Regeneração Térmica de Areia Ligada Quimicamente                                                                                                                                                                   | Universidade do Estado de Santa Catarina                   | 2003                     |
| Aterros sanitários: duas perspectivas tecnológicas – filtros anaeróbios para tratamento de lixiviados e sistemas de coberturas com emprego de recirculação de lixiviado                                            | Universidade do Vale do Rio dos Sinos                      | 2005                     |
| Avaliação do potencial de uso na agricultura de resíduos gerados no estado do Paraná                                                                                                                               | Universidade Federal do Paraná                             | 2005                     |
| Estudo investigatório para utilização de areias de fundição na confecção de concreto                                                                                                                               | Universidade Luterana do Brasil                            | 2006                     |
| Estudo da reação de fenton na remediação de resíduo de fundição                                                                                                                                                    | Universidade Regional de Blumenau                          | 2007                     |
| Estudo da reação de fenton na remediação de resíduo de fundição                                                                                                                                                    | Universidade Regional de Blumenau                          | 2007                     |
| Reutilização de areia de fundição em concreto asfáltico na região de Carazinho/RS                                                                                                                                  | Fundação Universidade de Passo Fundo                       | 2007                     |
| Substituição de ligantes orgânicos em moldes de areia de fundição por resina poliuretano vegetal                                                                                                                   | Universidade Federal de São Carlos                         | 2011                     |
| Estudo da qualidade para reaproveitamento das areias de fundição regeneradas por calcinação e sua viabilidade econômica                                                                                            | Instituto Superior Tupy                                    | 2012                     |
| Avaliação técnica e ambiental de peças de concreto para pavimentos intertravados produzidos com resíduos de areia de fundição                                                                                      | Universidade do Estado de Santa Catarina                   | 2016                     |

Fonte: elaborado pela autora com base na CAPES (2018b).

**Tabela 4** – Produções por tipo de estudo encontradas na pesquisa.

| <b>Produções com leitura de título, resumo e palavras-chave</b> |           |
|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| Relacionados com o tema resíduo areia de fundição               | 41        |
| Relacionados com areias em geral                                | 1         |
| Relacionados com areia de fundição virgem                       | 6         |
| <b>Total</b>                                                    | <b>48</b> |

Fonte: elaborado pela autora com base na CAPES (2018b).

Desta forma, do total de 61 títulos no Catálogo da CAPES, no período analisado, 1987 a 2016, aqueles que não foram possíveis a visualização para leitura, resumo e palavras-chave, totalizam 13 trabalhos (Quadro 2), não sendo, portanto, analisados nos resultados. Também não serão abordados nos próximos resultados os estudos relacionados a areia de fundição virgem e a areias em geral (sete estudos). Portanto, no total, 41, dos 61 resultados encontrados no Catálogo da CAPES são analisados.

#### 6.4 ANÁLISE DAS PRODUÇÕES COM ABORDAGEM DO RESÍDUO AREIA DE FUNDIÇÃO POR INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR

A partir das 41 produções encontradas e que desenvolveram sua pesquisa abordando o resíduo areia de fundição, foi possível realizar o levantamento das Instituições de Ensino Superior (IES) em que elas foram desenvolvidas, através do uso dos filtros disponíveis no Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES. Desta forma, foi elaborada a Tabela 5 a partir dos dados encontrados.

**Tabela 5** – Instituições de Ensino Superior (IES) em que as produções foram desenvolvidas, no período 1987-2016.

|           |    |    |    |                                                            |  |    | (continua) |
|-----------|----|----|----|------------------------------------------------------------|--|----|------------|
| Ano       | DO | ME | MP | IES                                                        |  | UF | Total      |
| 1987-1992 | -  | -  | -  | -                                                          |  | -  | -          |
| 1993      | -  | 1  | -  | Universidade Estadual de Campinas                          |  | SP | 1          |
| 1994      | -  | -  | -  | -                                                          |  | -  | -          |
| 1995      | -  | -  | -  | -                                                          |  | -  | -          |
| 1996      | -  | -  | -  | -                                                          |  | -  | -          |
| 1997      | -  | 1  | -  | Universidade de São Paulo                                  |  | SP | 1          |
| 1998      | -  | -  | -  | -                                                          |  | -  | -          |
| 1999      | -  | -  | -  | -                                                          |  | -  | -          |
| 2000      | -  | -  | -  | -                                                          |  | -  | -          |
| 2001      | -  | -  | -  | -                                                          |  | -  | -          |
| 2002      | -  | -  | 1  | Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo |  | SP | 1          |

|              |          |           |          |                                             |    |           | (conclusão) |
|--------------|----------|-----------|----------|---------------------------------------------|----|-----------|-------------|
| Ano          | DO       | ME        | MP       | IES                                         | UF | Total     |             |
| 2003         | -        | -         | -        | -                                           | -  | -         | -           |
| 2004         | -        | 3         | -        | Universidade do Estado de Santa Catarina    | SC | 3         |             |
| 2004         | 1        | -         | -        | Universidade de São Paulo / São Carlos      | SP | 1         |             |
| 2005         | -        | 4         | -        | Universidade Federal do Rio Grande do Sul   | RS | 4         |             |
| 2005         | -        | 1         | -        | Universidade Federal do Paraná              | PR | 1         |             |
| 2005         | -        | 1         | -        | Universidade do Estado de Santa Catarina    | SC | 1         |             |
| 2005         | -        | 1         | -        | Universidade Federal de Santa Catarina      | SC | 1         |             |
| 2006         | -        | 2         | -        | Universidade do Estado de Santa Catarina    | SC | 2         |             |
| 2007         | -        | 2         | -        | Fundação Universidade de Passo Fundo        | RS | 2         |             |
| 2007         | 1        | -         | -        | Universidade Estadual de Campinas           | SP | 1         |             |
| 2008         | -        | 1         | -        | Instituto Militar de Engenharia             | RJ | 1         |             |
| 2008         | -        | 1         | -        | Universidade de São Paulo / São Carlos      | SP | 1         |             |
| 2008         | 1        | -         | -        | Universidade de São Paulo / São Carlos      | SP | 1         |             |
| 2009         | -        | 1         | -        | Universidade Federal de Minas Gerais        | MG | 1         |             |
| 2009         | -        | 1         | -        | Universidade Federal do Paraná              | PR | 1         |             |
| 2010         | -        | 1         | -        | Universidade Federal Fluminense             | RJ | 1         |             |
| 2010         | -        | 1         | -        | Universidade Tecnológica Federal do Paraná  | PR | 1         |             |
| 2011         | -        | 1         | -        | Universidade do Estado de Santa Catarina    | SC | 1         |             |
| 2012         | -        | 1         | -        | Universidade de São Paulo                   | SP | 1         |             |
| 2012         | -        | 1         | -        | Universidade Estadual de Campinas / Limeira | SP | 1         |             |
| 2012         | -        | 1         | -        | Universidade do Estado de Santa Catarina    | SC | 1         |             |
| 2012         | -        | 1         | -        | Universidade Federal de Santa Catarina      | SC | 1         |             |
| 2013         | -        | 3         | -        | Universidade do Extremo Sul Catarinense     | SC | 3         |             |
| 2013         | -        | -         | 1        | Universidade Federal de Itajubá             | MG | 1         |             |
| 2013         | 1        | -         | -        | Universidade de São Paulo / São Carlos      | SP | 1         |             |
| 2014         | -        | 2         | -        | Universidade do Estado de Santa Catarina    | SC | 2         |             |
| 2014         | -        | 1         | -        | Universidade de Santa Cruz do Sul           | RS | 1         |             |
| 2015         | -        | 1         | -        | Universidade da Região de Joinville         | SC | 1         |             |
| 2016         | -        | -         | 1        | Universidade Presbiteriana Mackenzie        | SP | 1         |             |
| <b>Total</b> | <b>4</b> | <b>34</b> | <b>3</b> |                                             |    | <b>41</b> |             |

Fonte: elaborado pela autora com base na CAPES (2018b).

Sendo:

ME = Mestrado Acadêmico

DO = Doutorado

MP = Mestrado Profissional

ME/DO = Mestrado e Doutorado

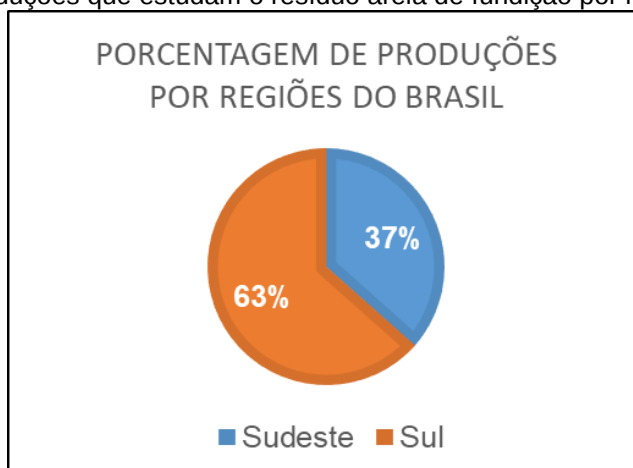
A partir da Tabela 5, foi possível analisar o interesse existente em cada região em estudar o resíduo areia de fundição. Através dessa tabela foi elaborado o gráfico apresentado na Figura 8, em que é possível perceber que este interesse é maior na região Sul em relação a Sudeste do Brasil. Assim, acreditasse que esta informação

está diretamente relacionada a quantidade existente de programas e cursos de pós-graduação avaliados e reconhecidos pela CAPES, a quantidade de atividades industriais, uma vez que estas regiões são mais significativas nesses aspectos. Já em relação as regiões Centro-Oeste, Nordeste e Norte, na pesquisa realizada, nenhum trabalho relacionado ao tema de busca foi localizado.

Na sequência, foram comparadas as IES em cada região (Figuras 9 e 10). Analisando a Figura 9, é possível notar que a região Sul apresentou um total de 26 produções relacionadas ao tema, sendo elas desenvolvidas em nove IES distintas. Destas IES, quatro são do estado de Santa Catarina, três do Rio Grande do Sul e duas do Paraná, sendo a Universidade do Estado de Santa Catarina apresentando o maior número de produções, 10 no total, seguida pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul com quatro produções e pela Universidade do Extremo Sul Catarinense com três publicações.

Por fim, dos três estados da região Sul é possível perceber que as academias com maior interesse no tema areia de fundição como resíduo são as de Santa Catarina, seguido pelo Rio Grande do Sul e Paraná. O grande interesse das universidades de Santa Catarina em abordar a areia descartada de fundição também pode ser relacionado com o dado disponibilizado pela ABIFA (2015), descrito no subcapítulo 4.2 Processo de fundição no referencial teórico deste trabalho, em que a Associação Brasileira de Fundição (2015) comenta que a geração anual de ADF no Brasil é estimada em três milhões de toneladas, sendo desta quantidade, 600 mil toneladas provenientes de Santa Catarina.

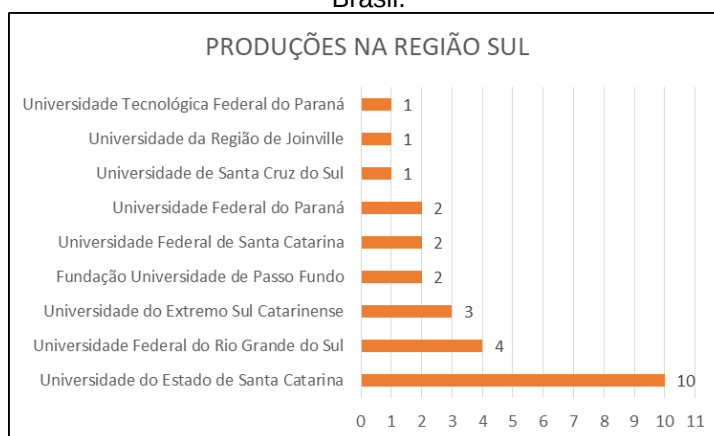
**Figura 8** – Produções que estudam o resíduo areia de fundição por regiões do Brasil.



Fonte: elaborado pela autora com base na CAPES (2018b).

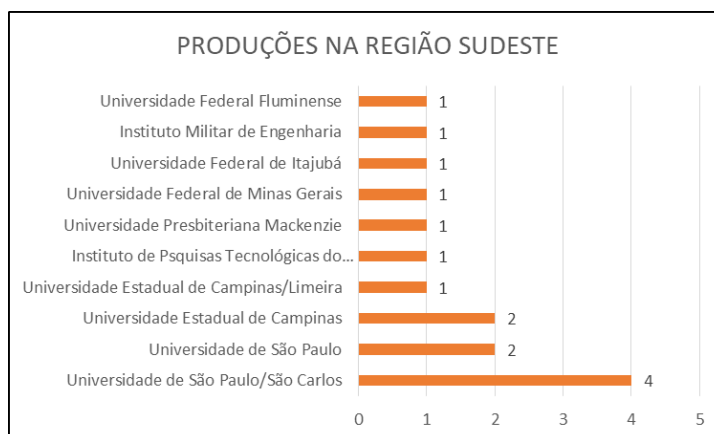
Já na análise da Figura 10, observa-se um total de 15 produções relacionadas ao tema desenvolvidas na região Sudeste do país. Das IES, seis são do Estado de São Paulo, duas de Minas Gerais e duas do Rio de Janeiro. Desta forma, São Paulo apresentou o total de 11 produções, seguido de Minas Gerais e Rio de Janeiro, cada estado apresentando o total de duas publicações. Sendo assim, das 11 produções de São Paulo, seis foram realizadas na Universidade de São Paulo, sendo quatro no município de São Carlos e duas na capital do Estado. O restante das produções de São Paulo, foram realizadas na Universidade Estadual de Campinas (tanto na Instituição localizada em Campinas, bem como na localizada em Limeira), no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo e na Universidade Presbiteriana Mackenzie.

**Figura 9**– Número de produções que estudam o resíduo areia de fundição por IES da região Sul do Brasil.



Fonte: elaborado pela autora com base na CAPES (2018b).

**Figura 10** – Número de produções que estudam o resíduo areia de fundição por IES da região Sudeste do Brasil.



Fonte: elaborado pela autora com base na CAPES (2018b).

## 6.5 ANÁLISE DAS PRODUÇÕES POR ÁREAS DO CONHECIMENTO

A próxima análise realizada foi a relação entre as produções encontradas e suas áreas do conhecimento. Esta relação também foi obtida pelo uso dos filtros disponíveis no Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES. Assim, com os dados resultantes do uso do filtro “Área do conhecimento” foi elaborada a Tabela 6.

**Tabela 6** – Áreas do conhecimento em que as produções foram desenvolvidas, no período 1987-2016.

|           |    |    |    |                                       |    |       | (continua) |
|-----------|----|----|----|---------------------------------------|----|-------|------------|
| Ano       | DO | ME | MP | Área do conhecimento                  | UF | Total |            |
| 1987-1992 | -  | -  | -  | -                                     | -  | -     | -          |
| 1993      | -  | 1  | -  | Engenharia Civil                      | SP | 1     |            |
| 1994      | -  | -  | -  | -                                     | -  | -     |            |
| 1995      | -  | -  | -  | -                                     | -  | -     |            |
| 1996      | -  | -  | -  | -                                     | -  | -     |            |
| 1997      | -  | 1  | -  | Engenharia Sanitária                  | SP | 1     |            |
| 1998      | -  | -  | -  | -                                     | -  | -     |            |
| 1999      | -  | -  | -  | -                                     | -  | -     |            |
| 2000      | -  | -  | -  | -                                     | -  | -     |            |
| 2000      | -  | -  | -  | -                                     | -  | -     |            |
| 2001      | -  | -  | -  | -                                     | -  | -     |            |
| 2002      | -  | -  | 1  | Engenharia Civil                      | SP | 1     |            |
| 2003      | -  | -  | -  | -                                     | -  | -     |            |
| 2004      | -  | 1  | -  | Engenharia de Materiais e Metalúrgica | SC | 1     |            |
| 2004      | -  | 2  | -  | Engenharia Sanitária                  | SC | 2     |            |
| 2004      | 1  | -  | -  | Engenharia de Transportes             | SP | 1     |            |
| 2005      | -  | 3  | -  | Engenharia de Materiais e Metalúrgica | RS | 3     |            |
| 2005      | -  | 1  | -  | Engenharia Civil                      | RS | 1     |            |
| 2005      | -  | 1  | -  | Engenharia Civil                      | PR | 1     |            |
| 2005      | -  | 1  | -  | Engenharia de Materiais e Metalúrgica | SC | 1     |            |
| 2005      | -  | 1  | -  | Engenharia Química                    | SC | 1     |            |
| 2006      | -  | 1  | -  | Engenharia de Materiais e Metalúrgica | SC | 1     |            |
| 2006      | -  | 1  | -  | Engenharia de Materiais e Metalúrgica | PR | 1     |            |
| 2007      | -  | 1  | -  | Engenharia Civil                      | RS | 1     |            |
| 2007      | -  | 1  | -  | Engenharia de Materiais e Metalúrgica | RS | 1     |            |
| 2007      | 1  | -  | -  | Engenharia Mecânica                   | SP | 1     |            |
| 2008      | -  | 1  | -  | Engenharia de Transportes             | RJ | 1     |            |
| 2008      | -  | 1  | -  | Engenharia de Transportes             | SP | 1     |            |
| 2008      | 1  | -  | -  | Arquitetura e Urbanismo               | SP | 1     |            |
| 2009      | -  | 1  | -  | Química                               | MG | 1     |            |
| 2009      | -  | 1  | -  | Materiais                             | PR | 1     |            |

| (conclusão)  |          |           |          |                                             |    |           |
|--------------|----------|-----------|----------|---------------------------------------------|----|-----------|
| Ano          | DO       | ME        | MP       | Área do conhecimento                        | UF | Total     |
| 2010         | -        | 1         | -        | Engenharia Mecânica                         | RJ | 1         |
| 2010         | -        | 1         | -        | Engenharia de Produção                      | PR | 1         |
| 2011         | -        | 1         | -        | Engenharia de Materiais e Metalúrgica       | SC | 1         |
| 2012         | -        | 1         | -        | Ciências Ambientais                         | SP | 1         |
| 2012         | -        | 1         | -        | Interdisciplinar                            | SP | 1         |
| 2012         | -        | 1         | -        | Engenharia de Materiais e Metalúrgica       | SC | 1         |
| 2012         | -        | 1         | -        | Engenharia Sanitária                        | SC | 1         |
| 2013         | -        | 1         | -        | Engenharia de Materiais e Metalúrgica       | SC | 1         |
| 2013         | -        | 1         | -        | Geologia                                    | SP | 1         |
| 2013         | -        | 1         | -        | Engenharia Química                          | RS | 1         |
| 2013         | -        | -         | 1        | Engenharia de Materiais e Metalúrgica       | MG | 1         |
| 2013         | 1        | -         | -        | Engenharia de Transportes                   | SP | 1         |
| 2014         | -        | 2         | -        | Engenharia de Materiais e Metalúrgica       | SC | 2         |
| 2014         | -        | 1         | -        | Engenharia Sanitária                        | RS | 1         |
| 2015         | -        | 1         | -        | Processos Industriais de Engenharia Química | SC | 1         |
| 2016         | -        | -         | 1        | Engenharia de Materiais e Metalúrgica       | SP | 1         |
| <b>Total</b> | <b>4</b> | <b>34</b> | <b>3</b> |                                             |    | <b>41</b> |

Fonte: elaborado pela autora com base na CAPES (2018b).

Sendo:

ME = Mestrado Acadêmico

DO = Doutorado

MP = Mestrado Profissional

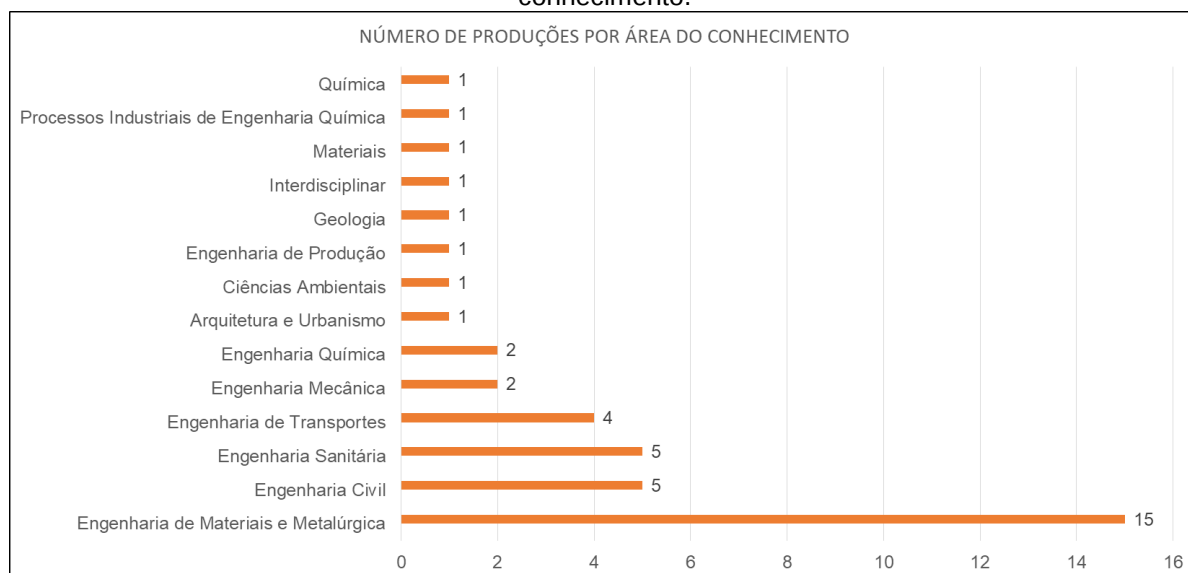
ME/DO = Mestrado e Doutorado

A partir desta tabela, foi gerado o gráfico referente ao número de produções por área do conhecimento apresentado na Figura 11. Com este gráfico, é possível observar que a área do conhecimento, a qual apresenta maior interesse em estudar o resíduo areia de fundição é Engenharia de Materiais e Metalúrgica, tendo 15 produções no total, seguida pelas áreas Engenharia Sanitária e Engenharia Civil, cada uma com o total de cinco produções e pela Engenharia de Transportes com quatro produções. Já, as demais áreas do conhecimento encontradas apresentam um número inferior de produções, tendo o total de duas ou uma somente, conforme pode ser verificado na Figura 11.

Assim, relacionando os dados apresentados na Tabela 6 e na Figura 11, verifica-se que, em relação a área do conhecimento Engenharia de Materiais e Metalúrgica, a região do Brasil que mais apresentou produções foi a Sul, tendo oito produções no estado de Santa Catarina, seguido do estado do Rio Grande do Sul com quatro

produções e do Paraná com uma produção. Já a região Sudeste apresentou somente duas produções dentro desta área de conhecimento, sendo uma no estado de São Paulo e uma em Minas Gerais.

**Figura 11** – Número de produções que estudam o resíduo areia de fundição por área do conhecimento.



Fonte: elaborado pela autora com base na CAPES (2018b).

Já em relação a área do conhecimento Engenharia Sanitária, das cinco produções encontradas, três foram desenvolvidas em Santa Catarina, uma no estado de São Paulo e uma no Rio Grande do Sul, tendo como anos de publicação 1997, 2004, 2012 e 2014. Da mesma forma, a área do conhecimento Engenharia Civil também não apresentou publicações em anos contínuos, tendo como período de publicações os anos 1993, 2002, 2005 e 2007. Ainda em produções da Engenharia Civil, estas foram desenvolvidas no Rio Grande do Sul, com o total de duas, no estado de São Paulo, também com o total de duas e no Paraná com uma produção.

Desta forma, é possível perceber que o interesse em estudar o resíduo areia de fundição em Santa Catarina é mais aparente nas áreas do conhecimento de Engenharia de Materiais e Metalúrgica e de Engenharia Sanitária diferentemente do Rio Grande do Sul e do estado de São Paulo. O Rio Grande do Sul, demonstra mais interesse em abordar este tema nas áreas de Engenharia de Materiais e Metalúrgica e de Engenharia Civil, enquanto para o estado de São Paulo o interesse maior é demonstrado na área de Engenharia Civil.

## 6.6 ANÁLISE DAS PRODUÇÕES POR APLICAÇÕES DA AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO ABORDADAS NOS ESTUDOS PESQUISADOS

A partir da leitura do título, resumo e das palavras-chaves de cada estudo, verificou-se qual a abordagem estudada sobre a ADF para observar quais as pesquisas mais realizadas em relação a este resíduo. Por meio desta verificação, elaborou-se a Tabela 7, que apresenta a abordagem dos estudos resultantes da pesquisa, através de classificação própria da autora.

**Tabela 7** – Abordagem da ADF realizada nos estudos resultantes da pesquisa, no período 1987-2016.

| <b>Abordagem da ADF</b>                                 | <b>Estudos produzidos</b> | <b>(%)</b> |
|---------------------------------------------------------|---------------------------|------------|
| Uso como matéria-prima em diferentes fabricações        | 29                        | 70,73      |
| Práticas de regeneração e tratabilidade                 | 6                         | 14,63      |
| Impacto ambiental                                       | 3                         | 7,32       |
| Caracterização do perfil ambiental das fontes geradoras | 2                         | 4,88       |
| Diagnóstico e prognóstico do setor de fundição          | 1                         | 2,44       |
| <b>Total</b>                                            | <b>41</b>                 | <b>100</b> |

Fonte: elaborado pela autora com base na CAPES (2018b).

Desta forma, observando-se esta tabela, é possível constatar que mais de 70% das produções desenvolvidas pesquisaram a ADF como sendo matéria-prima para a fabricação de diferentes produtos. Esses estudos foram realizados nas seguintes IES: Universidade Federal do Paraná, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Universidade de Santa Cruz do Sul, Universidade Federal de Santa Catarina, Universidade do Estado de Santa Catarina, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Universidade Regional de Blumenau, Universidade Federal de Itajubá, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, Universidade Estadual de Campinas, Universidade Presbiteriana Mackenzie, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Instituto Militar de Engenharia e Universidade Federal Fluminense. Assim sendo, é possível perceber o interesse dos acadêmicos em reaproveitar o resíduo da fundição, para que este não seja considerado como rejeito, tendo seu destino final em aterro industrial. Da mesma maneira, essa abordagem (70,73%), também pode ser relacionada com o interesse das indústrias

de fundição em reduzir o custo de descarte desse resíduo, uma vez que a geração do mesmo é significativa na indústria brasileira.

Seguido da abordagem da ADF como matéria-prima, percebe-se que há também o interesse em estudar meios de tratar, reutilizar e regenerar este resíduo. Dos 41 estudos analisados, seis apresentaram esta abordagem (15%), os quais foram desenvolvidos nas seguintes IES: Universidade Estadual de Campinas, Universidade de São Paulo, Universidade Metodista de Piracicaba, Universidade Federal de Santa Catarina e Universidade Federal de Minas Gerais.

Além destes, também foram realizados estudos que pesquisaram os impactos ambientais causados pela ADF (7,32%), os quais foram desenvolvidos nas IES: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Universidade da Região de Joinville e Universidade de São Paulo. As produções sobre caracterização do perfil ambiental de locais com presença da areia de fundição (4,88%) e diagnóstico e prognóstico do setor de fundição (2,44%) foram desenvolvidas nas IES Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Universidade Tecnológica Federal do Paraná e Universidade de São Paulo.

Em relação da abordagem da aplicação da ADF como matéria-prima, diferentes aplicações foram apresentadas no estudo. Desta forma, para melhor verificá-las, elaborou-se a Tabela 8, a qual apresenta a classificação destas aplicações.

**Tabela 8** – Aplicações da ADF como matéria-prima abordadas nos estudos resultantes da pesquisa, no período 1987-2016.

| <b>Usos da ADF como matéria-prima</b>       | <b>Estudos produzidos</b> | <b>(%)</b> |
|---------------------------------------------|---------------------------|------------|
| Cerâmica / Fritas cerâmicas / Vitrocerâmico | 9                         | 31,03      |
| Pavimento / Mistura asfáltica               | 8                         | 27,59      |
| Concreto                                    | 6                         | 20,69      |
| Cimento / Solo-cimento                      | 4                         | 13,79      |
| Argamassa                                   | 1                         | 3,45       |
| Uso na construção civil e na agricultura    | 1                         | 3,45       |
| <b>Total</b>                                | <b>29</b>                 | <b>100</b> |

Fonte: elaborado pela autora com base na CAPES (2018b).

Ao observar a Tabela 8, é possível identificar que, a maioria dos estudos voltados para a pesquisa em utilizar a ADF como matéria-prima, está relacionada a fabricação

de cerâmicas, fritas cerâmicas e vitrocerâmicos, bem como de pavimentação e misturas asfálticas. Ambas as abordagens apresentaram, nove e oito produções, respectivamente, das 29 classificadas como “Uso como matéria-prima em diferentes fabricações” na Tabela 7, representando, portanto, aproximadamente 31% e 28% destes estudos.

Na sequência, também foram identificados estudos relacionados a aplicação da ADF na produção de concreto (20,69%), de cimento e solo-cimento (13,79%), de argamassa (3,45%) e na construção civil e na agricultura em geral (3,45%). Assim, percebe-se que o maior interesse em utilizar a ADF como matéria-prima é voltada para a fabricação de produtos relacionados a área de construção civil. Este dado pode ser relacionado ao uso de areias em geral que são utilizadas na confecção de produtos desta área, uma vez que todos os produtos apresentados na Tabela 8 necessitam de areia para sua produção.

Assim sendo, o uso da ADF como matéria-prima na confecção destes produtos, além de minimizar o transporte deste resíduo para aterros industriais, e reduzir os custos das indústrias de fundição com o descarte do mesmo, também pode auxiliar na área da construção civil. Isto, porque reduz o consumo do recurso natural areia virgem e, conseqüentemente, reduz o custo das empresas da área civil na aquisição da areia.

#### 6.6.1 Uso da ADF como matéria-prima na produção de cerâmicas, fritas cerâmicas e vitrocerâmicos

Dos nove estudos que pesquisaram a aplicação da ADF como matéria-prima na fabricação de materiais cerâmicos, todos foram realizados na região Sul, sendo três em cada estado, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Em todos os estudos, a conclusão foi positiva para o uso da ADF como matéria-prima.

Como comentado por Toledo (2006), o uso deste resíduo como matéria-prima possui aspectos vantajosos, como: a redução do consumo de recursos naturais, redução de custos com a disposição do resíduo em aterros industriais e, conseqüentemente, o auxílio da preservação do meio ambiente. Baseada nestes aspectos, Toledo (2006) analisou seis diferentes composições, aplicando como matéria-prima na fabricação de produtos de cerâmica vermelha. Destas composições,

foram utilizados em diferentes concentrações, a areia descartada de fundição, microesferas de vidro residuais do processo de jateamento e argila natural.

Ao final de seu estudo, Toledo (2006) concluiu que a composição analisada que obteve o melhor resultado foi a que possuía 65% da areia descartada de fundição, 25% de argila natural e 10% de microesferas de vidro, sendo resíduo do processo de jateamento. Desta forma, sendo exposto a temperaturas de 1180°C a 1230°C durante uma hora no forno, na etapa de queima, a autora destaca que obteve-se como resultado boa resistência a flexão, chegando a até 7MPa e baixos valores de absorção de água, tendo valores de porcentagem entre 2,43% e 3,75%. Além disso, a autora também realizou teste de lixiviação e solubilização e obteve resultados dentro dos limites máximos estabelecidos pelas normas ABNT NBR 10.005:2004 e ABNT NBR 10.006/2004, respectivamente. Por fim, com a análise destes resultados, Toledo (2006), concluiu que é possível produzir materiais de cerâmica vermelha (telhas, telhas decorativas, tijolos, lajotas, entre outros) de boa qualidade, utilizando o resíduo areia de fundição e o resíduo microesferas de vidro como parte da composição do produto.

Assim como Toledo (2006), Borgo (2005) também realizou experimentos laboratoriais para avaliar a aplicação de resíduos industriais como matéria-prima na confecção de produtos cerâmicos. Para a fabricação dos corpos de prova, a autora utilizou argila natural e, como resíduos, além da ADF, foram utilizados lodo galvânico e poeira de jateamento. Desta forma, Borgo (2005) realizou ensaios de resistência à flexão, retração linear, absorção de água, lixiviação e solubilização. Analisando os resultados, Borgo (2005), concluiu que o corpo de prova que obteve os melhores resultados, era composto por 20% de areia de fundição, 25% de poeira de jateamento, 25% de lodo galvânico e 30% de argila natural. Este corpo de prova teve como temperatura de queima 1100°C, pelos períodos de duas, quatro e seis horas. Assim, em relação as propriedades mecânicas apresentadas neste corpo de prova foram consideradas boas, sendo viável mecanicamente o uso destes resíduos, incluído a areia descartada de fundição, como matéria-prima na fabricação.

No entanto, ao realizar ensaios de solubilização, Borgo (2005), obteve concentrações de Fenol além do limite máximo estabelecido pela ABNT NBR 10.006/2004, devido a concentração já existente no resíduo areia de fundição utilizada

nos testes, nas quantidades de 20% e 30% deste resíduo. Para tanto, ele recomenda que, areias descartadas de fundição que tenham a concentração de Fenol acima do limite permitido pela norma do teste de solubilização, sejam substituídas por outras que tenham menores concentrações de fenol ou que sejam utilizadas tecnologias de minimização e eliminação do fenol no resíduo anteriormente a etapa de confecção do produto cerâmico.

Outro estudo de 2005, foi realizado por Biolo (2005). Para testar a viabilidade ambiental, bem como das propriedades mecânicas, de utilizar a ADF como matéria-prima na fabricação de produtos cerâmicos, Biolo (2005), desenvolveu diferentes corpos de prova, tendo como concentrações do resíduo 0%, 5%, 10% e 20%, os quais foram analisados por diferentes temperaturas de queima. Com estes corpos de prova, Biolo realizou testes de solubilização, lixiviação, absorção de água, porosidade, retração linear e resistência mecânica. Assim, Biolo (2005) concluiu que o corpo de prova contendo 10% de ADF para os resultados dos testes de lixiviação e solubilização estiveram dentro dos limites permitidos, em que não foram encontradas concentrações de fenol e surfactantes. Também, a autora concluiu que as propriedades mecânicas apresentadas pelos corpos de prova também foram positivas, demonstrando uma qualidade superior a dos blocos produzidos com 0% de ADF. Ainda, Biolo (2005) afirmou que a concentração de poluentes nas emissões atmosféricas não elevou e houve a redução de emissão de monóxido de carbono (CO). Sendo assim, a autora considerou que é viável, fisicamente e ambientalmente, a comercialização de produtos cerâmicos confeccionados com 10% de ADF em sua composição, quando produzido com a metodologia utilizada.

O estudo de Hörlle (2005) analisou a produção de produtos cerâmicos, mais especificamente tijolos e telhas, contendo diferentes concentrações do resíduo areia de fundição em suas composições. Para tanto, Hörlle (2005) desenvolveu corpos de provas com concentrações de 2%, 5% e 10% de ADF em sua composição. Além de estudar diferentes composições do resíduo, a autora também estudou a granulometria do mesmo, analisando primeiramente a aplicação do resíduo em sua granulometria original e, posteriormente, após passa por uma peneira de 180  $\mu\text{m}$ . Desta forma, Hörlle (2005) observou a porosidade, a contração linear e a resistência mecânicas apresentadas nos corpos de prova e concluiu que todas estas propriedades obtiveram resultados positivos, sendo a resistência mecânica superior a apresentada pelo corpo

de prova sem a presença do resíduo areia de fundição. Sendo assim, Hörlle (2005) considerou como viável tecnicamente a aplicação deste resíduo na produção de telhas e tijolos, tendo, segundo a autora, um grande potencial como forma de reciclagem.

Aplicação também estudada por Tallini (2009) mostrou-se tecnicamente viável, através das conclusões obtidas pelo autor. Tallini (2009) desenvolveu corpos de prova contendo 5%, 10% e 15% de areia descartada de fundição em suas composições e avaliou propriedades como: retração linear, resistência mecânica à flexão, porosidade, lixiviação e solubilização. Assim, para os testes de lixiviação e solubilização, Tallini encontrou resultados satisfatórios, sendo que todos os metais analisados por ele estiveram dentro dos limites estabelecidos pelas normas. Em relação as propriedades mecânicas, o autor também concluiu que os resultados foram satisfatórios, em todos as concentrações analisadas para temperaturas de queima a partir de 1050°C, sendo que as propriedades observadas, segundo o autor, obtiveram melhor qualidade em relação aos produtos cerâmicos convencionais, principalmente ao comparar a resistência mecânica à flexão.

Em relação a aplicação do resíduo areia de fundição como matéria-prima para produtos cerâmicos, também foi encontrado o estudo de Chegatti (2004). Chegatti analisou a aplicação deste resíduo na produção de cerâmica vermelha, bem como na de fritas cerâmicas. Para a análise da cerâmica produzida, o autor realizou ensaios de massa bruta, fluorescência de raio X (FRX), análise térmica diferencial (ATD), análise termogravimétrica, distribuição granulométrica e lixiviação, sendo realizado corpos de prova com concentrações de 5%, 10% e 20% de ADF. Já para a análise das fritas cerâmicas, Chegatti desenvolveu corpos de prova com concentrações de 30%, 60% e 100% de ADF, em que foram realizados ensaios de análise térmica simultânea, análise dilatométrica, fluorescência de raio X (FRX), análise visual e lixiviação.

Deste modo, observando os resultados encontrados, Chegatti (2004) concluiu que, para as cerâmicas, os corpos de prova com concentrações de 5% e 10% de ADF apresentaram as propriedades avaliadas superiores as características do produto convencional, enquanto que o corpo de prova com 20% de ADF teve sua resistência mecânica reduzida, mas ainda admissível. Da mesma forma, para as fritas cerâmicas desenvolvidas, as propriedades mecânicas resultantes foram satisfatórias, apenas o

aspecto visual não foi o esperado, sendo recomendado pelo autor, que este resíduo seja aplicado para a confecção de fritas cerâmicas com aspecto opaco. Por fim, em ambos os produtos testados, Chegatti (2004), obteve resultados dentro dos limites estabelecidos para o teste de lixiviação.

Polli (2014) avaliou a viabilidade técnica da aplicação da ADF como matéria-prima na produção de vitrocerâmicos pertencentes ao sistema quaternário  $\text{SiO}_2\text{-CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3$ . Para realizar esta análise, Polli (2014) desenvolveu corpos de prova com concentrações de 25%, 50%, 75% e 100% do resíduo areia de fundição e realizou ensaios de espectroscopia de ultravioleta visível, tratamentos térmicos a temperaturas de 900°C, 950°C e 1000°C, pelo período de 90 minutos, difração de raio X, microscopia óptica e para as amostras com 50% e 100% de ADF, além destes ensaios, também foi realizado de microscopia eletrônica de varredura para a verificação de recristalização. Assim, Polli (2014) concluiu que a amostra com 100% de ADF apresentou recristalização em todos os tratamentos térmicos e as demais demonstraram estrutura dendrítica, sendo estes resultados positivos para a formação de vitrocerâmicos contendo em sua composição o resíduo areia de fundição.

Portanto, em geral, todos os nove estudos, que abordaram o uso do resíduo areia de fundição na fabricação de produtos cerâmicos, consideraram este como viável em relação as propriedades mecânicas e, em geral, as características ambientais, nas condições analisadas pelos autores. Em relação as Instituições de Ensino Superior (IES), três desses estudos foram desenvolvidos na Universidade Federal do Paraná, dois na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, um na Universidade Federal de Santa Catarina e um na Universidade do Estado de Santa Catarina.

#### 6.6.2 Uso da ADF como matéria-prima na produção de pavimento e misturas asfálticas

Outra abordagem de estudo também muito encontrada foi sobre a aplicação do resíduo areia de fundição como matéria-prima na fabricação de misturas asfálticas e pavimentos, sendo nove estudos ao total. Deste total de estudos, dois foram produzidos na região Sul, sendo ambos em Santa Catarina, enquanto seis foram na região Sudeste, sendo cinco no estado de São Paulo e um no estado do Rio de Janeiro.

Dos estudos realizados em Santa Catarina, ambos foram produzidos em 2004, sendo um por Pereira e outro por Watanabe. Pereira (2004) analisou a incorporação da ADF na confecção de matriz asfáltica, desenvolvendo diferentes corpos de prova, sendo o primeiro fabricado com o resíduo areia de fundição, o segundo e o terceiro com areia de rio e brita contendo a ADF, o quarto contendo concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) com o resíduo areia de fundição e o quinto com CBUQ sem o resíduo. Pereira (2004) avaliou tanto as propriedades mecânicas de interesse para verificar a qualidade das amostras, bem como realizou testes de lixiviação, solubilização e massa bruta. Assim, sob o ponto de vista das propriedades mecânicas, massa bruta e lixiviação, os resultados obtidos pelo autor foram satisfatórios. No entanto, como resultado do teste de solubilização foram encontrados parâmetros de fenol e alumínio acima dos limites máximos estabelecidos pela norma, podendo apenas ser utilizada a mistura contendo 15% de ADF e 85% de areia de rio. Deste modo, para que seja possível a produção de matriz asfáltica com maiores concentrações do resíduo areia de fundição, Pereira (2004) recomenda que, para a utilização do mesmo, devem ser realizadas avaliações laboratoriais mais adequadas, por um rigoroso acompanhamento experimental, em que haja a construção de um pavimento a partir desta matriz, sob condições controladas, para que seja possível analisar os impactos ambientais.

Também na proposta de avaliar pavimento produzido com ADF, Watanabe (2004) elaborou corpos de prova para pavimentos de concreto, com a incorporação deste resíduo. Desta forma, o autor observou as propriedades mecânicas, as características microestruturais, através de processo de vibração e de vibro-compressão, e as características ambientais, através de ensaios de lixiviação, solubilização e análise de massa. Ao observar seus corpos de prova, Watanabe (2004) percebeu que, dos pavimentos fabricados com vibração, o aumento na concentração de ADF tende a reduzir a resistência mecânica do produto, enquanto que os produzidos por vibro-compressão, o aumento da incorporação deste resíduo tende a aumentar a resistência mecânica.

Em relação as análises microestruturais, Watanabe (2004) constatou que, dos pavimentos produzidos apenas com vibração, o resíduo areia de fundição tende a aumentar a área de vazios e de cristais de  $\text{Ca(OH)}_2$ , enquanto para os produzidos através da vibro-compressão, não há a formação de áreas de vazios (exceto a questão

de porosidade) e de precipitados de cristais  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Sendo assim, Watanabe (2004) destaca que a resistência mecânica possui melhor qualidade para pavimentos, produzidos com a ADF, por meio de vibro-compressão. Por fim, avaliando também os resultados de lixiviação, solubilização e da análise de massa, os quais estiveram dentro dos limites estabelecidos pelas normas, a incorporação do resíduo na fabricação deste produto é ambientalmente e tecnicamente viável, uma vez que as propriedades mecânicas e as características microestruturais, bem como as ambientais, obtiveram resultados positivos.

Já em relação aos cinco estudos realizados no estado de São Paulo, todos foram produzidos em diferentes anos. Klinsky (2008) e Klinsky (2013), por exemplo, desenvolveu sua dissertação em 2008 e sua tese em 2013, em que ambas tiveram como abordagem a incorporação do resíduo areia de fundição na fabricação de sub-bases, bases e camadas de pavimentos. Em ambos estudos (Klinsky 2008; Klinsky 2013), concluiu-se que é ambientalmente e tecnicamente viável o uso de ADF na confecção de camadas de pavimentos, mas o mesmo recomenda que, para obter resultados mais seguros, haja a construção de trechos experimentais, para monitorar as propriedades mecânicas do produto bem como os impactos ambientais que o mesmo pode ocasionar, como descrito na seção 4.5 deste trabalho: Opções de uso da areia descartada de fundição.

Ainda sobre as produções desenvolvidas no estado de São Paulo, Bittencourt (2012) estudou a resistência à compressão de *pavers* confeccionados com ADF e agregados de resíduos de construção e demolição. Para tanto, na forma de blocos, o autor desenvolveu os *pavers* para seu estudo, e analisou as propriedades mecânicas após 28 dias da produção dos mesmos. Para comparação, Bittencourt (2012) avaliou *pavers* com diferentes concentrações dos resíduos em suas composições e, por fim, concluiu que as melhores propriedades mecânicas foram apresentadas no *paver* constituinte de 40% de ADF, 40% de areia reciclada e 20% de brita reciclada, sendo os dois últimos provenientes de atividades de construção e demolição. Bittencourt (2012), considerou fisicamente viável o uso destes resíduos, nestas concentrações, para a fabricação de *pavers*, quanto à resistência à compressão.

Também no estado de São Paulo, em 2004, Coutinho (2004) avaliou a incorporação do resíduo areia de fundição na produção de misturas asfálticas densas.

Desta forma, Coutinho (2004), desenvolveu amostras de misturas asfálticas densas contendo 5%, 10% e 15% de ADF e realizou ensaios de dano por umidade induzida, cântabro, dosagem Marshall, resistência a tração, módulo de resiliência, fluência estática, lixiviação e solubilização. Sendo assim, ao fim de seu estudo, Coutinho (2004) verificou que, para todas as concentrações dos resíduos, as propriedades mecânicas analisadas apresentaram resultados satisfatórios, sendo que a mistura contendo 10% de ADF apresentou-se menos susceptível a envelhecimento, em relação ao módulo de resiliência, quando comparada com a amostra contendo 10% de areia virgem. Além disso, nos ensaios de lixiviação e solubilização, realizados na mistura com 15% do resíduo, Coutinho (2004) também obteve resultados positivos, tendo todos os componentes químicos analisados dentro dos limites exigidos pelas normas, concluindo, portanto, que o uso deste resíduo na produção de misturas asfálticas densas, produzidas nas condições analisadas, é viável tecnicamente e ambientalmente.

Com uma proposta um pouco diferente, Bina (2002) realizou seu estudo também no estado de São Paulo. Bina não desenvolveu amostras em escala laboratorial, mas realizou um teste de campo em um recapeamento urbano, utilizando, em seu teste, o resíduo areia de fundição abaixo da capa asfáltica (camada superior de desgaste). Para tanto, Bina (2002) desenvolveu a composição de 65% de ADF para a lama asfáltica, 12% de emulsão asfáltica RL (baixa relaxação), 22% de água e 1% de cimento Portland comum, sendo que a ADF substituiu 100% do uso de areia convencional.

Deste modo, Bina (2002) realizou análises químicas de águas de poços coletores, posicionados em locais de acúmulo de água no trecho do teste de pavimentação, a partir de 30, 60 e 90 dias após o recapeamento, sendo os resultados destas amostras dentro dos limites estabelecidos em norma. Também foram realizados teste de lixiviação e solubilização pelo autor e, segundo Bina (2002), apesar dos resultados do teste de solubilização apenas da ADF serem superiores aos limites permitidos para Manganês (Mn), Ferro (Fe), Alumínio (Al) e Cromo (Cr), os mesmos apresentaram limites inferiores quando realizado o teste de solubilização com amostras da lama asfáltica contendo o resíduo areia de fundição. Assim o autor comenta que, possivelmente, a mistura da emulsão asfáltica, do cimento e da água, juntamente com a ADF, auxiliou para a redução da concentração destes elementos

químicos. Por fim, ao término de seu estudo, Bina (2002) concluiu que a incorporação deste resíduo para preencher o espaço abaixo da capa asfáltica é ambientalmente viável.

O estudo realizado no estado do Rio de Janeiro, foi produzido em 2008, por Costa (2008), onde desenvolveu para seu estudo uma mistura asfáltica, do tipo concreto asfáltico, com a incorporação do resíduo areia de fundição de ferro, em concentrações de 8% e 10%. Desta forma, o autor realizou ensaios como dosagem Marshall, módulo de resiliência, vida de fadiga, resistência à tração por compressão, lixiviação e solubilização.

Apesar, como comentado no estudo de Costa (2008), da Prefeitura Municipal de Extrema (local onde o estudo foi realizado) não recomendar o uso da ADF em pavimentos, devido a ausência de controle tecnológico, Costa (2008) verificou em suas análises que os resultados obtidos por ele apresentaram comportamentos mecânicos similares as misturas de concreto asfáltico convencionais, além de evidenciar que, os testes de solubilização e lixiviação, as misturas contendo 8% e 10% do resíduo areia de fundição de ferro caracterizaram o mesmo como resíduo Classe II-B (não perigoso e inerte). Além deste teste, Costa (2008) também realizou ensaios instituídos no Procedimento de Gerenciamento de Areia de Fundição da CETESB N° 152/2007, em que observou que todos os requisitos foram atendidos, sendo ambientalmente viável o uso deste resíduo na fabricação de misturas asfálticas do tipo concreto asfáltico.

De todas produções desse subcapítulo, cinco estudos foram desenvolvidos em São Paulo, sendo três realizados na Universidade de São Paulo (na unidade de São Carlos), um na Universidade Estadual de Campinas (na unidade de Limeira), um no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Dos outros estudos, dois foram realizados em Santa Catarina, sendo um na Universidade do Estado de Santa Catarina e outro na Universidade Regional de Blumenau e o outro estudo, foi desenvolvido no Rio de Janeiro, no Instituto Militar de Engenharia. Ainda, percebe-se que, dos nove estudos encontrados no Catálogo da CAPES durante esta pesquisa, os quais avaliaram o uso do resíduo areia de fundição na fabricação de produtos asfálticos, concluíram ser viável, ambientalmente e tecnicamente, este uso, desde que produzido nas condições analisadas pelos autores.

### 6.6.3 Uso da ADF como matéria-prima na produção de demais produtos

Como visto anteriormente, durante a pesquisa realizada no Catálogo da CAPES, também foram encontrados outros estudos que abordaram o uso do resíduo areia de fundição como matéria-prima na confecção de outros produtos muito utilizados na área da construção civil. Em relação aos que abordaram a incorporação deste resíduo na fabricação de concreto, estes foram realizados nas regiões Sul e Sudeste, mais especificamente nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais para a região Sudeste e, Rio Grande do Sul e Santa Catarina para a região Sul.

Veccio (2011), por exemplo, realizou seu estudo no estado do Rio de Janeiro, verificando a influência da taxa de carregamento nas propriedades mecânicas de concreto polimérico produzido com o resíduo areia de fundição de quartzo, uma vez que este resíduo é característico de alta resistência à compressão, à temperatura e a substâncias químicas, segundo o próprio autor do estudo. Segundo Veccio (2011), a escolha por analisar concreto polimérico constituído de ADF de quartzo, é devido a capacidade deste resíduo em minimizar o impacto negativo nas propriedades mecânicas, como a resistência à compressão, no momento em que é aumentada a compactação do material.

Desta forma, para a confecção do concreto polimérico, Veccio (2011) levou o resíduo para a etapa de secagem em um forno com temperatura de 100°C, pelo período de uma hora. Na sequência, o autor também adicionou catalizador MEK-P ao resíduo já seco, para mistura em bate-deira, pelo período de dois minutos para, posteriormente, moldar a mistura. Ao fim de seu estudo, Veccio (2011) obteve resultados satisfatórios em relação as propriedades observadas e comentou que o uso de resíduos na fabricação deste produto é benéfico, uma vez que proporciona a melhora destas propriedades, além de transferir o destino final deste resíduo industrial, de forma a eliminar os impactos ambientais causados por ele. Ainda, Veccio (2011) recomenda que mais estudos sejam realizados nesta área, com fins de minimizar impactos ambientais e reduzir custos, para que haja uma melhor compreensão quanto ao comportamento deste produto, uma vez que este é pouco utilizado no Brasil ao comparar com outros países.

Além de Veccio (2011), Pinto (2013) e Martins (2016) também realizaram seus estudos abordando a aplicação do resíduo areia de fundição como matéria-prima na

fabricação de concreto. Como descrito no subcapítulo “4.5 Opções de uso da areia descartada de fundição” do referencial teórico apresentado neste trabalho, ambos os autores analisaram resultados referentes a resistência à compressão, bem como a lixiviação e a solubilização de corpos de prova de concretos, desenvolvidos por cada autor, contendo diferentes concentrações de ADF incorporadas em cada composição.

Por meio destes estudos, Pinto (2013) concluiu que tanto os corpos de prova com 10% e 20% do resíduo areia de fundição apresentaram um aumento na resistência à compressão, sendo ambientalmente e fisicamente viável esta aplicação. Martins (2016) também pode concluir, o aumento desta propriedade mecânica com o uso deste resíduo, atingindo o seu objetivo de obter uma resistência à compressão superior a 25 MPa, com a amostra que possuía 40% de ADF em sua composição e, consequentemente, confirmando a viabilidade desta aplicação.

Ainda na área de estudo sobre a produção de concreto com a incorporação do resíduo areia de fundição, também foram resultantes da pesquisa no Catálogo da CAPES os estudos de Mastella (2013) e de Wesseling (2005). O estudo de Mastella (2013) teve como objetivo avaliar o uso deste resíduo como matéria-prima para a fabricação de diversos artefatos cimentícios, bem como blocos de alvenaria estrutural, de alvenaria para paredes e de pavimentação. Desta forma, em sua análise, Mastella (2013), assim como os autores comentados anteriormente, também obteve resultados de qualidade satisfatória, quanto a resistência a compressão, demonstrando ser viável mecanicamente a aplicação deste resíduo na produção de concretos, uma vez que o autor verificou uma resistência à compressão superior a 35 MPa, após 56 dias de teste, em amostra com 25% de ADF incorporada em sua composição e os testes de lixiviação e solubilização também obtiveram resultados dentro dos limites estipulados pelas normas.

Já Wesseling (2005), utilizando a metodologia Marshall, avaliou a incorporação de ADF e de escória de aciaria em diferentes concentrações na produção de concreto, sendo a primeira 70% da escória, 0% de ADF, 0% de brita e 30% de pó-de-pedra, a segunda 5% da escória, 25% de ADF, 15% de brita com granulometria 3/4 e 43 com granulometria 3/8 e 12% de pó-de-pedra, e a terceira 85% da escória, 15% de ADF, 0% de brita e 0% de pó-de-pedra. No entanto, diferentemente dos autores dos outros estudos, Wesseling (2005) não observou vantagens no uso do resíduo areia de

fundição em sua pesquisa, uma vez que as propriedades mecânicas observadas por ele obtiveram desempenho inferior ao comparar com as amostras em que este resíduo não fazia parte da composição e o mesmo necessitou de elevado consumo de produto químico ligante. Possivelmente, esse alto consumo de produto, possa estar relacionado a alta concentração de escória utilizada, a qual foi a maior concentração das matérias-primas empregadas.

Como pode ser observado nos resultados dos outros estudos encontrados no Catálogo da CAPES, durante esta pesquisa, a alteração das concentrações do resíduo pode impactar significativamente os resultados, tanto em relação as propriedades mecânicas, bem como ambientais. No entanto, no estudo de Wesseling (2005), em relação a concentração de ADF, apenas duas são analisadas, sendo elas 0% e 25%. Desta forma, acredita-se que por isso Wesseling (2005) sugeriu para que, em trabalhos futuros ao realizado por ele, fossem analisadas diferentes concentrações do resíduo industrial para incorporação ao produto.

Outro produto analisado que também teve o resíduo areia de fundição incorporado na sua fabricação e foi encontrado nos estudos resultantes da pesquisa realizada no Catálogo da CAPES foi o cimento, sendo três desenvolvidos em Santa Catarina e um no estado de São Paulo. Pablos (2008), por exemplo, realizou seu estudo no estado de São Paulo e analisou a viabilidade técnica da incorporação de ADF aglomerada com argila em matrizes de cimento Portland.

Para tanto, o autor realizou corpos de prova com três diferentes composições, além da convencional de referência, sendo a primeira 44,2% de cimento, 44,2% de ADF e 11,6% de água; a segunda 22,1% de cimento, 66,3% de ADF e 11,6% de água; a terceira 14,7% de cimento, 73,5% de ADF e 11,8% de água. Pablos (2008), também confeccionou tijolos maciços de solo-cimento, a partir da adição de sílica ativa na primeira e na terceira composições citadas, uma vez que foram as que obtiveram o melhor desempenho em relação a propriedades mecânicas, físicas e químicas, segundo o próprio autor. Desta forma, Pablos (2008) pode avaliar a qualidade do cimento Portland e dos tijolos de solo-cimento produzidos por ele, através de testes de solubilização, resistência à compressão, absorção de água e permeabilidade do ar. Ao final de seu estudo, Pablos (2008) observou que houve o aumento da fixação dos metais Alumínio (Al), Ferro (Fe) e Cromo (Cr) por parte das matriz de cimento

Portland e, ambos os produtos gerados por ele, apresentaram resultados positivos, em que o autor pode evidenciar a viabilidade técnica para a aplicação de ADF na fabricação destes produtos.

Já Nascimento (2006), desenvolveu seu estudo em Santa Catarina, tendo como objetivo verificar o uso da bentonita e do pó de carvão presentes no resíduo areia de fundição para auxiliar na hidratação do cimento Portland. Sendo assim, Nascimento (2006), criou corpos de prova contendo bentonita nas concentrações de 1%, 7,5%, 15% e 30% e contendo pó de carvão nas concentrações de 0,2%, 7,5%, 15% e 30%. Para analisar as propriedades físicas, térmicas e microestruturais, Nascimento (2006) realizou análise térmica diferencial (ATD), termogravimétrica (TG), difratometria de raio X e microscopia eletrônica de varredura (MEV) após 1, 3, 7, 14 e 28 dias de hidratação em água alcalina dos corpos de prova. Por fim, Nascimento (2006), observou que a bentonita da ADF influenciou na estequiometria dos silicatos hidratados e, assim como o pó de carvão do resíduo, favorece a formação de cristais de etringita, concluindo que é tecnicamente viável o uso do resíduo nesta aplicação, se utilizado em baixas concentrações e produzido com a mesma metodologia utilizada pelo autor.

Folmann (2012) também pode atestar a viabilidade técnica e ambiental da incorporação do resíduo areia de fundição na fabricação de tijolos de solo-cimento para alvenaria de vedação, através da realização de seu estudo, também desenvolvido em Santa Catarina, em que substituiu, parcialmente, o solo pela ADF e pó de brita em diferentes percentuais na composição dos tijolos. Para a análise, Folmann (2012) realizou testes de lixiviação, solubilização, granulometria, difração de raio X, análise térmica, calorimetria de condução isotérmica, compactação, resistência à compressão, durabilidade, absorção de água e microscopia eletrônica de varredura nas amostras produzidas. Com seu estudo, Folmann (2012) constatou que os resultados para os testes de lixiviação e solubilização apresentaram-se dentro dos limites estabelecidos pelas normas e, os resultados dos demais testes realizados também foram positivos e satisfatórios, em que a incorporação do resíduo areia de fundição, reduziu a absorção de água na mistura, elevou a resistência mecânica para níveis aceitos pelas normas técnicas referentes a tijolos de solo-cimento e aumentou a densidade máxima das amostras.

Finalizando os estudos encontrados durante a pesquisa no Catálogo da CAPES que abordaram o uso da ADF como matéria-prima na fabricação de produtos cimentícios, há o estudo realizado por Schmitz (2014), também desenvolvido em Santa Catarina. Schmitz (2014) desenvolveu quatro misturas para a fabricação de tijolos de solo-cimento, em que incorporou diferentes concentrações do resíduo areia de fundição, sendo elas 25%, 50%, 75% e 100%. Desta forma, Schmitz (2014) realizou análises de lixiviação e solubilização para a ADF e de porosidade, durabilidade, absorção de água, resistência à compressão, módulo de elasticidade, variação do volume e perda de massa e microscopia eletrônica de varredura. Com os resultados obtidos, Schmitz (2014) também pode concluir que é viável, ambientalmente e fisicamente, o uso deste resíduo na fabricação de tijolos de solo-cimento, uma vez que os resultados para os testes de lixiviação e solubilização estiveram dentro dos limites exigidos pelas normas e os resultados quanto as propriedades mecânicas também foram satisfatórios, em que pode ser observado melhorias quando comparadas essas propriedades com apresentadas por tijolos de solo-cimento convencionais.

Outro produto semelhante ao cimento é a argamassa, a qual foi escolhida por Armange (2005) para analisar a incorporação do resíduo areia de fundição como matéria-prima em sua fabricação. O estudo de Armange (2005) também foi realizado em Santa Catarina e, para a sua análise, a autora desenvolveu corpos de prova onde incorporou a ADF em concentrações de 0% a 100% da massa e após, os mesmos foram imersos em água alcalina, pelo período de 28 dias, para o processo de cura. Para observar os resultados, Armange (2005) realizou ensaios de lixiviação, análise de massa e solubilização, para características ambientais e, por microscopia eletrônica de varredura para propriedades mecânicas. Desta forma, Armange (2005) verificou que a incorporação do resíduo, na metodologia realizada, não influenciou positivamente ou negativamente na resistência mecânica da argamassa. No entanto, a autora também verificou que a bentonita e o pó de carvão presentes no resíduo favoreceram a germinação e o crescimento de cristais de etringita ao comparar os corpos de prova contendo o resíduo com a argamassa convencional.

Já em relação a análise dos resultados de testes ambientais, nos ensaios de solubilização, Armange (2005) os corpos de prova com 0% e 30% de resíduo apresentaram um pequeno excesso de Alumínio (Al), percebendo-se que este

excesso não é apenas proveniente da incorporação de ADF ao produto. Nos ensaios de lixiviação e análise de massa, todos os elementos químicos apresentaram-se em concentrações permitidas pelas normas. Deste modo, Armange (2005) conclui que a aplicação do resíduo areia de fundição como matéria-prima para a produção de argamassa é ambientalmente viável, desde que utilizada com a metodologia estudada e em concentrações limitadas, para que sejam evitados possíveis impactos ambientais.

Com uma proposta um pouco diferente dos outros estudos encontrados, Queiroz (2012) avaliou a possibilidade do uso da ADF na área da construção civil bem como na agricultura, através da realização de ensaios de granulometria e quantidade de finos para propriedades mecânicas e diversos ensaios para observar as características ambientais. Para tanto, Queiroz (2012) utilizou três diferentes amostras de ADF, de areias verdes e de areias de machos, para os ensaios, sendo duas provenientes de empresas de fundição da Província do Quebec, no Canadá, e a outra de empresa de fundição do estado de Santa Catarina, no Brasil.

Deste modo, Queiroz (2012) realizou, além dos testes de granulometria e quantidades de finos das amostras de ADF, ensaios de lixiviação, análise de orgânicos (HPA, HCP e Compostos Fenólicos), análise de dioxinas, furanos e bifenilas policloradas, análise de metais totais, análise de metais no lixiviado, bioensaio de toxicidade aguda – *Daphnia magna* e bioensaio de toxicidade aguda – *Vibrio fischeri*. Observando os resultados destes ensaios, Queiroz (2012) verificou que tanto a granulometria das amostras, bem como o teor de finos de cada amostra foram semelhantes e, em relação aos resultados dos testes para caracterização ambiental, em geral, todos foram satisfatórios. Portanto, Queiroz (2012) pode concluir que as amostras do resíduo areia de fundição demonstraram ter viabilidade ambiental para serem aplicadas tanto na área da construção civil como na agricultura, mas demonstrou ser importante que mais estudos sejam realizados nesta área, como o caso de bioensaios de toxicidade crônica.

Em seu estudo, Queiroz (2012) também comparou a reutilização de ADF no Brasil com a sua reutilização em outros países e chegou a conclusão de que

o baixo valor unitário da areia virgem; a falta de acesso às informações por parte da opinião pública; a falta de mercado organizado que conecte as fontes produtoras aos usuários e de políticas públicas eficazes foram diagnosticadas

como as principais causas do baixo percentual de areias reutilizadas e não por questões de viabilidade técnica ou ambiental. (QUEIROZ, 2012, p. VII)

E, em relação à legislação brasileira, Queiroz (2012) comenta que a possibilidade de reutilização deste resíduo seria facilitada caso as legislações do Brasil delineassem melhor a definição e a classificação de riscos ambientais e para a saúde humana que o resíduo pode ocasionar.

Por meio dos estudos analisados neste subcapítulo, é possível verificar que apenas Wesseling (2005) não verificou em seu estudo vantagens para a aplicação do resíduo areia de fundição na área da construção civil, neste caso na produção de concreto. As demais consideraram a aplicabilidade do mesmo como viável tecnicamente e, a maioria, ambientalmente.

Das IES, dos estudos realizados em Santa Catarina, quatro foram desenvolvidos na Universidade do Estado de Santa Catarina e um na Universidade do Extremo Sul Catarinense. Já daqueles desenvolvidos no Rio Grande do Sul, um foi realizado na Universidade de Santa Cruz do Sul e um na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Em São Paulo, um estudo foi realizado na Universidade Presbiteriana Mackenzie e um na Universidade de São Paulo (unidade de São Carlos). Em Minas Gerais um estudo foi realizado na Universidade Federal de Itajubá e no Rio de Janeiro um foi desenvolvido na Universidade Federal Fluminense.

#### 6.6.4 Estudos que abordaram práticas de regeneração e tratabilidade da ADF

Dos estudos encontrados durante a pesquisa no Catálogo da CAPES que abordaram a tratabilidade e a regeneração do resíduo areia de fundição, cinco foram realizados na região Sudeste, sendo quatro no estado de São Paulo e um em Minas Gerais e, apenas um foi desenvolvido na região Sul, este no estado de Santa Catarina. O estudo mais antigo encontrado nesta pesquisa, desenvolvido no estado de São Paulo, em 1993, por Teixeira, teve como abordagem a tratabilidade do descarte do resíduo areia de fundição.

Teixeira (1993) avaliou esta tratabilidade por meio do isolamento de fungos, verificando se estes apresentariam crescimento em meio ao resíduo. Ao resíduo, foram realizados ensaios de teor de sólidos voláteis, teor de umidade, pH, determinação de fenol e metais, coloração e aspecto e granulometria. Para seu estudo

Teixeira (1993) selecionou 22 cepas de fungos filamentosos, dos quais oito cepas obtiveram resultados interessantes.

Desta forma, a autora concluiu que a metodologia utilizada foi promissora e que há a possibilidade de realizar a biodegradação do resíduo areia de fundição por meio do isolamento de fungos, no entanto, ela indica que, para isso, há a necessidade de serem realizados mais testes referentes ao assunto que possam caracterizar o resíduo pelos seus aspectos microbiológicos, além dos físicos e químicos, para que seja possível definir o melhor método de tratamento para as ADF. Para ampliar ainda mais o conhecimento nesta área, Teixeira (1993) também recomenda a realização de estudos referentes a nutrição e fisiologia dos microrganismos capazes de degradar este resíduo, bem como a cinética de crescimento e biodegradação, a produção de inóculo e a competição entre populações dos mesmos.

Com ênfase diferente de Teixeira (1993), Matos (1997) comenta sobre a regeneração do resíduo areia de fundição. Assim, Matos (1997) interpreta que existe a possibilidade das indústrias de fundição em regenerar a ADF para que ela possa retorne como matéria-prima ao processo de fundição, por meios de técnicas muito utilizadas, em 1997, em países dos Estados Unidos e da Europa. No entanto, Matos (1997) reforça que, para a aplicação da regeneração, há a necessidade de avaliar os possíveis resíduos, que esse processo pode gerar, bem como o custo para a operação do mesmo, pois dependendo destes dois fatores, a regeneração da ADF pode não ser viável ambientalmente e economicamente.

Ainda, Matos (1997) também comenta que, além da regeneração, existem diversas alternativas para a incorporação do resíduo areia de fundição como matéria-prima na fabricação de outros produtos, como os comentados anteriormente neste capítulo do trabalho, sendo eles agregados de construção, como concreto, cimento, asfalto, entre outros, devendo haver avaliação ambiental, antes de realizar tal aplicação.

A prática de regeneração do resíduo areia de fundição contaminado também foi tema do estudo de Scheunemann, desenvolvido em 2005. Scheunemann (2005) avaliou a viabilidade da regeneração deste resíduo por meio do processo Fenton, ou seja, um processo de oxidação avançada. Em seu estudo, Scheunemann (2005)

demonstrou ser ambientalmente viável a realização deste processo para permitir que ADF com resina fenólica voltem ao processo de fundição como matéria-prima.

Para isto, o autor informa que deve ser seguida a metodologia utilizada, através da realização de um processo fenólico alcalino catalisado com éster e gaseificado com dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Scheunemann (2005) informou que para ADF com concentração de Ferro (Fe) equivalente a 500 mg/L, a melhor regeneração apresentada foi através do processo Fenton em que utilizou-se a temperatura de 40°C, pelo período de 30 minutos de reação. Este resultado foi garantido por ele, através da análise em microscopia eletrônica de varredura. Ainda Scheunemann (2005) realizou ensaios de difratometria de raio X, perda ao fogo, análise térmica diferencial e termogravimétrica e pode considerar o uso do resíduo areia de fundição regenerado como viável tecnicamente, além de ambientalmente, uma vez que os resultados destes ensaios foram satisfatórios e os apresentados quanto a resistência à tração foi superior ao exigido pelo setor produtivo, sendo o exigido 50 e 70 N/cm<sup>2</sup> e os atingidos pelo resíduo regenerado 69 e 89 N/cm<sup>2</sup>, respectivamente.

Como forma de regeneração do resíduo areia de fundição, Oliveira (2009) também estudou o processo Fenton, bem com o processo de redução do Cromo VI (Cr VI) e a recuperação da argila bentonita a partir da ADF em forma de lama. Tanto para o processo Fenton, como para a redução de Cr (VI), Oliveira (2009) utilizou apenas a fração magnética da ADF analisada, sendo esta fração separada pelo uso de um ímã. Desta forma, na realização da regeneração por meio da redução do Cr (VI), Oliveira (2009) conseguiu reduzir, em suas amostras analisadas, 60% e 100% do teor inicial de Cr (VI) contido no resíduo em Cr (VIII) e na realização do processo Fenton, Oliveira (2009) obteve como resultado a mineralização da matéria orgânica, presente no corante utilizado nesta prática, em aproximadamente 70%. Assim, por meio deste estudo, Oliveira (2009) concluiu que é viável, ambientalmente, a regeneração deste resíduo através dos processos analisados e destacou e o mesmo, regenerado, possui alto potencial para ser aplicado na composição de barreiras permeáveis reativas.

Em relação ao processo de separação da argila bentonita da ADF em forma de lama, também estudado por Oliveira (2009), a autora realizou, primeiramente, o processo de secagem da lama de areia na estufa, pelo período de 24 horas, à 100°C e, posteriormente, macerou o resíduo através do uso de gral e pistilo. Ao fim de seu

estudo, Oliveira (2009) concluiu que este processo é ambientalmente viável para a recuperação de argila bentonita presente no resíduo areia de fundição, podendo ser utilizado como matéria-prima em outros processos. Neste estudo, Oliveira (2009) obteve como resultado, através da metodologia utilizada, a recuperação de 40 mg de argila para cada uma grama de lama de ADF.

Outro processo de regeneração do resíduo areia de fundição foi abordado no estudo de Oliveira (2007), através do uso de um incinerador de leito fluidizado. Em seu estudo, Oliveira (2007) comparou propriedades da areia regenerada com as de areia nova (ainda não utilizada no processo de fundição), como o teor de finos, módulo de finura, resistência à tração, granulometria, diâmetro médio, pH, esfericidade e perda ao fogo, além de avaliar as emissões de monóxido de carbono e de hidrocarbonetos totais.

A partir dos resultados destas análises, Oliveira (2007) concluiu que o uso do incinerador de leito fluidizado, com a metodologia estudada, possui viabilidade técnica e ambiental, permitindo a utilização da ADF regenerada como matéria-prima no processo de fundição. Oliveira (2007) observou que esta técnica, apesar de não apresentar resultados significativos quanto a redução de emissões atmosféricas de monóxido de carbono e de hidrocarbonetos totais, foi capaz de eliminar a camada de resina existente no resíduo, não modificou significativamente o diâmetro médio dos grãos de areia, proporcionou o aumento do teor de finos e da esfericidade da areia, demonstrou resistência à tração superior a apresentada pela areia nova, bem como obteve resultados similares para módulo de finura, granulometria, pH e perda ao fogo ao comparar com estes parâmetros resultantes da areia nova.

Outro estudo também relacionado a esta área, encontrado durante a pesquisa no Catálogo da CAPES, foi o desenvolvido por D'Elboux (2000). D'Elboux apresentou diversas técnicas que podem ser utilizadas para propiciar a minimização da geração do resíduo areia de fundição, como o aumento na eficiência de sistemas de recuperação das ADF, a importância de lavadores de gases, dos machos/moldes eficientes, o uso racional da quantidade de areia por molde, bem como a redução da espessura dos machos através do uso de artifícios de alívios internos e o uso de tamanhos corretos de caixas de moldagem.

Em seu estudo, D'Elboux (2000) comentou que estas práticas permitem a redução de custos em relação a produção, bem como a otimização dos processos, além da minimização de riscos ambientais e dos custos com controles ambientais o que, conseqüentemente, gera vantagem competitiva e uma melhora na imagem pública das empresas, ao realizarem estas práticas. Além destes benefícios, D'Elboux (2000) demonstrou ser economicamente viável a implementação dessas práticas, apresentando a economia gerada com a aplicação da redução do consumo da areia de fundição e o descarte da mesma, realizadas em uma empresa do ramo de fundição durante seu estudo. D'Elboux (2000) demonstrou em sua pesquisa, que a implementação destas práticas realizadas por ele, em determinada indústria, gerou uma economia de US\$ 349.320,00 por ano.

Sendo assim, os estudos apresentados neste subcapítulo, encontrados no Catálogo da CAPES durante esta pesquisa, apresentam diferentes métodos para o aproveitamento deste resíduo, seja ele através de sua regeneração ou tratabilidade. Todas as técnicas analisadas nos estudos apresentados, demonstraram obter resultados positivos para a realização destas em relação ao resíduo areia de fundição, inclusive, quando analisada a viabilidade econômica, como no caso do estudo de D'Elboux (2000).

Quanto as IES em que os estudos foram desenvolvidos, dois são de origem da Universidade Estadual de Campinas, um da Universidade de São Paulo, um da Universidade Metodista de Piracicaba, enquanto um foi realizado na Universidade Federal de Santa Catarina e outro na Universidade Federal de Minas Gerais.

#### 6.6.5 Estudos que abordaram os impactos ambientais referentes as areias descartadas de fundição

Dos estudos encontrados no Catálogo da CAPES durante a pesquisa realizada, três abordaram os impactos ambientais relacionados as ADF, sendo um desenvolvido no Rio Grande do Sul, um em Santa Catarina e o outro no estado de São Paulo. Cunha (2005), por exemplo, avaliou em seu estudo os impactos ambientais ocasionados pelo depósito do resíduo areia de fundição em um terreno não licenciado para tal atividade. Anteriormente a disposição deste resíduo, o local era característico de banhado, onde havia a passagem de um córrego e, após a disposição dos mesmos, o terreno

apresentou-se mais arenoso, segundo Cunha (2005), mesmo após a atividade ser interrompida por ação judicial.

Devido este histórico, Cunha (2005) avaliou os impactos ambientais gerados por tal atividade e concluiu que, apesar do resíduo não proporcionar o aumento de metais pesados no solo, como Níquel (Ni), Cobre (Cu), Zinco (Zn), Cromo (Cr), Cádmio (Cd), e Chumbo (Pb), aumentou as concentrações de compostos fenólicos no solo local, de forma significativa, e a montante e jusante do córrego em relação ao ponto estudado (fenol, o-cresol, 2-fenilfenol, 3-fenilfenol, 4-fenilfenol e bisfenol A), além de apresentar redução de nutrientes como Potássio (K) e Fósforo (P) no solo. Ao fim de seu estudo, Cunha (2005) informou que o principal impacto ambiental, provocado pela inadequada disposição da ADF, foi a significativa degradação física do terreno e recomendou que mais estudos sobre o reuso e a reciclagem desse resíduo sejam realizados, para que ocorra um aumento no incentivo destas práticas.

Outro estudo, encontrado no Catálogo da CAPES durante a pesquisa, que também propôs analisar os impactos ambientais causados pela disposição inadequada do resíduo areia de fundição, bem como de outros resíduos industriais, foi o desenvolvido por Giesel (2007) em Santa Catarina. Para tanto, Giesel (2007) avaliou os passivos ambientais, provocados pelos resíduos industriais, ocasionados nas águas subterrâneas na cidade de Joinville, por meio da construção de seis poços de monitoramento.

Em dois dos poços construídos durante seu estudo, eram próximos a áreas contendo ADF, sendo o poço 2 próximo a um terreno baldio onde há a existência de ADF e o poço 6 localizado em uma residência onde, no solo, foi realizado o aterramento com o resíduo areia de fundição. Analisando a qualidade destes poços, Giesel (2007) observou que, no poço 2, o parâmetro turbidez e a substância fenol apresentaram valores superiores ao limite estabelecido pela resolução CONAMA 357/2005 e, no poço 6, as substâncias fenol, cobre, fósforo e manganês e os parâmetros cor, cloreto e sólidos dissolvidos totais também apresentaram valores superiores em relação a mesma resolução. Portanto, em seu estudo, Giesel (2007), pode concluir que a disposição ambientalmente incorreta do resíduo areia de fundição ocasionou a contaminação das águas subterrâneas do local.

Também relacionado aos impactos ambientais ocasionados pela inadequada disposição de ADF, foi encontrado durante a pesquisa, no Catálogo da CAPES, o estudo realizado por Penkaitis (2012). Penkaitis procurou avaliar os impactos ambientais provenientes do depósito do resíduo areia de fundição em um aterro não controlado, pertencente a uma indústria de fundição. Para o desenvolvimento desse estudo, Penkaitis (2012) realizou microscopia eletrônica de varredura e análise granulométrica do resíduo depositado e análise química das águas subterrâneas locais.

Ao observar os resultados de seu estudo, Penkaitis (2012) percebeu que, apesar dos elementos químicos (Cromo-Cr, Cobre-Cu, Cobalto-Co, Níquel-Ni, Zinco-Zn, Alumínio-Al, Ferro-Fe e Manganês-Mn) analisados no resíduo depositado no local, estarem dentro do limite estabelecido pela ABNT NBR 10.004:2004, os elementos químicos (Ferro-Fe, Manganês-Mn, Boro-B e Selênio-Se) analisados nas amostras da águas subterrâneas apresentaram-se superiores aos valores descritos na lista “Valores orientadores para solo e água subterrânea no estado de São Paulo” da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Com estes resultados, ao fim de seu estudo, Penkaitis (2012) comentou que a disposição deste resíduo em aterro não controlado, acaba comprometendo a qualidade ambiental do local e assim, a autora recomenda que sejam revisadas e estreitadas as ferramentas e normas referentes a classificação de resíduos sólidos e a análises de impactos ambientais.

Das IES, estes estudos foram desenvolvidos em diferentes locais, sendo um na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, um na Universidade da Região de Joinville e outro na Universidade de São Paulo. Desses três estudos encontrados no Catálogo da CAPES durante esta pesquisa, que tiveram como objetivo de estudo avaliar os impactos ambientais referentes a disposição incorreta do resíduo areia de fundição, estes encontraram diferentes tipos de contaminação, sejam elas ocorridas no solo ou em águas subterrâneas.

#### 6.6.6 Estudos que abordaram a caracterização ambiental, diagnóstico e prognóstico do setor de fundição

Quanto aos estudos encontrados nesta pesquisa que procuraram abordar a caracterização do perfil ambiental de empresas de fundição, bem como realizar o

diagnóstico e prognóstico do setor de fundição, três apresentaram esta proposta, tendo sido realizados no Rio Grande do Sul, no Paraná e no estado de São Paulo. Adegas (2007), por exemplo, teve seu estudo realizado no Rio Grande do Sul, em que procurou identificar o panorama do gerenciamento dos processos das empresas de fundição do estado.

Em seu estudo, Adegas (2007) avaliou todas as etapas do processo de fundição, desde o recebimento das areias de fundição virgem até o reuso ou recuperação das mesmas. O autor também realizou uma pesquisa sobre a situação no Banco de Dados da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler (FEPAM). Com isto, ao finalizar seu estudo, Adegas (2007) concluiu que 81%, das empresas encontradas na pesquisa, realizam o descarte das ADF em aterros industriais licenciados pela FEPAM, sendo que destas, apenas uma demonstrou interesse em procurar meios de reuso do resíduo e constatou, que estas não demonstram interesse em aplicar ações para poder minimizar a geração do resíduo areia de fundição, declarando, portanto, que a percepção das empresas analisadas, em relação as ADF, ainda é incipiente.

Já o estudo realizado por Monteiro (2013) no estado de São Paulo, teve como objetivo caracterizar o perfil ambiental de um depósito do resíduo areia de fundição não controlado, o qual possui mais de 30 anos de uso. Para tanto, Monteiro (2013) avaliou a presença de elementos inorgânicos presentes ao longo do perfil vertical do depósito, através da realização de análises granulométrica, de umidade, morfológica por microscopia eletrônica de varredura com espectrômetro de dispersão de energia de raio-X e fluorescência de raio-X. Assim, com os resultados obtidos das análises, Monteiro (2013) concluiu que os elementos Alumínio (Al), Zircônio (Zr), Fósforo (P), Manganês (Mn), Titânio (Ti), e Vanádio (V) migraram do topo para a base do perfil do solo, sendo que este demonstrou diferenças em relação a sua micromorfologia e granulometria quando escavado verticalmente. Desta forma, Monteiro (2013) conclui que parte da migração desses elementos químicos ao longo do perfil é decorrente das condições climáticas do local, bem como a não realização do controle e monitoramento quando aos riscos ambientais decorrentes do depósito do resíduo.

Por fim, o estudo realizado por Fagundes (2010), no Paraná, teve como objetivo realizar uma análise quanto aos aspectos de legislações ambientais e de normas

específicas que abordam o resíduo areia de fundição, além de verificar como é realizado o gerenciamento desse resíduo no Estado do Paraná. Para o desenvolvimento desse estudo, Fagundes (2010) realizou um diagnóstico e prognóstico para o setor de fundição do estado quanto ao uso da areia de fundição.

Desta forma, Fagundes (2010) verificou que há o esforço da ABNT CB-59 em estabelecer normas específicas para a areia de fundição, como procedimentos para o gerenciamento do resíduo e proporcionar subsídios para novas determinações legais referentes ao assunto, além de observar que o interesse, quanto a questão ambiental legal deste assunto, vem demonstrando uma evolução quanto a criação de leis, resoluções e portarias.

Além destas conclusões, Fagundes (2010) também constatou que, das empresas analisadas, há um baixo número de certificações de qualidade entre elas e nenhuma apresentou certificação ISO 14.001, sendo que as prioridades, para os próximos cinco anos, demonstradas por estas empresas estão relacionadas a expansão das linhas de produção, deixando a qualidade ambiental em segundo plano. Outra constatação realizada por Fagundes (2010) está relacionada ao destino do resíduo areia de fundição. O autor destaca que para uma média mensal de consumo de 2.793,3 toneladas de areia de fundição é gerada uma quantidade de ADF de aproximadamente 1.193 toneladas por mês. No entanto, o autor também comenta que não houve declaração do destino dado a uma quantidade mensal de aproximadamente 1.600,3 toneladas de ADF restante do processo. Por fim, Fagundes (2010) recomenda que sejam realizados estudos quanto as atuais técnicas para o maior aproveitamento das areias de fundição durante o processo, bem como as diferentes aplicações que podem ser realizadas com as ADF e a realização de análise da geração deste resíduo no Paraná.

Sendo assim, dos estudos apresentados neste subcapítulo, esses também foram desenvolvidos em diferentes IES, sendo um na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, um na Universidade Tecnológica Federal do Paraná e outro na Universidade de São Paulo. Os mesmos demonstraram os aspectos positivos e negativos proporcionados por empresas de fundição, representando o perfil ambiental destas nas regiões Sul e Sudeste do Brasil.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nessa seção são apresentadas as conclusões obtidas durante o desenvolvimento desse estudo, bem como suas limitações e recomendações para trabalhos futuros relacionados ao resíduo areia de fundição.

### 7.1 CONCLUSÕES

O estudo realizado demonstrou que as pesquisas acadêmicas nos Programas *Stricto Sensu* no Brasil, em relação ao resíduo areia de fundição, são realizadas desde a década de 90 e, nos últimos anos, apresentaram-se com interesse crescente, uma vez que, em todos os anos, no período de 2004 a 2016, foram identificadas pesquisas que abordaram esse tema.

Na análise realizada no endereço eletrônico da Coordenação de Aperfeiçoamento de pessoal de Nível Superior (CAPES) percebe-se que é significativo o número de programas e cursos de pós-graduação *Stricto Sensu* no Brasil nas regiões Sul e Sudeste, sendo essas também as regiões que mais apresentaram teses e dissertações relacionadas com o tema areia descartada de fundição (ADF). Do mesmo modo, dessas regiões as instituições que apresentaram a maior quantidade de estudos foram as localizadas no Estado de São Paulo e Santa Catarina (Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo e a Universidade do Estado de Santa Catarina).

Possivelmente isso é devido ao fato de, no caso de São Paulo, ser o Estado com o maior número de habitantes do país, de acordo com o último censo realizado (IBGE, 2018), sendo um local de grande giro de capital, de concentração de empresas e instituições de ensino. Bem como, no caso de Santa Catarina, a qual demonstra um alto índice de geração do resíduo areia de fundição, como confirmado pela Associação Brasileira de Fundição (ABIFA, 2015), a qual comenta que, da estimativa de três milhões de toneladas da geração desse resíduo no Brasil, 600 mil toneladas são originárias de Santa Catarina. Ainda corroborando, Santa Catarina, diferentemente de outros estados, já apresenta resoluções CONSEMA que abordam especificamente as areias descartadas de fundição, como a CONSEMA n° 11/2008 (SANTA CATARINA, 2008) e a CONSEMA n°26/2013 (SANTA CATARINA, 2013).

De todas as produções em que foi possível a de leitura do título, resumo e das palavras-chave, que foram encontrados disponíveis para acesso do trabalho, verificou-se que as áreas de conhecimento que apresentaram o maior número de produções referentes a este tema foram: Engenharia de Materiais e Metalúrgica, Engenharia Sanitária e Engenharia Civil.

Ainda, esse estudo demonstrou que, todas as produções analisadas obtiveram resultados, com a mesma linha de estudo para as ADF e, em geral, comprovaram que há viabilidade técnica e ambiental na maioria dos casos e, viabilidade econômica nos casos em que essa componente foi analisada, desde que sejam seguidos determinados parâmetros recomendados pelos autores dessas produções.

Este estudo mostrou que, o uso da ADF como matéria-prima na fabricação de outros produtos foi o tema mais pesquisados nas produções acadêmicas analisadas, sendo estes produtos bem diversificados, mas em sua maioria, artefatos da área da construção civil: cerâmica, pavimento, concreto, cimento, entre outros. Em todas essas produções foram realizados experimentos laboratoriais para a realização das análises, exceto o trabalho de Bina (2002) que desenvolveu seu teste em uma área de recapeamento.

Assim, foram obtidos resultados positivos quanto ao uso da ADF como matéria-prima na fabricação desses produtos. Cada pesquisa foi desenvolvida utilizando diferentes métodos e com diferentes concentrações do resíduo e, desta maneira, pode-se constatar que os resultados de testes ambientais (lixiviação e solubilização), bem como os mecânicos, podem variar de acordo com a ADF utilizada, uma vez que a composição dessa pode alterar quando usada por diferentes empresas ou etapas da fundição.

Desta maneira é possível aplicar este resíduo como matéria-prima na fabricação de produtos da construção civil, desde que, anteriormente ao seu uso, sejam desenvolvidos testes de lixiviação e solubilização, bem como mecânicos (que podem variar de acordo com o produto a ser fabricado), com diferentes concentrações do resíduo areia de fundição. Assim, será possível garantir que o uso do mesmo apresentará viabilidade técnica e ambiental e, permitir que seja verificada a melhor concentração a ser utilizada desse resíduo, para que esses resultados sejam alcançados.

Em relação aos estudos de regeneração e tratabilidade, verificou-se que pesquisas já são desenvolvidas nessa área desde a década de 90 até os anos atuais, sendo de grande significância, uma vez que, além de analisar os aspectos ambientais, também envolve economia. Das produções analisadas, constatou-se que existem e são viáveis ambientalmente as técnicas de regeneração e tratabilidade para o resíduo areia de fundição, sendo que as mesmas podem variar suas metodologias, de acordo com a composição desse resíduo. Também, é importante destacar a pesquisa de D'Elboux (2000), a qual analisou, além dos aspectos ambientais, a viabilidade econômica da realização de técnicas para esses processos. Assim, o autor afirmou que, na indústria em que sua pesquisa foi realizada, houve uma economia de US\$ 349.320,00 ao ano, somente na aplicação de diferentes técnicas de regeneração e tratabilidade.

Ainda, sabe-se que, se ADF dispostas em aterros industriais ambientalmente adequados, acaba por reduzir a vida útil dos mesmos, bem como torna-se um alto custo para as empresas geradoras. No entanto, quando este resíduo é disposto em aterros não controlados ou locais inadequados, as produções analisadas mostraram que os impactos acabam sendo mais elevados, uma vez que há contaminação de solos e recursos hídricos. Sendo assim, estas formas de disposição do resíduo podem estar relacionadas com os resultados das produções que realizaram diagnóstico e caracterizaram ambientalmente o setor de fundição. As mesmas demonstram que o interesse das indústrias de fundição, em geral, é crescente, mas ainda não o suficiente, uma vez que as empresas analisadas por Fagundes (2010) possuem maior interesse na produção do que na qualidade ambiental, apresentando poucas certificações relacionadas a essa área.

Por fim cabe destacar que esse trabalho é de significativa importância, para as empresas que buscam por diferentes opções para o uso de areia descartada de fundição (ADF), uma vez que pôde destacar tendências relacionadas ao uso do resíduo areia de fundição, bem como opções tecnológicas existentes para melhoria do processo de fundição. Também, é importante salientar a significância do Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES, juntamente com sua Plataforma Sucupira, por poder disponibilizar, através de fácil acesso, as pesquisas de programas *Stricto Sensu* do Brasil, produzidas em diversificados assuntos, e permitindo a verificação de variadas informações, através dos filtros disponibilizados nesse Catálogo.

## 7.2 LIMITAÇÕES DO ESTUDO E RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Das principais dificuldades encontradas neste estudo, têm-se a não localização, no meio eletrônico, de algumas produções resultantes da pesquisa no Catálogo da CAPES, que acabou por reduzir a quantidade das mesmas para leitura do conteúdo na íntegra e identificação do tema abordado por elas.

Por fim, como recomendações para estudos futuros, sugere-se que, as instituições acadêmicas, quando possível, disponibilizem em seus endereços eletrônicos as produções anteriores a 2006, facilitando o acesso das mesmas para futuras pesquisas. Ainda recomenda-se que futuras pesquisas analisem o uso do resíduo areia de fundição em relação não somente a viabilidade econômica e a ambiental, mas também a social, uma vez que esse tripé pode relacionar o aproveitamento do resíduo com a sua sustentabilidade, fornecendo produtos à construção civil para população de baixa renda. Também é sugerido que, em estudos futuros, sejam desenvolvidas comparações entre as produções dos programas de pós-graduação *Stricto Sensu* do Brasil com pesquisas relacionadas ao mesmo tema que tenham sido desempenhadas em outros países (banco de teses internacional e Bases de Dados).

## REFERÊNCIAS

ADEGAS, R. G. **Perfil ambiental dos processos de fundição ferrosa que utilizam areias no estado do Rio Grande do Sul**. 2007. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/11199>>. Acesso em: 21 set. 2018.

AGÊNCIA IBGE NOTÍCIAS. **Estimativa de população**. Rio de Janeiro, 01 jul. 2017. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?edicao=16985&t=resultados>>. Acesso em: 07 set. 2018.

ARAÚJO, R. F.; ALVARENGA, L. A bibliometria na pesquisa científica da pós-graduação brasileira de 1987 a 2007. **Encontros Bibli**. v. 16, n. 31, p. 51-70, 2011. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/eb/article/view/1518-2924.2011v16n31p51/17757>>. Acesso em: 18 ago. 2018.

ARMANGE, L. C. **Utilização de areia de fundição residual para uso em argamassa**. 2005. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Santa Catarina. Disponível em: <[http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UDSC\\_b81da6e6ed5d54ec264712e4e795d42b](http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UDSC_b81da6e6ed5d54ec264712e4e795d42b)>. Acesso em: 21 set. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO (ABIFA). ADF – Soluções para areias descartadas com o trabalho da ABIFA. p. 66-69, 2008a. **ABIFA**. Disponível em: <[http://www.solucoesadf.com.br/img\\_paginas/ARTIGO\\_SITUACAO\\_ADF\\_REVISTA\\_JUNHO\\_2008.pdf](http://www.solucoesadf.com.br/img_paginas/ARTIGO_SITUACAO_ADF_REVISTA_JUNHO_2008.pdf)>. Acesso em: 14 abr. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO (ABIFA). A 3ª geração dos depósitos de areias descartadas de fundição - ADF. 2008b. **ABIFA**. Disponível em: <[http://www.solucoesadf.com.br/img\\_paginas/artigo\\_revista\\_01008.pdf](http://www.solucoesadf.com.br/img_paginas/artigo_revista_01008.pdf)>. Acesso em: 14 abr. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO (ABIFA). **Anuário ABIFA 2016**. 2016. Disponível em: <[http://abifa.org.br/wp-content/uploads/2016/09/revista\\_abifa\\_193.pdf](http://abifa.org.br/wp-content/uploads/2016/09/revista_abifa_193.pdf)>. Acesso em: 15 mar. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO (ABIFA). **Fundição & Matérias-primas**, São Paulo, v.5, n. 34, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO (ABIFA). **Fundição & Matérias-primas**, ano XVIII, 186. ed., 2015. Disponível em: <<http://abifa.org.br/wp-content/uploads/2016/01/Abifa-186-Novembro.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO (ABIFA). **Recomendação CEMP 081**. 2015. Disponível em: <<http://www.tecnofund.com.br/comp/normas/081.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO (ABIFA). **Revista da ABIFA**, ano XVII, 171. ed., 2014. Disponível em: <<http://abifa.org.br/wp-content/uploads/2014/09/ABIFA-171-agosto.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO (ABIFA). **Seminário de tecnologia e competitividade nas fundições**. 2016. Disponível em: <[www.abifa.org.br/seminario-de-tecnologia-e-competitividade-nas-fundicoes/](http://www.abifa.org.br/seminario-de-tecnologia-e-competitividade-nas-fundicoes/)>. Acesso em: 16 abr. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Comitês Brasileiros – Nome e Âmbito de Atuação**. 2018. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/cb-59>>. Acesso em: 14 abr. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15.702: Areias descartadas de fundição – aplicações em asfalto e em aterro sanitário**. Rio de Janeiro, 2009.

BANDEIRA, R. A. D. M.; ZARY, B. B.; CAMPOS, V. B. G. A produção científica em logística humanitária no século XXI: uma análise bibliométrica. **Transportes**, v. 24, n. 2, p. 1-12, 2016. Disponível em: <<https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/883/589>>. Acesso em: 05 jun. 2018.

BIOLO, S. M. **Reúso do resíduo de fundição areia verde na produção de blocos cerâmicos**. 2005. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: < [https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/5947?locale=pt\\_BR](https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/5947?locale=pt_BR)>. Acesso em: 21 set. 2018.

BINA, P. **Metodologia de utilização de rejeitos industriais na pavimentação: estudo de caso de uso de areia de fundição**. 2002. 133 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia em Construção de Edifícios) – Institutos de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo. Disponível em: < [http://www.ipt.br/pos\\_graduacao\\_ipt/solucoes/dissertacoes/375-metodologia\\_de\\_utilizacao\\_de\\_rejeitos\\_industriais\\_na\\_pavimentacao:\\_estudo\\_de\\_caso\\_de\\_uso\\_de\\_areia\\_de\\_fundicao.htm](http://www.ipt.br/pos_graduacao_ipt/solucoes/dissertacoes/375-metodologia_de_utilizacao_de_rejeitos_industriais_na_pavimentacao:_estudo_de_caso_de_uso_de_areia_de_fundicao.htm) >. Acesso em: 21 set. 2018.

BITTENCOURT, S. F. **Avaliação da resistência à compressão de pavers produzidos com agregados de resíduos de construção e demolição e areia de fundição**. 2012. 125 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo. Disponível em: < [http://taurus.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/267789/1/Bittencourt\\_SarahFerreira\\_M.pdf](http://taurus.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/267789/1/Bittencourt_SarahFerreira_M.pdf)>. Acesso em: 21 set. 2018.

BORGIO, S. C. **Minimização e reciclagem de lodo galvânico e poeira de jateamento**. 2005. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Paraná. Disponível em: < [https://docs.ufpr.br/~bleninger/dissertacoes/104-Simone\\_Canfield\\_Borgio.pdf](https://docs.ufpr.br/~bleninger/dissertacoes/104-Simone_Canfield_Borgio.pdf) >. Acesso em: 21 set. 2018.

BRADASCHIA, C. Uma análise geral dos processos de moldagem e de sua aplicação às ligas consideradas. In: BRADASCHIA, C. (Org.) **Curso de fundição de ligas não ferrosas**. 3. ed. São Paulo: ABM, 1974. p. XI-1 – XI-7.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**, 1988. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm)>. Acesso em: 14 abr. 2018.

BRASIL. **Lei nº 12.305**: Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS/Ministério do Meio Ambiente. 2010. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>. Acesso em 14 abr. 2018.

CHEGATTI, S. **Aplicação de resíduos de fundição em massa asfáltica, cerâmica vermelha e fritas cerâmicas**. 2004. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/87646>>. Acesso em: 21 set. 2018.

CHUEKE, G. V.; AMATUCCI, M. O que é bibliometria? Uma introdução ao Fórum. **Internext**. v. 10, n. 2, p. 1-5, 2015. Disponível em: <<http://internext.espm.br/index.php/internext/article/view/330/233>>. Acesso em: 18 ago. 2018.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro: FGV, 1988.

COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR. CAPES. **História e missão**. 2018a. Disponível em: <<http://www.capes.gov.br/historia-e-missao>>. Acesso em: 17 mai. 2018.

COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR. CAPES. **Catálogo de Teses e Dissertações**. 2018b. Disponível em: <[http://sdi.capes.gov.br/banco-de-teses/02\\_bt\\_sobre.html](http://sdi.capes.gov.br/banco-de-teses/02_bt_sobre.html)>. Acesso em: 17 mai. 2018

COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR. CAPES. **Cursos Avaliados e Reconhecidos**. 2018c. Disponível em: <<https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/programa/quantitativos/quantitativoRegiao.jsf?jsessionid=qUXIKk4O5MpQjwl60KLAu3tS.sucupira-205>>. Acesso em: 07 set. 2018

COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR. CAPES. **Cursos Avaliados e Reconhecidos**. 2018d. Disponível em: <<https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/programa/quantitativos/quantitativoUf.jsf?cdRegiao=3>>. Acesso em: 07 set. 2018

COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR. CAPES. **Cursos Avaliados e Reconhecidos**. 2018e. Disponível em: <<https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/programa/quantitativos/quantitativoUf.jsf?cdRegiao=4>>. Acesso em: 07 set. 2018

COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR. CAPES. **Plataforma Sucupira**. 2014. Disponível em: <<http://www.capes.gov.br/avaliacao/plataforma-sucupira>>. Acesso em: 17 mai. 2018.

CORREIA, C. H. G. **Reuso de resíduo de areia descartada de fundição (ADF)** – uma avaliação técnica e toxicológica do processo de produção de fritas cerâmicas e em escala laboratorial. 2015. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – Universidade da Região de Joinville, Santa Catarina. Disponível em: <[https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id\\_trabalho=3120702](https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=3120702)>. Acesso em: 22 abr. 2018.

COSTA, C. J. B. D. **Mistura asfáltica com o uso de areia de fundição de ferro descartada**. 2008. 218 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro. Disponível em: <[http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select\\_action=&co\\_obra=116068](http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=116068)>. Acesso em: 21 set. 2018.

COUTINHO, B. N. **Avaliação do reaproveitamento de areias de fundição como agregado em misturas asfálticas densas**. 2004. 293 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18137/tde-10022011-101639/pt-br.php>>. Acesso em: 22 abr. 2018.

COUTINHO, B. N.; FABBRI, G. T. P. Avaliação da reutilização da areia de fundição em misturas asfálticas densas do tipo CAUQ. **Transportes**. v. XII, p. 50-57, 2005. Disponível em: <<https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/139/121>>. Acesso em: 24 abr. 2018.

CUNHA, A. D. B. **Estudo da contaminação por compostos fenólicos de uma área impactada por resíduo de areia de fundição**. 2005. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/18455>>. Acesso em: 21 set. 2018.

D'ELBOUX, F. A. **Minimização de descarte de areias de fundição**. 2000. 158 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Metodista de Piracicaba, São Paulo. Disponível em: <[https://www.unimep.br/phpg/bibdig/pdfs/docs/25052012\\_162421\\_francisco\\_delboux.pdf](https://www.unimep.br/phpg/bibdig/pdfs/docs/25052012_162421_francisco_delboux.pdf)>. Acesso em: 21 set. 2018.

DOMINGUES, L. G. F. **Viabilidade ambiental e econômica da utilização de areia descartada de fundição (ADF) na cobertura de aterros sanitários**. 2015. 103 f. Dissertação (Mestrado em Faculdade de Tecnologia) – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo. Disponível em: <<https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao>>

o/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id\_trabalho=2203586>. Acesso em: 21 abr. 2018.

DOYLE, L. E. et al. **Processos de fabricação e materiais para engenheiros**. São Paulo: Edgar Blucher, 1978.

ECO SAND. **Recuperador térmico de areia**. 17 abr. 2018. Disponível em: <<http://www.ecosand.com.br/produto/recuperador-termico-de-areia.html>>. Acesso em: 17 abr. 2018.

EIRICH. **Evactherm** – Tecnologia a vácuo Eirich para processamento em fundições de areia verde. 25 set. 2017. Disponível em: <<https://eirich.com.br/2017/09/25/evactherm-tecnologia-a-vacuio-eirich-para-processamento-em-fundicoes-de-areia-verde/>>. Acesso em: 25 ago. 2018.

FAGUNDES, A. B. **Mapeamento do gerenciamento das areias a verde de fundição no estado do Paraná sob a ótica da produção mais limpa: uma contribuição para o estabelecimento de estratégias**. 2010. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná. Disponível em: <<http://www.pg.utfpr.edu.br/dirppg/ppgep/dissertacoes/arquivos/137/Dissertacao.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2018.

FAGUNDES, A. B. et al. Caminhos para a sustentabilidade do setor de fundição no Brasil. **GEPROS** – Gestão da Produção, Operações e Sistemas, ano 5, n. 2, p. 27-40, 2010. Disponível em: <<http://revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/view/322/301>>. Acesso em: 24 abr. 2018.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS. FIEMG. **Guia de boas práticas do setor de fundição**, 2018. Disponível em: <<http://www.sifumg.com.br/wp-content/uploads/2016/02/cartilha-de-undicao.pdf>>. Acesso em: 04 abr. 2018.

FERREIRA, G. C. D. S. et al. Viabilidade técnica e ambiental de misturas de solo com areia descartada de fundição. **Transportes**. v. 22, n. 2, p. 62-69, 2014. Disponível em: <<https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/728/518>>. Acesso em: 09 jun. 2018.

FERREIRA, N. S. A. As pesquisas denominadas “estado da arte”. **Educação & Sociedade**, ano XXIII. n. 79, p. 257-272, 2002. Disponível em: <[www.scielo.br/pdf/es/v23n79/10857.pdf](http://www.scielo.br/pdf/es/v23n79/10857.pdf)>. Acesso em: 04 mai. 2018.

FOLMANN, R. **Estudo da aplicação da areia descartada de fundição em tijolos de solo-cimento**. 2012. 141 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Santa Catarina. Disponível em: <[http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UDSC\\_7003c4703e807ff0477d040146018b49](http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UDSC_7003c4703e807ff0477d040146018b49)>. Acesso em: 21 set. 2018.

FONSECA, E. N. D. **Bibliometria: teoria e prática**. São Paulo: Pensamento-Cultrix, 1986.

GIESEL, S. R. **Avaliação da água subterrânea na cidade de Joinville e seus possíveis impactos na saúde pública**. 2007. 82 f. Dissertação (Mestrado em Saúde e Meio Ambiente) – Universidade da Região de Joinville, Santa Catarina. Disponível em: <[http://univille.edu.br/community/mestrado\\_saude\\_meio\\_ambiente/VirtualDisk.html/downloadDirect/74277](http://univille.edu.br/community/mestrado_saude_meio_ambiente/VirtualDisk.html/downloadDirect/74277)>. Acesso em: 21 set. 2018.

HÖRLLE, L. F. **Utilização de Resíduos de Fundição como Matérias-Primas para Obtenção de Produtos de Cerâmica Vermelha**. 2005. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/18455>>. Acesso em: 21 set. 2018.

HOUAISS, A.; VILLAR, M.; FRANCO, F. M. M.; INSTITUTO ANTÔNIO HOUAISS DE LEXICOGRAFIA. **Minidicionário Houaiss da língua portuguesa**. 3.ed. rev. e aum., com alterações. Rio de Janeiro: Objetiva, 2009.

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. **Tecnologia recupera areia contaminada de fundição**. 04 mar. 2005. Disponível em: <<https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=010125050304&id=010125050304#.W4Fo0vZFzIV>>. Acesso em: 25 ago. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades IBGE – São Paulo**. 2018. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/panorama>>. Acesso em: 09 out. 2018.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (**Processos de fundição e metalurgia das ligas fundidas**). 2018. Disponível em: <[https://www.ipt.br/solucoes/266-processos\\_de\\_fundicao\\_e\\_metalurgia\\_das\\_ligas\\_fundidas.htm](https://www.ipt.br/solucoes/266-processos_de_fundicao_e_metalurgia_das_ligas_fundidas.htm)>. Acesso em: 25 ago. 2018.

KLINSKY, L. M. G. **Avaliação do reaproveitamento de areia de fundição residual em camadas de pavimentos**. 2013. 313 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <[https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id\\_trabalho=144592](https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=144592)>. Acesso em: 22 abr. 2018.

KLINSKY, L. M. G. **Proposta de reaproveitamento de areia de fundição em sub-bases e bases de pavimentos flexíveis, através de sua incorporação a solos argilosos**. 2008. 215 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Transportes) – Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18143/tde-07082008-162426/pt-br.php>>. Acesso em: 22 abr. 2018.

KÖCHE, J. C. **Fundamentos de metodologia científica: teoria da ciência e iniciação à pesquisa**. 29. Ed, Petrópolis, RJ: Vozes, 2011.

KONDIC, V. **Princípios metalúrgicos de fundição**. São Paulo: Polígono, 1973.

LENAHAN, M. **Material de aula – Foundry Sand: A Recipe for Beneficial Use**. Mindwest Industrial. Ago. 2002. Disponível em: <[http://www.solucoesadf.com.br/img\\_paginas/beneficial\\_reuse\\_foundry\\_sand.pdf](http://www.solucoesadf.com.br/img_paginas/beneficial_reuse_foundry_sand.pdf)>. Acesso em: 14 abr. 2018.

MANOHARAN, T. et al. Engineering properties of concrete with partial utilization of used foundry sand. **Waste Management**, v. 71, p. 456-460, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X17307705>>. Acesso em: 14 jun. 2018.

MARIOTTO, C. L. Estudos das areias para confecção de moldes e machos; composições, propriedades, aplicações, métodos de ensaio, etc. In: BRADASCHIA, C. (Org.) **Curso de fundição de ligas não ferrosas**. 3. ed. São Paulo: ABM, 1974. p. XIII-1 – XIII-74.

MARQUES, C. T. **Potencialidades e limitações da aplicação simultânea de aromas e de pigmentos sensíveis ao calor e à luz em artigos de moda praia**. 2004. 144 f. Dissertação (Mestrado em Design e Marketing – opção têxtil) – Universidade do Minho Escola de Engenharia, Guimarães, Portugal. Disponível em: <<http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/899?mode=full>>. Acesso em: 25 ago. 2018.

MARTIN, A. C. **Influência da adição de areia descartada de fundição (ADF) na cor de vidros soda-cal**. 2017. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Santa Catarina. Disponível em: <[https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id\\_trabalho=4811980](https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=4811980)>. Acesso em: 22 abr. 2018.

MARTINS, M. A. B. **Estudo da viabilidade do uso da areia retida no sistema de exaustão – de uma indústria de autopeças – em concreto convencional**. 2016. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Itajubá. Disponível em: <[https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id\\_trabalho=4056879](https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=4056879)>. Acesso em: 22 abr. 2018.

MASTELLA, M. A. et al. Mechanical and toxicological evaluation of concrete artifacts containing waste foundry sand. **Waste Management**, v. 34, 8. ed., p. 1495-1500, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X1400052X>>. Acesso em: 14 jun. 2018.

MASTELLA, M. A. **Avaliação mecânica e toxicológica de pavimentos de concreto contendo resíduo de areia de fundição**. 2013. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Santa Catarina. Disponível em: <[https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id\\_trabalho=97043](https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=97043)>. Acesso em: 22 abr. 2018.

MATOS, S. V. **Proposta de minimização de resíduos sólidos industriais: estudo de caso com areia de fundição**. 1997. 107 f. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: < [http://bdpi.usp.br/single.php?\\_id=000934022](http://bdpi.usp.br/single.php?_id=000934022)>. Acesso em: 22 abr. 2018.

MINAS GERAIS. **Resolução COPAM nº 196/2014**: Dispõe sobre a utilização da areia descartada de fundição na produção de artefatos de concreto sem função estrutural. 2014. Disponível em <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=268898>>. Acesso em: 14 abr. 2018.

MODELAÇÃO REAL. **Molde de areia** – peça: Tubo de Ar/ Setor: Automotivo. São Paulo, 2018. Disponível em: < <http://www.modelacaoreal.com.br/mdreal/galeria.php?id=30>>. Acesso em: 21 ago. 2018.

MONTEIRO, M. M. C. **Características físicas, químicas e geoquímicas de um depósito de areia descartada de fundição (ADF) e sua implicação ambiental**. 2013. 241 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <[www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44137/tde-03062015-091318/pt-r.php](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44137/tde-03062015-091318/pt-r.php)>. Acesso em: 22 abr. 2018.

MORO, N.; PAEGLE, A. A. **Processos de fabricação** – Fundição. 2007. Disponível em: <<http://norbertocefetsc.pro.br/downloads/fundicao.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2018.

NASCIMENTO, M. R. D. **Estudo da influência da bentonita e do pó de carvão na hidratação do cimento Portland**. 2006. 241 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Santa Catarina. Disponível em: <[http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UDSC\\_f40ef44ef17260a59261c3e946fdb47c](http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UDSC_f40ef44ef17260a59261c3e946fdb47c)>. Acesso em: 22 abr. 2018.

NUNES, S. S. **Impactos ambientais associados ao resíduo areia fenólica usada em uma fundição de pequeno porte**. 2013. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Rio Grande do Sul. Disponível em: <[https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id\\_trabalho=875413](https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=875413)>. Acesso em: 22 abr. 2018.

OLIVEIRA, J. C. D. **Estudo Experimental da Regeneração Térmica de Areia de Macharia em Leito Fluidizado**. 2007 . 240 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo. Disponível em: <[http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/262958/1/Oliveira\\_JulioCesarDainezide\\_D.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/262958/1/Oliveira_JulioCesarDainezide_D.pdf)>. Acesso em: 22 abr. 2018.

OLIVEIRA, P. E. D. F. **Rejeitos de Fundição: Recuperação de argila e modificação para aplicações ambientais**. 2009 . 124 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/BIRC-86EK2E>>. Acesso em: 22 abr. 2018.

PABLOS, J. M. **Estudo para reutilização do resíduo sólido constituído pelas areias de fundição aglomeradas com argila, através da técnica de solidificação/estabilização em matrizes de cimento Portland, para aplicação**

**no setor da construção civil.** 2008 . 146 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18141/tde-27022009-093112/pt-br.php>>. Acesso em: 22 abr. 2018.

PALANCH, W. B. D. L.; FREITAS, A. V. Estado da Arte como método de trabalho científico na área de Educação Matemática: possibilidades e limitações. **Perspectivas da educação matemática.** v. 8, p. 784-802, 2015. Disponível em: <<http://seer.ufms.br/index.php/pedmat/article/view/867/983>>. Acesso em: 25 ago. 2018.

PENKAITIS, G. **Impacto ambiental gerado pela disposição de areias de fundição: estudo de caso.** 2012 . 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/90/90131/tde-29032012-121843/pt-br.php>>. Acesso em: 22 abr. 2018.

PEREIRA, A. **Estudo da viabilidade técnica e ambiental da incorporação do resíduo areia de fundição em matriz asfáltica.** 2004 . 195 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Regional de Blumenau, Santa Catarina. Disponível em: <[http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/FURB\\_56e30cc2790777085bc3513a37290275](http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/FURB_56e30cc2790777085bc3513a37290275)>. Acesso em: 22 abr. 2018.

PINTO, F. B. **O uso de areia descartada de fundição (ADF) na produção de concreto.** 2013. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Itajubá, Minas Gerais. Disponível em: <[https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id\\_trabalho=90039](https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=90039)>. Acesso em: 21 abr. 2018.

POLLI, E. **Incorporação da areia descartada de fundição (ADF) na fabricação de vitrocerâmicos do sistema  $\text{SiO}_2\text{-CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3$ .** 2014 . 110 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Santa Catarina. Disponível em: <[http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UDSC\\_2cf6eaa1976036b943f1941a2f9b15cd](http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UDSC_2cf6eaa1976036b943f1941a2f9b15cd)>. Acesso em: 22 abr. 2018.

QUEIROZ, B. S. A. **Estudo da viabilidade ambiental da reutilização das areias descartadas de fundição.** 2012 . 239 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/100741>>. Acesso em: 22 abr. 2018.

QUEIROZ, E. V. **Reaproveitamento de resíduos de indústria de fundição na produção de cerâmicos estruturais.** 2014. 65 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Universidade de Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul. Disponível em: <[https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id\\_trabalho=150763](https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=150763)>. Acesso em: 22 abr. 2018.

QUISSINI, C. S. **Estudo da aplicação de areia descartada de fundição como material alternativo para camada de cobertura de aterro de resíduos**. 2009. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade de Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, 2009.

RÉ, V. L. Equipamentos para o preparo e acondicionamento de areias de moldagem e para confecção de moldes e machos. In: BRADASCHIA, C. (Org.) **Curso de fundição de ligas não ferrosas**. 3. ed. São Paulo: ABM, 1974. p. XV-1 – XV-22.

RECUSANI, A. F. Aula nº 3B. In: BRADASCHIA, C. (Org.) **Curso de fundição de ligas não ferrosas**. 3. ed. São Paulo: ABM, 1974. p. III-1 – III-31.

ROMANOWSKI, J. P.; ENS, R. T. As pesquisas denominadas do tipo “estado da arte” em educação. **Diálogo Educacional**, v. 6, n. 19, p. 37-50, 2006. Disponível em <<http://www2.pucpr.br/reol/pb/index.php/dialogo?dd1=237&dd99=view>>. Acesso em: 04 mai. 2018.

ROMANUS, A. **Moldagem em areia a verde**: manual de defeitos e soluções. São Paulo: Global Market, 2005.

RUFINO, E. S.; GALDINO, A. G. S. Avaliação das propriedades físico-mecânicas de argamassa com utilização de resíduos de fundição. **Cerâmica**, v. 61, n. 360, p. 428-434, 2015. Disponível em: <[www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0366-69132015000400428&lng=en&tling=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132015000400428&lng=en&tling=en)>. Acesso em: 24 abr. 2018.

RUIZ, M. S. et al. Desafios e perspectivas da produção de areia industrial. **Holus**, ano 29, v. 5, p. 50-68, 2013. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1707/726>>. Acesso em: 24 abr. 2018.

SANTA CATARINA. **Resolução CONSEMA nº 11/2008**: estabelece critérios para a utilização da Areia Descartada de Fundição de materiais ferrosos na produção de concreto asfáltico e artefatos de concreto sem função estrutural. 2008. Disponível em: <[http://fundai.sc.gov.br/files/legislacoes/legislacao\\_103.pdf](http://fundai.sc.gov.br/files/legislacoes/legislacao_103.pdf)>. Acesso em: 14 abr. 2018.

SANTA CATARINA. **Resolução CONSEMA nº 26/2013**: estabelece as diretrizes sobre a utilização das Areias Descartadas de Fundição – ADF e adota outras providências. 2013. Disponível em: <<http://www.sds.sc.gov.br/index.php/biblioteca/consema/legislacao/resolucoes/432-resolucao-consema-no-262013/file>>. Acesso em: 14 abr. 2018.

SÃO PAULO. **Decisão de Diretoria nº 152/2007/C/E**: Procedimentos para gerenciamento de areia de fundição – CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). 2007. Disponível em: <[http://cetesb.sp.gov.br/residuossolidos/wp-content/uploads/sites/26/2013/11/20100621111349\\_14c906d046b6f3c904a8e859375107c5.pdf](http://cetesb.sp.gov.br/residuossolidos/wp-content/uploads/sites/26/2013/11/20100621111349_14c906d046b6f3c904a8e859375107c5.pdf)>. Acesso em: 14 abr. 2018.

SCHEUNEMANN, R. **Regeneração de areia de fundição através de tratamento químico via processo Fenton**. 2005 . 85 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/30382701.pdf>>. Acesso em: 22 abr. 2018.

SCHMITZ, R. R. D. S. **Incorporação do resíduo de areia de macharia regenerada e do resíduo de areia de moldagem na fabricação de tijolos de solo-cimento**. 2014 . 96 f. Dissertação (Mestrado Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Santa Catarina. Disponível em: <[http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UDSC\\_ea4ad70fec8415f51587e24d155ca0bf](http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UDSC_ea4ad70fec8415f51587e24d155ca0bf)>. Acesso em: 22 abr. 2018.

SILVA, J. et al. Análise química e toxicológica de resíduo de areia de fundição. **Técnico-Científica do IF-SC**, v. 2, n. 2, p. 750, 2013. Disponível em: <<http://periodicos.ifsc.edu.br/index.php/rtc/article/view/1301/756>>. Acesso em: 22 abr. 2018.

SOUZA, D. C. de. **Cartografia da Educação Ambiental nas pós-graduações Stricto Sensu Brasileiras (2003-2007): ênfase na pesquisa das áreas de Educação e de Ensino de Ciências sobre formação de professores**. 2010. 233 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática), Londrina. 2010. Disponível em: <[http://www.uel.br/pos/mecem/arquivos/resumo\\_abstract/Daniele%20Cristina%20de%20Souza/danielesouza\\_PECHEM\\_2010.PDF](http://www.uel.br/pos/mecem/arquivos/resumo_abstract/Daniele%20Cristina%20de%20Souza/danielesouza_PECHEM_2010.PDF)>. Acesso em: 10 out. 2018.

TALLINI, V. M. J. **Desenvolvimento de novos materiais cerâmicos a partir de lodo de estações de tratamento de água, micro esferas de baterias e areia de fundição**. 2009. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais) – Universidade Federal do Paraná, Paraná. Disponível em: <<http://www.pipe.ufpr.br/portal/defesas/dissertacao/163.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2018.

TEIXEIRA, C. E. **Ensaio de tratabilidade de resíduo sólido – areia fenólica: isolamento, identificação e seleção de fungos filamentosos**. 1993. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/258492>>. Acesso em: 17 mai. 2018.

TOLEDO, E. B. S. **Método de utilização de areia de fundição e resíduos de poeira de jateamento (micro esferas de vidro) para produzir cerâmica vermelha**. 2006. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. Disponível em: <<http://www.pipe.ufpr.br/portal/defesas/dissertacao/115.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2018.

THEBES BOMBAS HIDRÁULICAS. **Thebe** – divisão fundição. São Paulo, 2018. Disponível em: <<http://m.thebe.com.br/a-thebe/a-fundicao>>. Acesso em: 21 ago. 2018.

VARGAS, A. S. et al. Argamassas geopoliméricas à base de cinzas volantes álcali-ativadas contendo areia de fundição. **Cerâmica**, v. 61, n. 359, p. 317-322, 2015. Disponível em: <[www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0366-69132015000300317&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132015000300317&lng=en&tlng=en)>. Acesso em: 24 abr. 2018.

VECCIO, F. J. C. D. **Influência da taxa de carregamento nas propriedades mecânicas do concreto polimérico**. 2011. 73 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal Fluminense, Niterói. Disponível em: <<http://www.mec.uff.br/pdfteses/FilipeJoseCamargoDelVecchio2011.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2018.

WATANABE, F. A. **Estudo sobre a utilização de areia de fundição residual como agregado na confecção de pavimentos de concreto**. 2004. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville. Disponível em: <<http://tede.udesc.br/handle/tede/1649>>. Acesso em: 21 set. 2018.

WESSELING, D. H. **Estudo do comportamento mecânico de misturas em concreto asfáltico com incorporação de resíduos industriais**. 2005. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/7133>>. Acesso em: 21 set. 2018.

## APÊNDICE A – ARTIGO PARA PUBLICAÇÃO NA REVISTA TRANSPORTES

### Reaproveitamento de areia de fundição em pavimentos como objeto de estudos nos Programas *Stricto Sensu* no Brasil

#### RESUMO

A areia é um material muito utilizado no processo de fundição, por ainda estar presente em grande quantidade no meio ambiente. Quando resíduo, torna-se um problema de ordem econômica e ambiental. O objetivo do estudo é mapear a produção do conhecimento em relação ao resíduo sólido industrial areia de fundição nos programas *Stricto Sensu* no Brasil (período 1987-2016) com destaque ao reaproveitamento desse resíduo na produção de pavimentos. Foram analisadas as produções localizadas no catálogo da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo uso da expressão “areia de fundição”. As produções resultantes desse estudo são realizadas desde a década de 90 e apresentaram-se com interesse crescente. As regiões Sul e Sudeste apresentaram maior produção relacionada ao tema, destacando-se o uso desse resíduo como matéria-prima na fabricação de produtos da construção civil, comprovando viabilidade técnica, ambiental.

**Palavras-chave:** Areia de fundição. Programas de Pós-Graduação *Stricto Sensu*. Resíduos sólidos. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

#### ABSTRACT

Sand is a widely used material in the casting process because it is still present in large quantities in the environment. When waste, it becomes a problem of economic and environmental order. The objective of the study is to map knowledge production in relation to solid industrial sand casting in the *Stricto Sensu* programs in Brazil (period 1987-2016), with emphasis on the reuse of this residue in the production of pavements. The productions located in the catalog of the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, by the use of the expression "casting sand", were analyzed. The productions resulting from this study have been carried out since the 90's and presented with growing interest. The South and Southeast regions presented higher production related to the theme, highlighting the use of this residue as raw material in the manufacture of civil construction products, proving technical, environmental feasibility.

**Keywords:** Casting sand. *Stricto Sensu* Graduate Programs. Solid waste. Coordination of Improvement of Higher Level Personnel.

#### 1. INTRODUÇÃO

O processo de fundição é uma técnica antiga conhecida na área da metalurgia. Kondic (1973) afirma que a fundição consiste na fusão e no vazamento de metais em moldes para a fabricação de peças com formas e dimensões conhecidas. Por ainda estar presente em grande quantidade no meio ambiente, a areia torna-se um material de custo baixo para a fabricação dos moldes, podendo ser utilizada nas mais variadas composições. De acordo com a Associação Brasileira de Fundição (ABIFA, 2008a), de toda produção de fundidos, mais de 80% dos produtos fabricados, utilizam moldes de areia, os quais também são compostos de água, aditivos orgânicos e/ou bentonitas. Conforme a Norma ABNT NBR 10.004, o resíduo areia de fundição é classificado como resíduo Classe II A, ou seja, não inerte. (ABNT 2004)

Esse resíduo, quando destinado incorretamente, como a sua disposição em “lixões” ou aterros sanitários para resíduos classe II, pode ocasionar impactos ambientais como a contaminação de solos, por exemplo, pois, segundo Klinsky (2008), após o uso destes moldes, a areia de fundição tende a estar contaminada por elementos e compostos químicos, como: arsênio, bário, cádmio, chumbo, cloretos, fenóis, fluoretos, mercúrio, sódio e surfactantes. Ainda, mesmo que o resíduo areia de fundição seja destinado para aterros industriais, ainda há o custo de descarte de um material que não será mais reaproveitado, sendo este um recurso mineral natural. Desta forma o processo não produz um resultado sustentável, no âmbito econômico e ambiental, havendo a necessidade de buscar outros meios de destino final desse resíduo, como reaproveitamento ou descontaminação. Em casos de reaproveitamento da areia de fundição, as empresas colaboram para a minimização no uso de recurso natural, o aumento

da vida útil de aterros industriais e, consequentemente, reduzir o custo final do processo de fundição.

Nesse sentido, é importante mapear a produção do conhecimento em relação ao resíduo sólido industrial areia de fundição nos programas *Stricto Sensu* no Brasil, possibilitando a análise das diferentes contribuições acadêmicas em suas distintas áreas de conhecimento. Em síntese, busca-se analisar melhores alternativas de tratamento e ou reaproveitamento do resíduo a partir das pesquisas acadêmicas.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

Nos subcapítulos seguintes são apresentadas referências que abordam temas sobre os impactos ambientais causados no descarte da areia de fundição, as opções de uso para o resíduo areia de fundição, e algumas legislações aplicáveis ao tema.

### **2.1. Impactos ambientais da areia descartada de fundição**

Conforme ABIFA (2015), é estimada uma geração de três milhões de toneladas de Areia Descartada de Fundição (ADF) por ano, no Brasil, sendo desta geração, 600 mil toneladas provenientes do estado de Santa Catarina. Colaborando com esta afirmação, a FIEMG (2018), confirma que os resíduos sólidos, atualmente, são os problemas mais significativos, em relação ao meio ambiente, sendo que a maioria desses resíduos são as areias utilizadas na confecção de moldes e machos.

De acordo com ABIFA (2008a), o Coordenador de Soluções ADF, Fábio Garcia Filho, comenta que o envio do resíduo areia de fundição para aterros industriais, é a opção menos favorável, tanto para as empresas geradoras deste resíduo como para o meio ambiente, pois

- 1) Elimina toda e qualquer possibilidade de reciclagem e ou reutilização das ADFs que são o resíduo industrial de maior volume do Brasil.
- 2) Diminui significativamente a vida útil dos aterros industriais, fazendo com que novos sejam criados.
- 3) Torna as empresas reféns de fornecedores, um mercado onde não há concorrência na grande maioria dos casos e existe o risco das fundições serem responsabilizadas no caso de um acidente.
- 4) Causa um impacto socioambiental enorme, com fretes de longas distâncias. (ABIFA, 2008a, p. 67).

Além disso, é sabido que a areia descartada de fundição, assim como outros resíduos, se não disposta em locais ambientalmente adequados e controlados, pode ocasionar em passivos ambientais. Ainda, ABIFA (2008a) comenta que o uso das areias descartadas de fundição como matéria-prima na fabricação de outros produtos pode trazer benefícios ao meio ambiente, onde há a minimização da utilização de areia de rios e cavas e, segundo o autor, aproximadamente 90% desse resíduo pode ser reciclado e ou reutilizado, pois não há a contaminação do solo e da água por meio desse quando bem gerenciado (ABIFA, 2008b). Também, os resultados dos estudos realizados por Quissini (2009), Domingues (2015), Pinto (2013), Manoharan et al. (2018), Martins (2016), Mastella (2013), Vargas et al. (2015), Rufino e Galdino (2015), Klinsky (2008), Klinsky (2013), Coutinho e Fabbri (2005), Queiroz (2014), Correia (2015) e Martin (2017) demonstram formas possíveis de reaproveitamento, reciclagem e tratabilidade do resíduo areia de fundição.

### **2.2. Legislações aplicáveis a areia descartada de fundição (ADF)**

Em agosto de 2008, foi originada em Santa Catarina, a Resolução CONSEMA nº 11/2008 a qual “estabelece critérios para a utilização da Areia Descartada de Fundição de materiais ferrosos na produção de concreto asfáltico e artefatos de concreto sem função estrutural” (CONSEMA, 2008, p. 1).

Em 2009, foi criada pelo Comitê ABNT/CB-059, a norma técnica ABNT NBR 15.702:2009, a qual define diretrizes sobre a aplicação da areia descartada de fundição como matéria-prima em asfaltos e cobertura de aterros sanitários. Segundo Quissini (2009, p. 44),

a criação desta norma específica sobre a ADF é inédita no Brasil, pois dentre todas as Normas ABNT sobre resíduos nenhuma delas incentiva ou fornece diretrizes a respeito da aplicação de resíduos que é o ponto primordial nas legislações estaduais sobre resíduos sólidos.

Por conseguinte, em 2013, o estado de Santa Catarina, determinou a Resolução CONSEMA nº 26/2013, que “estabelece as diretrizes sobre a utilização das Areias Descartadas de Fundição – ADF e adota outras providências” (CONSEMA, 2013, p. 1). A premissa desta resolução é de poder contribuir com um desenvolvimento sustentável, combinando os membros dos pilares da sustentabilidade, como o econômico, o social e o ambiental.

De acordo com o art. 4º desta Resolução, “a utilização de forma criteriosa da ADF contribuirá para o aumento da vida útil dos aterros sanitários e industriais, bem como para a preservação de recursos naturais” (CONSEMA, 2013, p. 1), sendo o seu objetivo (e complementando a Resolução CONSEMA nº 11/2008) poder definir critérios para o uso do resíduo areia de fundição em diferentes obras civis, como na produção de base, sub-base e reforço de subleito em execuções de estradas e rodovias, entre outras atividades.

### 3. METODOLOGIA

Para realizar a pesquisa dos trabalhos produzidos nos programas de pós-graduação *Stricto Sensu* do Brasil foi acessado o Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES (CAPES, 2018). Desta forma, no campo de busca, que aparece na tela do computador, foi digitado, entre aspas, a expressão: “areia de fundição”. A partir dos resultados constantes no sistema da CAPES, foi possível utilizar os filtros disponíveis, como ano e local de publicação, área do conhecimento, entre outros. Em relação ao período de análise da pesquisa, este foi de 1987 (primeiro ano de registro dos programas de pós-graduação da CAPES) até 2016.

A partir destes filtros foram produzidas tabelas, afim de avaliar e comparar os estudos existentes em relação ao resíduo areia de fundição nos programas de pós-graduação da CAPES. Desta forma, avaliou-se o histórico das pesquisas relacionadas a este tema, ou seja, a partir de que ano se tem registro de trabalhos de mestrados e doutorados referentes a este assunto, quais as áreas do conhecimento que mais possuem interesse, qual a região brasileira e suas respectivas instituições de ensino e qual a linha de estudo mais pesquisada relacionada a esse tema, caracterizando uma pesquisa de Estado da Arte. Também, verificou-se as tendências quanto as técnicas e tecnologias relacionadas ao reaproveitamento do resíduo areia de fundição e da sua destinação final.

Para a realização do estudo, inicialmente foi analisado o título, o resumo e as palavras-chave de cada uma das produções resultantes, encontradas durante a pesquisa no catálogo da CAPES, através da expressão “areia de fundição” utilizada para a busca (para os trabalhos que estiverem disponíveis na Plataforma Sucupira ou no endereço eletrônico da instituição de origem do mesmo). Após, foi verificado se a abordagem dos estudos era referente ao resíduo areia de fundição, pois somente estes foram levados em consideração durante a análise.

### 4. RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados da pesquisa. Neles, são descritas as produções nos programas *Stricto Sensu*, sobre o resíduo areia de fundição, em especial sua aplicação.

#### 4.1. Produções encontradas com a expressão “areia de fundição”

Durante a pesquisa realizada, até o dia 17 de maio de 2018, no Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES, utilizando a expressão areia de fundição, entre aspas, foram encontrados 61

resultados de produções dos programas *Stricto Sensu* do Brasil. Ao utilizar os filtros disponíveis no Catálogo da CAPES, é possível constatar o total de sete produções no Doutorado, sete produções de Mestrado Profissional e 47 produções de Mestrado Acadêmico (Tabela 1).

**Tabela 1** – Produções, contendo a expressão “areia de fundição”, por modalidade de curso encontradas nos programas *Stricto Sensu* do Brasil (período 1987-2016).

| Ano          | Teses    | Dissertações |               | Total     |
|--------------|----------|--------------|---------------|-----------|
|              |          | Acadêmicas   | Profissionais |           |
| 1987-1992    | -        | -            | -             | -         |
| 1993         | -        | 1            | -             | 1         |
| 1994         | -        | -            | -             | -         |
| 1995         | -        | -            | -             | -         |
| 1996         | -        | 1            | -             | 1         |
| 1997         | -        | 1            | -             | 1         |
| 1998         | -        | -            | -             | -         |
| 1999         | 1        | -            | -             | 1         |
| 2000         | 1        | 1            | -             | 2         |
| 2001         | -        | -            | -             | -         |
| 2002         | -        | -            | 1             | 1         |
| 2003         | -        | 1            | 1             | 2         |
| 2004         | 1        | 4            | -             | 5         |
| 2005         | -        | 9            | -             | 9         |
| 2006         | -        | 2            | 1             | 3         |
| 2007         | 1        | 4            | -             | 5         |
| 2008         | 1        | 2            | -             | 3         |
| 2009         | -        | 2            | -             | 2         |
| 2010         | -        | 2            | -             | 2         |
| 2011         | -        | 3            | -             | 3         |
| 2012         | -        | 4            | 1             | 5         |
| 2013         | 1        | 4            | 1             | 6         |
| 2014         | -        | 3            | -             | 3         |
| 2015         | -        | 1            | 1             | 2         |
| 2016         | 1        | 2            | 1             | 4         |
| <b>Total</b> | <b>7</b> | <b>47</b>    | <b>7</b>      | <b>61</b> |

Ao observar os dados constados na Tabela 1, verifica-se que o resíduo areia de fundição é objeto de estudo a partir do início da década de 90 do século passado, tendo o primeiro registro de publicação pelo Catálogo da CAPES em 1993 (Teixeira, 1993). Também é possível constatar que o interesse em estudar sobre a areia descartada de fundição (ADF) é contínuo, tendo todos os anos, no mínimo uma publicação, desde 2003 até 2016. Além disso, percebe-se também que este interesse obteve um crescimento, principalmente no ano 2005, em que foi constatado o ano com o maior número de publicações, sendo nove ao total.

Acredita-se que este crescimento ocorre juntamente com o aumento da sensibilização ambiental na academia, no sentido de produzir conhecimento sobre a minimização de impactos ambientais, já que a areia de fundição é um resíduo gerado em grandes quantidades e não proporciona, em geral, resultados sustentáveis para as empresas de fundição. Além de gerar impactos ambientais, quando esta areia é destinada para aterros industriais, devido sua grande quantidade, também gera custos elevados às empresas para a sua disposição final.

#### 4.2. Análise da abordagem dos estudos em relação a areia de fundição

Do total de 61 produções, 41 relacionam o resíduo areia de fundição com a sua aplicação como matéria-prima na fabricação de diferentes produtos, relacionando com o estudo de toxicidade do resíduo e os impactos que ele causa no meio ambiente, com a minimização da geração deste

resíduo, com a regeneração do mesmo e sobre a viabilidade econômica do seu uso por diferentes meios.

Dos demais estudos apresentados no Catálogo da CAPES, 13 não foram localizados na Plataforma Sucupira e no endereço eletrônico das suas respectivas instituições. Além destes, houveram sete estudos em que foi possível constatar que não possuem seu tema relacionado ao resíduo areia de fundição, mas com a areia de fundição virgem ou areias em geral. Portanto, no total, 41 dos 61 resultados encontrados no Catálogo da CAPES são analisados.

#### **4.3. Análise das produções com abordagem do resíduo areia de fundição por instituições de ensino superior**

A partir das 41 produções encontradas e que desenvolveram sua pesquisa, abordando o resíduo areia de fundição, foi possível realizar o levantamento das Instituições de Ensino Superior (IES) em que elas foram desenvolvidas, através do uso dos filtros disponíveis no Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES. Desta forma constata-se que, o interesse é maior na região Sul e Sudeste do Brasil, enquanto as regiões Centro-Oeste, Nordeste e Norte, não apresentaram pesquisas relacionadas ao tema.

Também constatou-se que a região Sul apresentou um total de 26 produções relacionadas ao tema, sendo elas desenvolvidas em nove IES distintas: no estado de Santa Catarina (quatro – Universidade do Estado de Santa Catarina, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Universidade Federal de Santa Catarina e Universidade da Região de Joinville), no Rio Grande do Sul (três – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Fundação Universidade de Passo Fundo e Universidade de Santa Cruz do Sul) e no Paraná (duas – Universidade Federal do Paraná e Universidade Tecnológica Federal do Paraná). A Universidade do Estado de Santa Catarina apresentando o maior número de produções (10), seguida pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (quatro) e pela Universidade do Extremo Sul Catarinense (três).

Já na análise das produções na região Sudeste, observa-se um total de 15 produções, sendo desenvolvidas em 10 IES diferentes: no Estado de São Paulo (seis – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia em São Carlos da Universidade de São Paulo, Universidade Estadual de Campinas, Escola de Engenharia de Limeira da Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo e Universidade Presbiteriana Mackenzie, ), em Minas Gerais (duas – Universidade Federal de Minas Gerais e Universidade Federal de Itajubá) e no Rio de Janeiro (duas – Instituto Militar de Engenharia e Universidade Federal Fluminense). Desta forma, São Paulo apresentou o total de 11 produções, seguindo de Minas Gerais e Rio de Janeiro, cada estado apresentando o total de duas publicações.

#### **4.4. Análise das produções por áreas do conhecimento**

Na análise em relação entre as produções encontradas e suas áreas do conhecimento, obtida pelo uso dos filtros disponíveis no Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES, verificou-se que a área do conhecimento, a qual apresenta maior interesse em estudar o resíduo areia de fundição é Engenharia de Materiais e Metalúrgica, tendo 15 produções no total, seguida pelas áreas Engenharia Sanitária e Engenharia Civil, cada uma com o total de cinco produções e pela Engenharia de Transportes com quatro produções. Já, as demais áreas do conhecimento encontradas apresentam um número inferior de produções.

Desta forma, é possível observar que o interesse em estudar o resíduo areia de fundição em Santa Catarina é maior nas áreas do conhecimento de Engenharia de Materiais e Metalúrgica e de Engenharia Sanitária. No Rio Grande do Sul, o maior interesse em abordar esse tema recai nas áreas de Engenharia de Materiais e Metalúrgica e de Engenharia Civil, enquanto para o estado de São Paulo o interesse maior é demonstrado na área de Engenharia Civil.

#### 4.5. Análise das produções por aplicações da areia descartada de fundição abordadas nos estudos pesquisados

A partir da leitura do título, resumo e das palavras-chaves de cada estudo, verificou-se qual a abordagem estudada sobre a ADF para observar quais as pesquisas mais realizadas em relação a este resíduo (Tabela 2).

**Tabela 2** – Abordagem da ADF realizada nos estudos resultantes da pesquisa, no período 1987-2016.

| <b>Abordagem da ADF</b>                                 | <b>Estudos produzidos</b> | <b>(%)</b> |
|---------------------------------------------------------|---------------------------|------------|
| Uso como matéria-prima em diferentes fabricações        | 29                        | 70,73      |
| Práticas de regeneração e tratabilidade                 | 6                         | 14,63      |
| Impacto ambiental                                       | 3                         | 7,32       |
| Caracterização do perfil ambiental das fontes geradoras | 2                         | 4,88       |
| Diagnóstico e prognóstico do setor de fundição          | 1                         | 2,44       |
| <b>Total</b>                                            | <b>41</b>                 | <b>100</b> |

Desta forma, observando-se a Tabela 2, é possível constatar que mais de 70% das produções desenvolvidas pesquisaram a ADF como sendo matéria-prima para a fabricação de diferentes produtos. Assim sendo, é possível perceber o interesse dos acadêmicos em reaproveitar o resíduo da fundição, para que este não seja considerado como rejeito, tendo sua disposição final em aterro industrial. Da mesma maneira, essa abordagem (70,73%), também pode ser relacionada com o interesse das indústrias de fundição em reduzir o custo de descarte desse resíduo, uma vez que a geração do mesmo é significativa na indústria brasileira.

Em relação da abordagem da aplicação da ADF como matéria-prima, diferentes aplicações encontradas na pesquisa (Tabela 3).

**Tabela 3** – Aplicações da ADF como matéria-prima abordadas nos estudos resultantes da pesquisa, no período 1987-2016.

| <b>Usos da ADF como matéria-prima</b>       | <b>Estudos produzidos</b> | <b>(%)</b> |
|---------------------------------------------|---------------------------|------------|
| Cerâmica / Fritas cerâmicas / Vitrocerâmico | 9                         | 31,03      |
| Pavimento / Mistura asfáltica               | 8                         | 27,59      |
| Concreto                                    | 6                         | 20,69      |
| Cimento / Solo-cimento                      | 4                         | 13,79      |
| Argamassa                                   | 1                         | 3,45       |
| Uso na construção civil e na agricultura    | 1                         | 3,45       |
| <b>Total</b>                                | <b>29</b>                 | <b>100</b> |

A maioria dos estudos voltados para a pesquisa em utilizar a ADF como matéria-prima, está relacionada a fabricação de cerâmicas, fritas cerâmicas e vitrocerâmicos, bem como de pavimentação e misturas asfálticas. Ambas as abordagens apresentaram, nove e oito produções, respectivamente, das 29 classificadas como “Uso como matéria-prima em diferentes fabricações” na Tabela 2, representando, portanto, aproximadamente 31% e 28% destes estudos.

Este dado pode ser relacionado ao uso de areias em geral que são utilizadas na confecção de produtos desta área, uma vez que todos os produtos apresentados na Tabela 3 necessitam de areia para sua produção. Assim sendo, o uso da ADF como matéria-prima na confecção destes produtos, além de minimizar o transporte desse resíduo para aterros industriais, e reduzir os custos das indústrias de fundição com o descarte do mesmo, também pode auxiliar na área da construção civil. Isto, porque reduz o consumo do recurso natural areia virgem e, consequentemente, reduz o custo das empresas da área de construção civil na aquisição da areia.

#### 4.5.1 *Uso da ADF como matéria-prima na produção de pavimento e misturas asfálticas*

Do total de estudos que abordaram o uso da areia descartada de fundição (ADF) como matéria-prima na produção de pavimento e misturas asfálticas, dois foram produzidos na região Sul, sendo ambos em Santa Catarina, enquanto seis foram na região Sudeste, sendo cinco no estado de São Paulo e um no estado do Rio de Janeiro.

Dos estudos realizados em Santa Catarina, ambos foram produzidos em 2004, um por Pereira e outro por Watanabe. Pereira (2004) analisou a incorporação da ADF na confecção de matriz asfáltica, desenvolvendo diferentes corpos de prova, sendo o primeiro fabricado com o resíduo areia de fundição, o segundo e o terceiro com areia de rio e brita contendo a ADF, o quarto contendo concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) com o resíduo areia de fundição e o quinto com CBUQ sem o resíduo. Pereira (2004) avaliou tanto as propriedades mecânicas de interesse para verificar a qualidade das amostras, bem como realizou testes de lixiviação, solubilização e massa bruta. Assim, sob o ponto de vista das propriedades mecânicas, massa bruta e lixiviação, os resultados obtidos pelo autor foram satisfatórios. No entanto, como resultado do teste de solubilização foram encontrados parâmetros de fenol e alumínio acima dos limites máximos estabelecidos pela norma, podendo apenas ser utilizada a mistura contendo 15% de ADF e 85% de areia de rio. Deste modo, para que seja possível a produção de matriz asfáltica com maiores concentrações do resíduo areia de fundição, Pereira (2004) recomenda que, para a utilização do mesmo, devem ser realizadas avaliações laboratoriais mais adequadas, por um rigoroso acompanhamento experimental, em que haja a construção de um pavimento a partir desta matriz, sob condições controladas, para que seja possível analisar os impactos ambientais.

Watanabe (2004), desenvolveu seu estudo na Universidade do Estado de Santa Catarina, em que elaborou corpos de prova para pavimentos de concreto, com a incorporação deste resíduo. Desta forma, o autor observou as propriedades mecânicas, as características microestruturais, através de processo de vibração e de vibro-compressão, e as características ambientais, através de ensaios de lixiviação, solubilização e análise de massa. Observando seus corpos de prova, Watanabe (2004) percebeu que, dos pavimentos fabricados com vibração, o aumento na concentração de ADF tende a reduzir a resistência mecânica do produto, enquanto que os produzidos por vibro-compressão, o aumento da incorporação deste resíduo tende a aumentar a resistência mecânica.

Em relação as análises microestruturais, Watanabe (2004) constatou que, dos pavimentos produzidos apenas com vibração, o resíduo areia de fundição tende a aumentar a área de vazios e de cristais de  $\text{Ca(OH)}_2$ , enquanto para os produzidos através da vibro-compressão, não há a formação de áreas de vazios (exceto a questão de porosidade) e de precipitados de cristais  $\text{Ca(OH)}_2$ . Sendo assim, Watanabe (2004) destaca que a resistência mecânica possui melhor qualidade para pavimentos, produzidos com a ADF, por meio de vibro-compressão. Em relação aos resultados de lixiviação, solubilização e da análise de massa, os quais estiveram dentro dos limites estabelecidos pelas normas, a incorporação do resíduo na fabricação deste produto é ambientalmente e tecnicamente viável, uma vez que as propriedades mecânicas e as características microestruturais, bem como as ambientais, obtiveram resultados positivos.

Dos cinco estudos realizados no estado de São Paulo, todos foram produzidos em diferentes anos. Klinsky (2008) e Klinsky (2013), por exemplo, desenvolveu, na Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, sua dissertação em 2008 e sua tese em 2013, em que ambas tiveram como abordagem a incorporação do resíduo areia de fundição na fabricação de sub-bases, bases e camadas de pavimentos. Em ambos estudos (Klinsky 2008 e Klinsky 2013), concluiu-se que é ambientalmente e tecnicamente viável o uso de ADF na confecção de camadas de pavimentos, mas o mesmo recomenda que, para obter resultados mais

seguros, haja a construção de trechos experimentais, para monitorar as propriedades mecânicas do produto bem como os impactos ambientais que o mesmo pode ocasionar.

Ainda sobre as produções desenvolvidas no estado de São Paulo, Bittencourt (2012) estudou, na Escola de Engenharia de Limeira da Universidade Estadual de Campinas, a resistência à compressão de *pavers* confeccionados com ADF e agregados de resíduos de construção e demolição. Para tanto, na forma de blocos, o autor desenvolveu os *pavers* para seu estudo, e analisou as propriedades mecânicas após 28 dias da produção dos mesmos. Assim, Bittencourt (2012) concluiu que as melhores propriedades mecânicas foram apresentadas no *paver* constituinte de 40% de ADF, 40% de areia reciclada e 20% de brita reciclada. Bittencourt (2012), considerou fisicamente viável o uso destes resíduos, nestas concentrações, para a fabricação de *pavers*, quanto à resistência à compressão.

Já Coutinho (2004) avaliou, na Escola de Engenharia de São Carlos na Universidade de São Paulo, a incorporação do resíduo areia de fundição na produção de misturas asfálticas densas. Desta forma, Coutinho, desenvolveu amostras de misturas asfálticas densas, contendo 5%, 10% e 15% de ADF e realizou ensaios de dano por umidade induzida, cântabro, dosagem Marshall, resistência a tração, módulo de resiliência, fluência estática, lixiviação e solubilização. Ao fim de seu estudo, Coutinho (2004) verificou que, para todas as concentrações dos resíduos, as propriedades mecânicas analisadas apresentaram resultados satisfatórios, sendo que a mistura contendo 10% de ADF apresentou-se menos susceptível a envelhecimento, em relação ao módulo de resiliência, quando comparada com a amostra contendo 10% de areia virgem. Nos ensaios de lixiviação e solubilização, realizados na mistura com 15% do resíduo, os resultados também foram positivos, tendo todos os componentes químicos analisados dentro dos limites exigidos pelas normas, concluindo, portanto, que o uso deste resíduo na produção de misturas asfálticas densas, produzidas nas condições analisadas, é viável tecnicamente e ambientalmente.

O estudo de Bina (2002), desenvolvido no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, não foi realizado através de amostras em escala laboratorial, mas por um teste de campo em um recapeamento urbano, utilizando o resíduo areia de fundição abaixo da capa asfáltica (camada superior de desgaste). Para tanto, Bina (2002) desenvolveu a composição de 65% de ADF para a lama asfáltica, 12% de emulsão asfáltica RL (baixa relaxação), 22% de água e 1% de cimento Portland comum, sendo que a ADF substituiu 100% do uso de areia convencional.

Deste modo, Bina (2002) realizou análises químicas de águas de poços coletores, posicionados em locais de acúmulo de água no trecho do teste de pavimentação, a partir de 30, 60 e 90 dias após o recapeamento, sendo os resultados destas amostras dentro dos limites estabelecidos em norma. Também foram realizados teste de lixiviação e solubilização pelo autor e, segundo Bina (2002), apesar dos resultados do teste de solubilização apenas da ADF serem superiores aos limites permitidos para os elementos químicos Mn, Fe, Al e Cr, os mesmos apresentaram limites inferiores quando realizado o teste de solubilização com amostras da lama asfáltica contendo o resíduo areia de fundição. Assim, o autor comenta que, possivelmente, a mistura da emulsão asfáltica, do cimento e da água, juntamente com a ADF, auxiliou para a redução da concentração destes elementos químicos. Por fim, ao término de seu estudo, Bina (2002) concluiu que a incorporação deste resíduo para preencher o espaço abaixo da capa asfáltica é ambientalmente viável.

O estudo realizado no Instituto Militar de Engenharia, no Rio de Janeiro, foi produzido por Costa (2008), onde desenvolveu uma mistura asfáltica, do tipo concreto asfáltico, com a incorporação do resíduo areia de fundição de ferro, em concentrações de 8% e 10%. Assim, o autor realizou ensaios como dosagem Marshall, módulo de resiliência, vida de fadiga, resistência à tração por compressão, lixiviação e solubilização.

Apesar, como comentado no estudo de Costa (2008), da Prefeitura Municipal de Extrema (local onde o estudo foi realizado) não recomendar o uso da ADF em pavimentos, devido a ausência de controle tecnológico, Costa (2008) verificou em suas análises que os resultados obtidos por ele apresentaram comportamentos mecânicos similares as misturas de concreto asfáltico convencionais, além de evidenciar que, os testes de solubilização e lixiviação, as misturas contendo 8% e 10% do resíduo areia de fundição de ferro caracterizaram o mesmo como resíduo Classe II-B (não perigoso e inerte). Além deste teste, Costa (2008) também realizou ensaios instituídos no Procedimento de Gerenciamento de Areia de Fundição da CETESB N° 152/2007 (CETESB, 2007), em que observou que todos os requisitos foram atendidos, sendo ambientalmente viável o uso deste resíduo na fabricação de misturas asfálticas do tipo concreto asfáltico.

Assim, observa-se que, dos nove estudos encontrados no Catálogo da CAPES durante esta pesquisa, os quais avaliaram o uso do resíduo areia de fundição na fabricação de produtos asfálticos, concluíram ser viável, ambientalmente e tecnicamente, este uso, desde que produzido nas condições analisadas pelos autores.

## 5. CONCLUSÕES

Estudos dessa natureza são importantes para analisar as evidências e afinidades nas produções dos Programas *Stricto Sensu* no Brasil, como também fornecer subsídios para as indústrias geradoras do resíduo areia de fundição no sentido de identificar diferentes possibilidades de reaproveitamento desse resíduo. O estudo realizado evidenciou que as pesquisas acadêmicas, em relação ao resíduo areia de fundição, são realizadas desde a década de 90 e, nos últimos anos, apresentaram-se com interesse crescente, uma vez que, em todos os anos, no período de 2004 a 2016, foram identificadas pesquisas que abordaram esse tema. Na análise realizada no endereço eletrônico da CAPES percebe-se as regiões que mais apresentaram teses e dissertações relacionadas com o tema areia descartada de fundição (ADF). Do mesmo modo, dessas regiões as academias que apresentaram a maior quantidade de estudos relacionados a esse tema foram as localizadas no Estado de São Paulo e Santa Catarina, como a Universidade de São Paulo (incluindo a Escola de Engenharia de São Carlos) e a Universidade do Estado de Santa Catarina.

Possivelmente isso é devido ao fato de, no caso de São Paulo, ser o Estado com o maior número de habitantes do país, de acordo com o último censo realizado (IBGE, 2018), sendo um local de grande giro de capital, de concentração de empresas e instituições de ensino. No caso de Santa Catarina, explica-se pelo alto índice de geração do resíduo areia de fundição, como confirmado pela Associação Brasileira de Fundição (ABIFA, 2015), a qual comenta que, da estimativa de três milhões de toneladas da geração desse resíduo no Brasil, 600 mil toneladas são originárias de Santa Catarina. Ainda corroborando, Santa Catarina, diferentemente de outros estados, já apresenta resoluções que abordam especificamente as areias descartadas de fundição, como a CONSEMA n° 11/2008 (CONSEMA, 2008) e a CONSEMA n°26/2013 (CONSEMA, 2013).

Em relação as áreas do conhecimento, destaca-se que as que apresentaram o maior número de publicações referentes a este tema foram: Engenharia de Materiais e Metalúrgica, Engenharia Sanitária e Engenharia Civil. Ainda, esse estudo demonstrou que, todas as produções analisadas obtiveram resultados que comprovaram viabilidade técnica e ambiental.

Também o estudo mostrou que o uso da ADF como matéria-prima na fabricação de produtos da construção civil foi o tema mais pesquisado nas produções acadêmicas analisadas, sendo esses produtos diversificados, mas em sua maioria, artefatos como pavimento e misturas asfálticas. Em todas essas produções, foram realizados experimentos laboratoriais para a realização das análises, exceto o trabalho de Bina (2002), que desenvolveu seu teste em uma área de recapeamento.

Por fim, como recomendações para estudos futuros, sugere-se que, analisem o uso do resíduo areia de fundição em relação não somente a viabilidade econômica e a ambiental, mas também a social, uma vez que esse tripé pode relacionar o aproveitamento do resíduo com a sua sustentabilidade, fornecendo produtos de pavimentações com boa qualidade e de acesso a população de baixa renda. Também, é sugerido que em estudos futuros, sejam desenvolvidas comparações entre as produções dos programas de pós-graduação *Stricto Sensu* do Brasil com pesquisas relacionadas ao mesmo tema que tenham sido desempenhadas em outros países (banco de teses internacional e Bases de Dados).

## REFERÊNCIAS

- ABIFA. Associação Brasileira de Fundição (2008a) ADF – Soluções para areias descartadas com o trabalho da ABIFA. ABIFA. p. 66-69. Disponível em: <[http://www.solucoesadf.com.br/img\\_paginas/ARTIGO\\_SITUACAO\\_ADF\\_REVISTA\\_JUNHO\\_2008.pdf](http://www.solucoesadf.com.br/img_paginas/ARTIGO_SITUACAO_ADF_REVISTA_JUNHO_2008.pdf)>. Acesso em: 14 de Abril de 2018.
- ABIFA. Associação Brasileira de Fundição (2008b) A 3ª geração dos depósitos de areias descartadas de fundição - ADF. ABIFA. Disponível em: <[http://www.solucoesadf.com.br/img\\_paginas/artigo\\_revista\\_01008.pdf](http://www.solucoesadf.com.br/img_paginas/artigo_revista_01008.pdf)>. Acesso em: 14 de Abril de 2018.
- ABIFA. Associação Brasileira de Fundição (2015) Fundição & Matérias-primas. ABIFA. ano XVIII, 186. ed. Disponível em: <<http://abifa.org.br/wp-content/uploads/2016/01/Abifa-186-Novembro.pdf>>. Acesso em: 16 de Abril de 2018.
- ABNT (2004) *NBR 10.004: Resíduos Sólidos – Classificação*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.
- ABNT (2009) *NBR 15.702: Areias descartadas de fundição – aplicações em asfalto e em aterro sanitário*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.
- BINA, P. (2002) *Metodologia de utilização de rejeitos industriais na pavimentação: estudo de caso de uso de areia de fundição*. Dissertação de mestrado. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <[http://www.ipt.br/pos\\_graduacao\\_ipt/solucoes/dissertacoes/375metodologia\\_de\\_utilizacao\\_de\\_rejeitos\\_industriais\\_na\\_pavimentacao:\\_estudo\\_de\\_caso\\_de\\_uso\\_de\\_areia\\_de\\_fundicao.htm](http://www.ipt.br/pos_graduacao_ipt/solucoes/dissertacoes/375metodologia_de_utilizacao_de_rejeitos_industriais_na_pavimentacao:_estudo_de_caso_de_uso_de_areia_de_fundicao.htm)>. Acesso em: 21 de Setembro de 2018.
- BITTENCOURT, S. F. (2012) *Avaliação da resistência à compressão de pavers produzidos com agregados de resíduos de construção e demolição e areia de fundição*. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas, São Paulo. Disponível em: <[http://taurus.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/267789/1/Bittencourt\\_SarahFerreira\\_M.pdf](http://taurus.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/267789/1/Bittencourt_SarahFerreira_M.pdf)>. Acesso em: 21 de Setembro de 2018.
- CAPES. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (2018) *Catálogo de Teses e Dissertações*. Disponível em: <[http://sdi.capes.gov.br/banco-de-teses/02\\_bt\\_sobre.html](http://sdi.capes.gov.br/banco-de-teses/02_bt_sobre.html)>. Acesso em: 17 de Maio de 2018
- CONSEMA. Conselho Estadual do Meio Ambiente (2008) *Resolução CONSEMA nº 11/2008: estabelece critérios para a utilização da Areia Descartada de Fundição de materiais ferrosos na produção de concreto asfáltico e artefatos de concreto sem função estrutural*. Santa Catarina. Disponível em: <[http://fundai.sc.gov.br/files/legislacoes/legislacao\\_103.pdf](http://fundai.sc.gov.br/files/legislacoes/legislacao_103.pdf)>. Acesso em: 14 de Abril de 2018.
- CONSEMA. Conselho Estadual do Meio Ambiente (2013) *Resolução CONSEMA nº 26/2013: estabelece as diretrizes sobre a utilização das Areias Descartadas de Fundição – ADF e adota outras providências*. Santa Catarina. Disponível em: <<http://www.sds.sc.gov.br/index.php/biblioteca/consema/legislacao/resolucoes/432-resolucao-consema-no-262013/ file>>. Acesso em: 14 de Abril de 2018.
- CORREIA, C. H. G. (2015) *Reuso de resíduo de areia descartada de fundição (ADF) – uma avaliação técnica e toxicológica do processo de produção de fritas cerâmicas e em escala laboratorial*. Dissertação de mestrado. Universidade da Região de Joinville, Santa Catarina. Disponível em: <[https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id\\_trabalho=3120702](https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=3120702)>. Acesso em: 22 de Abril de 2018.
- COSTA, C. J. B. D. (2008) *Mistura asfáltica com o uso de areia de fundição de ferro descartada*. Dissertação de mestrado. Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro. Disponível em: <[http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select\\_action=&co\\_obra=116068](http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=116068)>. Acesso em: 21 de Setembro de 2018.
- COUTINHO, B. N. (2004) *Avaliação do reaproveitamento de areias de fundição como agregado em misturas asfálticas densas*. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18137/tde-10022011-101639/pt-br.php>>. Acesso em: 22 de Abril de 2018.

- COUTINHO, B. N., FABBRI, G. T. P. (2005) Avaliação da reutilização da areia de fundição em misturas asfálticas densas do tipo CAUQ. *Transportes*, v. XII, p. 50-57. Disponível em: <<https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/139/121>>. Acesso em: 24 de Abril de 2018.
- DOMINGUES, L. G. F. (2015) *Viabilidade ambiental e econômica da utilização de areia descartada de fundição (ADF) na cobertura de aterros sanitários*. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas, São Paulo. Disponível em: <[https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id\\_trabalho=2203586](https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=2203586)>. Acesso em: 21 de Abril de 2018.
- FIEMG. Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (2018) *Guia de boas práticas do setor de fundição*. Disponível em: <<http://www.sifumg.com.br/wp-content/uploads/2016/02/cartilha-de-undicao.pdf>>. Acesso em: 04 de Abril de 2018.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2018). *Cidades IBGE*. São Paulo. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/panorama>>. Acesso em: 09 de Outubro de 2018.
- KLINSKY, L. M. G. (2013) *Avaliação do reaproveitamento de areia de fundição residual em camadas de pavimentos*. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <[https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id\\_trabalho=144592](https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=144592)>. Acesso em: 22 de Abril de 2018.
- KLINSKY, L. M. G. (2008) *Proposta de reaproveitamento de areia de fundição em sub-bases e bases de pavimentos flexíveis, através de sua incorporação a solos argilosos*. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18143/tde-07082008-162426/pt-br.php>>. Acesso em: 22 de Abril de 2018.
- KONDIC, V. (1973) *Princípios metalúrgicos de fundição*. São Paulo: Polígono.
- MANOHARAN, T. et al. (2018) Engineering properties of concrete with partial utilization of used foundry sand. *Waste Management*, v. 71, p. 456-460. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X17307705>>. Acesso em: 14 de Junho de 2018.
- MARTIN, A. C. (2017) *Influência da adição de areia descartada de fundição (ADF) na cor de vidros soda-cal*. 2017. Dissertação de mestrado. Universidade do Estado de Santa Catarina, Santa Catarina. Disponível em: <[https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id\\_trabalho=4811980](https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=4811980)>. Acesso em: 22 de Abril de 2018.
- MARTINS, M. A. B. (2016) *Estudo da viabilidade do uso da areia retida no sistema de exaustão – de uma indústria de autopeças – em concreto convencional*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Itajubá. Disponível em: <[https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id\\_trabalho=4056879](https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=4056879)>. Acesso em: 22 de Abril de 2018.
- MASTELLA, M. A. et al. (2014) Mechanical and toxicological evaluation of concrete artifacts containing waste foundry sand. *Waste Management*, v. 34, 8. ed., p. 1495-1500. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X1400052X>>. Acesso em: 14 de Junho de 2018.
- MONTEIRO, M. M. C. (2013) *Características físicas, químicas e geoquímicas de um depósito de areia descartada de fundição (ADF) e sua implicação ambiental*. Dissertação em mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <[www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44137/tde-03062015-091318/pt-r.php](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44137/tde-03062015-091318/pt-r.php)>. Acesso em: 22 de Abril de 2018.
- NUNES, S. S. (2013) *Impactos ambientais associados ao resíduo areia fenólica usada em uma fundição de pequeno porte*. Dissertação de mestrado. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Rio Grande do Sul. Disponível em: <[https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id\\_trabalho=875413](https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=875413)>. Acesso em: 22 de Abril de 2018.
- PEREIRA, A. (2004) *Estudo da viabilidade técnica e ambiental da incorporação do resíduo areia de fundição em matriz asfáltica*. Dissertação em mestrado. Universidade Regional de Blumenau, Santa Catarina. Disponível em: <[http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/FURB\\_56e30cc2790777085bc3513a37290275](http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/FURB_56e30cc2790777085bc3513a37290275)>. Acesso em: 22 de Abril de 2018.
- PINTO, F. B. (2013) *O uso de areia descartada de fundição (ADF) na produção de concreto*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Itajubá, Minas Gerais. Disponível em: <[https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id\\_trabalho=90039](https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=90039)>. Acesso em: 21 de Abril de 2018.
- QUEIROZ, E. V. (2014) *Reaproveitamento de resíduos de indústria de fundição na produção de cerâmicos estruturais*. Dissertação de mestrado. Universidade de Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul. Disponível em: <[https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id\\_trabalho=150763](https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=150763)>. Acesso em: 22 de Abril de 2018.

- QUISSINI, C. S. (2009) *Estudo da aplicação de areia descartada de fundição como material alternativo para camada de cobertura de aterro de resíduos*. Dissertação de mestrado. Universidade de Caxias do Sul, Rio Grande do Sul.
- RUFINO, E. S., GALDINO, A. G. S. (2015) Avaliação das propriedades físico-mecânicas de argamassa com utilização de resíduos de fundição. *Cerâmica*, v. 61, n. 360, p. 428-434. Disponível em: <[www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0366-69132015000400428&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132015000400428&lng=en&tlng=en)>. Acesso em: 24 de Abril de 2018.
- TEIXEIRA, C. E. (1993) *Ensaio de tratabilidade de resíduo sólido – areia fenólica: isolamento, identificação e seleção de fungos filamentosos*. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas, São Paulo. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/258492>>. Acesso em: 17 de Maio de 2018.
- VARGAS, A. S. et al. (2015) Argamassas geopoliméricas à base de cinzas volantes álcali-ativadas contendo areia de fundição. *Cerâmica*, v. 61, n. 359, p. 317-322. Disponível em: <[www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0366-69132015000300317&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132015000300317&lng=en&tlng=en)>. Acesso em: 24 de Abril de 2018.
- WATANABE, F. A. (2004) *Estudo sobre a utilização de areia de fundição residual como agregado na confecção de pavimentos de concreto*. Dissertação de mestrado. Universidade do Estado de Santa Catarina, Santa Catarina. Disponível em: <<http://tede.udesc.br/handle/tede/1649>>. Acesso em: 21 de Setembro de 2018.