



UNIVERSIDADE DE RIBEIRÃO PRETO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS NATURAIS E TECNOLOGIAS
Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental

GUSTAVO MACHADO RODRIGUES

**VIABILIDADE AMBIENTAL QUANTO A CLASSIFICAÇÃO PARA O
USO DA AREIA DE FUNDIÇÃO COMO AGREGADO NO CONCRETO
ASFÁLTICO**

RIBEIRÃO PRETO
2018

GUSTAVO MACHADO RODRIGUES

**VIABILIDADE AMBIENTAL QUANTO A CLASSIFICAÇÃO PARA O
USO DA AREIA DE FUNDIÇÃO COMO AGREGADO NO CONCRETO
ASFÁLTICO**

Dissertação apresentada à Universidade de Ribeirão Preto
como requisito para a obtenção do título de Mestre em
Tecnologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Valdir Schalch
Co-orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Luciana Rezende Alves de
Oliveira

**Ribeirão Preto
2018**

Ficha catalográfica preparada pelo Centro de Processamento Técnico
da Biblioteca Central da UNAERP

- Universidade de Ribeirão Preto -

R696v Rodrigues, Gustavo Machado, 1978-
Viabilidade ambiental quanto a classificação para o uso da areia de
fundição como agregado no concreto a fáltico / Gustavo Machado
Rodrigues. – Ribeirão Preto, 2018.
61 f.: il. color.

Orientador: Prof.º Dr.º Valdir Schalch

Dissertação (mestrado) - Universidade de Ribeirão Preto,
UNAERP, Tecnologia ambiental. Ribeirão Preto, 2018.

1. Pavimentos de asfalto. 2. Resíduos sólidos. 3. Tecnologia
ambiental. I. Título.

CDD 628

Gustavo Machado Rodrigues

**“GESTÃO PARA APROVEITAR AREIA DE FUNDIÇÃO COMO MATERIAL
PARA ASFALTO DE RODOVIAS”.**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre pelo programa de Mestrado Profissionalizante em Tecnologia Ambiental do Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias da Universidade de Ribeirão Preto.

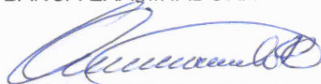
Orientador(a): Profa. Dra. Luciana Rezende Alves de Oliveira.

Área de concentração: Tecnologia Ambiental

Data de defesa: 20 de maio de 2018

Resultado: Aprovado

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Valdir Schalch
Universidade de Ribeirão Preto - UNAERP
Presidente



Prof. Dr. Rodrigo Eduardo Córdoba
Universidade Federal de São Carlos – UFSCAR



Profa. Dra. Luciana Rezende Alves de Oliveira
Universidade de Ribeirão Preto - UNAERP

Ribeirão Preto
2018

Dedico este trabalho ao meu pai Ney e à minha mãe Maria pelo carinho, apoio e incentivo para a realização desta etapa de formação, à irmã Patrícia pelo incentivo e palavra amiga e à esposa Tatiane pela sua compreensão e paciência, que foram essenciais para a realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer imensamente aos meus orientadores, Professor Dr. Valdir Schalch e Professora Dr^a Luciana Rezende Alves de Oliveira, por todo apoio, por conselhos com muita sabedoria e pela confiança durante todo o período.

À Unaerp e a todos os seus funcionários que, de alguma forma, contribuíram para o meu crescimento profissional, expresso aqui minha profunda gratidão.

A todas as funcionárias da secretaria da pós-graduação, que sempre nos atenderam com a maior gentileza e orientações precisas.

Aos membros da banca, Professor Dr. Valdir Schalch, Professora Dr^a Luciana Rezende Alves de Oliveira e Professor Dr. Rodrigo Eduardo Córdoba, pela preocupação e dedicação e ajuda com valiosos conselhos que refletiram em uma grande contribuição.

Aos colegas de curso do Mestrado de Tecnologia Ambiental, que sempre ajudaram com alegria e motivação.

Agradeço a toda Família Loureiro Rodrigues da Silva de Barretos e Campinas que sempre estiveram no apoio e motivando apesar de diversas vezes que não foi possível curtir junto em virtude das horas gastas para a execução deste trabalho.

Agradeço “in Memoriam” para Tia Neide Loureiro Rodrigues Gomes que sempre incentivou a conquista pelo trabalho e estudo.

Agradeço a toda Família Machado de Goiânia e de Sertãozinho que contribuíram com pensamento positivo e todo apoio com incentivo e carinho mesmo que foi preciso deixar de reunir em diversas ocasiões em virtude da dedicação necessário no trabalho.

Agradeço aos amigos que sempre entenderam e apoiaram em especial o grupo de vinho pela companhia e incentivo para o término deste trabalho.

Agradeço a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram no desenrolar deste mestrado.

Agradeço aos amigos José Roberto M, Janaína M. Milan, Milton Junior e Mauricio Silva, pelas informações que foram extremamente úteis nesta pesquisa.

RESUMO

O agregado de areia de fundição um estudo quanto à classificação para uso da areia de fundição que gera um resíduo sólido industrial com grande volume no Brasil. Cerca de três milhões de toneladas de areia por ano, pois a maior parte da areia é disposta em aterros, com custo de transporte, custo para armazenamento e também gerando impactos ambientais. O objetivo foi avaliar a viabilidade ambiental quanto à classificação para uso da areia de fundição como agregado no concreto asfáltico, com base nos resultados de parâmetros de lixiviação e solubilização onde foi comparado o comportamento dos resíduos de areia de fundição. A metodologia foi um estudo de caso com duas empresas de Fundição no interior de São Paulo com contato nas empresas e coleta de informações e dados fornecidos pelas empresas que colaboraram para o trabalho da pesquisa. Os resultados feitos pelos laboratórios contratados pelas empresas apontam para uma classificação do resíduo como Classe II A – Um resíduo não inerte que se areia for encapsulada e impedindo qualquer possível problema de contaminação a areia poderia vir a ser utilizada como agregado no concreto asfáltico. Como conclusão se torna uma excelente oportunidade industrial com a possibilidade de aprimorar os estudos para um material agregado que fique encapsulado e que tenha uso como concreto asfáltico.

Palavras-chave: Areia de fundição. Resíduos sólidos. Pavimentação asfáltica.

ABSTRACT

The casting sand aggregate a study on the classification for use of casting sand that generates an industrial solid residue with great volume in Brazil. About three million tons of sand per year, since most of the sand is disposed in landfills, with transportation cost, cost for storage and also generating environmental impacts. The objective was to evaluate the environmental viability of sand casting as aggregate in asphalt concrete, based on the results of leaching and solubilization parameters, where the behavior of casting sand was compared. The methodology was a case study with two foundry companies in the interior of São Paulo with contact in the companies and information and data collection provided by the companies that collaborated for the research work. The results obtained by the laboratories contracted by the companies point to a classification of the waste as Class II A - A non-inert residue that if sand is encapsulated and preventing any possible problem of contamination the sand could be used as aggregate in asphalt concrete. As a conclusion it becomes an excellent industrial opportunity with the possibility of improving the studies for an aggregate material that is encapsulated and that has use as asphalt concrete.

Keywords: Casting sand. Solid waste. Asphalt paving.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Unidades destinadoras de resíduos	20
Figura 2 - Representação esquemática da fundição em molde de areia	21
Figura 3 - Fluxograma do processo de fundição	22
Figura 4 - Partes em um molde de areia	24
Figura 5 - Vazamento de metal líquido no molde de areia.....	25
Figura 6 - Preparação de molde em areia	27
Figura 7 - Gráfico da produção anual de fundidos no Brasil (2004-2014)	30
Figura 8 - Aterro próprio da empresa A	47
Figura 9 - Local de tratamento e análise de água da Empresa A.....	47
Figura 10 - Local de monitoramento da Empresa A	48
Figura 11 - Armazenagem da Areia da Empresa B	48
Figura 12 - Caracterização e Classificação de Resíduos Sólidos	53
Figura 13 - Distância das Fábricas até a Empresa de Beneficiamento.....	54
Figura 14 - Distância das Fábricas até o Aterro Industrial	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Métodos analíticos – referência de ensaio.....	45
Quadro 2 - Classificação dos resíduos sólidos	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Produção mundial de fundidos em milhões de toneladas.....	18
Tabela 2 - Contração de solidificação de diferentes metais e ligas não ferrosos	26
Tabela 3 - Comparação entre processos de fundição	29
Tabela 4 - Características principais das areias-base utilizadas na indústria de fundição.....	31
Tabela 5 - Cimento asf. petróleo - classif. penetração - RT 01-92 - Rev. 02 – DNC.....	38
Tabela 6 - Cimento asf. petróleo - classif. viscosidade - RT 01-92 - Rev. 02 – DNC	38
Tabela 7 - Classificação do porte das empresas segundo o número de empregados.....	43
Tabela 8 - Solubilizado - parâmetros inorgânicos	49
Tabela 9 - Lixiviado - parâmetros inorgânicos.....	50
Tabela 10 - Lixiviado - parâmetros orgânicos.....	51
Tabela 11 - Solubilizado - parâmetros inorgânicos	51
Tabela 12 - Parâmetros orgânicos	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIFA – Associação Brasileira de Fundição

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ADF – Areia Descartada de Fundição

AFU – Areia de Fundição Usada

CAP – Concreto Asfáltico de Petróleo

CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado a Quente

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CONSEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

USEPA – United States Environmental Protection Agency

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVO GERAL.....	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3	REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1	OS RESÍDUOS SÓLIDOS.....	16
3.2	A INDÚSTRIA DE FUNDIÇÃO.....	17
3.3	A CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	18
3.4	FUNDIÇÃO	20
3.4.1	Processo de fundição e etapas.....	20
3.4.2	Modelação.....	26
3.4.3	Moldagem	26
3.5	A AREIA DE FUNDIÇÃO	29
3.6	REUTILIZAÇÃO	32
3.7	MISTURA ASFÁLTICA PARA RODOVIA	34
3.8	CONCRETO DE PETRÓLEO.....	36
3.9	AGREGADOS	39
3.9.1	Classificação dos Agregados	39
3.10	PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA	40
3.10.1	Concreto Betuminoso Usinado a Quente (C.B.U.Q.)	41
4	MATERIAL E MÉTODOS	43
4.1	CARACTERIZAÇÃO DAS EMPRESAS	43
4.2	PARÂMETROS ORGANICOS E INORGÂNICOS AREIA DE FUNDIÇÃO.....	44
4.2.1	Normas utilizadas	44
4.3	ANÁLISE DA VIABILIDADE E APLICABILIDADE DO USO DA AREIA DE FUNDIÇÃO.	45
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5.1	CARACTERIZAR AS EMPRESAS.....	46
5.2	OBTENÇÃO DOS DADOS.....	49

5.3	ANÁLISE VIABILIDADE QUANTO A CLASSIFICAÇÃO	53
6	CONCLUSÕES.....	55
	REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

A utilização de resíduos industriais como materiais para construção civil e utilização da areia de fundição como agregado encapsulado na pavimentação asfáltica se mostra atraente do ponto de vista ambiental e principalmente econômico e pode impulsionar investimentos nessa área. No Brasil, alguns estudos preliminares sobre o uso de resíduo de areia de fundição como material agregado de asfalto já foram produzidos, (PEREIRA, 2004, COUTINHO, 2004, STEFENON, 2003, Bina et al., 2000).

Segundo a Associação Brasileira de Fundição – ABIFA, o consumo de areia, dependendo do tipo de peça, pode variar de 800 a 1.000 kg para cada 1.000 kg de fundidos produzidos. Esta areia é extraída de jazidas naturais ou leito de rios, portanto é um bem não renovável (COSTA et al., 2007).

Entre os resíduos sólidos industriais, as areias descartadas de fundição, representam um volume considerável. No caso do Brasil, são geradas aproximadamente três milhões de toneladas de areia por ano (ABIFA, 2008).

Conforme citado por MARINHO (2001), “Os processos produtivos, com seus benefícios e males, se espalham por todo o globo e, se mantidos os atuais procedimentos, as últimas áreas ainda relativamente preservadas logo serão atingidas”.

Conforme KOFF et. al., (2008) as empresas do setor de fundição tentam encontrar formas de diminuir o impacto dos resíduos sólidos no início com o uso da areia no próprio processo produtivo diminuindo desse jeito o envio de areia para descarte. Atualmente até 90% da areia pode ser reinserida no processo, porém certamente geram areia que perdem sua função e precisam ser enviadas para descarte.

Como justificativa o envio do material para aterros industriais é feito por caminhões, isso gera custos operacionais que são bem significativos, além de, também, afetar a sustentabilidade do sistema, visto que o problema pode ser ainda maior se o material for descartado de forma inadequada.

Nesta perspectiva, uma grande restrição pode se transformar em oportunidade, com a possibilidade de estudar o material como agregado que se torne encapsulado, que tenha uso como concreto asfáltico.

O Estado de São Paulo, com Resolução nº 152/2007/CE (CETESB, 2008), definiu as normas legais para uso da Areia de fundição em misturas asfálticas e artefatos de concreto, sem função estrutural.

De acordo com COUTINHO (2004), as misturas asfálticas com o resíduo de areia de fundição apresentam propriedades adequadas para a camada de revestimento, no que diz respeito às propriedades mecânicas. Os resultados das análises ambientais, das misturas asfálticas com 15% de areia de fundição, demonstraram que o resíduo não oferece risco ambiental.

Ao adicionar um total de 7% de resíduo areia de fundição na confecção de concreto asfáltico, STEFENON (2003) concluiu que concreto asfáltico contendo o resíduo atende às especificações do DNIT. Destaca ainda que não representa riscos com relação à poluição do meio ambiente.

Conforme BONET (2000) realizou estudo com a adição de 8% de resíduo de fundição de concreto asfáltico e concluiu que possui boas propriedades mecânicas e atende os limites máximos da norma NBR 10004.

A destinação final da areia de fundição tem sido feita em aterros industriais e, na maioria dos casos, são enquadrados como Resíduo Não Perigoso Classe II – A, não inerte, segundo a Norma Brasileira NBR 10004, 2004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Sendo que o custo aproximado por tonelada, para disposição de materiais residuais classificados como Classe II pela NBR 10004 (ABNT, 2004) em aterro industrial é da ordem de R\$ 280,00 por tonelada.

A extração da areia natural para uso industrial, junto com o acúmulo da areia de fundição em aterros, gera impactos ambientais significativos (CARNIN, 2010). Do ponto de vista ambiental e também econômico, o reaproveitamento da Areia de fundição que precisa ser descartada e que poderia ser incentivado para a redução da quantidade de areia extraída da natureza.

De modo a reduzir o envio para aterro e eliminar ou reduzir o custo da disposição da ADF, outros estudos têm sido realizados no intuito de destinar corretamente este resíduo, sendo a reciclagem externa uma boa opção. Pode ser na fabricação de itens de concreto, cerâmicos, uso em asfalto e até como camada intermediária em aterros sanitários, dentre outros possíveis destinos.

Atualmente, em qualquer organização ou indústria, cada vez mais os aspectos ambientais são de fundamental importância para o seu planejamento estratégico. Forçadas por consumidores mais exigentes e mais preocupados com o meio ambiente, tais empresas buscam uma visão em que os recursos utilizados sejam otimizados e os impactos ambientais decorrentes dos seus processos sejam minimizados. Conforme Pablos (2001), “uma das questões de fundamental importância para a sociedade é a necessidade de reciclar ou reaproveitar lixos, rejeitos e resíduos por ela gerados, como forma de recuperar matéria e energia, preservando recursos naturais, oferecendo uma menor degradação do meio ambiente e proporcionando melhorias nas condições de vida das comunidades.”

Conforme o que determina a Lei n.º 12.305, de 02 de agosto de 2010, no artigo 27, as pessoas físicas ou jurídicas são responsáveis pela implementação e operacionalização integral dos planos de gerenciamento de resíduos sólidos aprovados pelo órgão competente, ainda fica claro a seriedade no inciso 1º, a contratação da coleta, armazenamento, transporte, transbordo, tratamento ou destinação final de resíduos sólidos, ou de disposição final de rejeitos, não isenta as pessoas físicas ou jurídicas referidas no art. 20 da responsabilidade por danos que vieram a ser provocados pelo gerenciamento inadequado dos respectivos resíduos ou rejeitos.

Além da questão legal, as empresas necessitam demonstrar aos clientes compradores de produtos que pode haver formas de diminuir o impacto ambiental, alterando o uso da matéria-prima ou consumindo em outros setores a areia que foi utilizada no processo de fundição, o uso de massa asfáltica em CBQU, incorporando os resíduos areais de fundição que atendam às normas de dimensionamento dos pavimentos asfálticos flexíveis.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

A pesquisa teve como objetivo avaliar a viabilidade ambiental ou para o aproveitamento quanto à classificação para uso da areia de fundição como agregado, no concreto asfáltico.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar as empresas quanto a porte, geração de areia de fundição;
- Obter os parâmetros orgânicos e inorgânicos da areia de fundição quanto aos aspectos de lixiviação e solubilização;
- Analisar a viabilidade e aplicabilidade do uso da areia de fundição como agregado encapsulado no concreto asfáltico;

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 OS RESÍDUOS SÓLIDOS

A Lei 12.305, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispõe sobre princípios, objetivos e instrumentos são muito atuais e contém instruções importantes para permitir o avanço necessário ao país para o enfrentamento dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequados dos resíduos sólidos. Dessa forma, pode gerar prevenção e redução na geração de resíduos, com proposta de mudar hábitos com uma destinação ambientalmente adequada. Institui a responsabilidade, podendo ser de pessoa física e de pessoa jurídica, aponta responsabilidade compartilhada dos geradores de resíduos, fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes e mesmo o cidadão e titulares de serviços de manejo dos resíduos, visando eliminação de lixões, e institui instrumentos de planejamento nos níveis nacional, estadual, regional, municipal e metropolitano, além de impor que os particulares elaborem seus Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, visando ajudar o Brasil a atingir metas do Plano Nacional sobre Mudança do Clima, alcançando índice de reciclagem de resíduos com 20% em 2015.

A resolução n.º 152/2007/C/E, que apresenta procedimentos a serem adotados pela CETESB e a serem exigidos das empresas geradores do resíduo areia de fundição e também das empresas destinatárias destes resíduos, sendo que tudo precisa ser atendido. Com diversos parâmetros de procedimentos para gerenciamento de areia de fundição, com estabelecimento de prazos para a execução, procedimento para adequação dos depósitos existentes de areia de fundição, condições para que se faça o confinamento, procedimento de adequação das operações das empresas geradoras da areia de fundição, procedimento para adequação da empresa destinatária, informação de procedimento para obtenção de autorização para envio do resíduo da areia para reutilização na empresa destinatária, procedimentos e informações dos ensaios sobre os resíduos atualmente gerados e adequadamente segregados e armazenados na empresa geradora, informações e ensaios sobre os resíduos a serem removidos de depósitos inadequados de areia de fundição, procedimento para avaliação de propostas de reutilização do resíduo areia de fundição. Para a reutilização da areia de fundição na fabricação de artefatos de cimento ou de concreto, o

extrato solubilizado do resíduo da área de fundição obtido conforme protocolo descrito no Anexo C.

Com tudo isso tem outras condições básicas descritas para viabilizar a reutilização do resíduo areia de fundição, tanto para artefatos de cimento ou concreto, quanto para a fabricação de concreto asfáltico; o resíduo não poderá ser misturado com outros tipos de resíduos ou outros materiais para que se enquadre, o resíduo areia de fundição, depositado de forma inadequada, em área de propriedade de empresa ou fora de sua propriedade, não poderá ser reutilizado, caso o histórico do uso da área ou as informações constantes da investigação confirmatória realizada indicar que houve a deposição no local de outros tipos de resíduos não inertes, especialmente resíduos perigosos, para a reutilização do resíduo industrial areia de fundição, a empresa destinatária, produtora de concreto asfáltico e de artefatos de cimento ou de concreto, deverá obter as devidas licenças ambientais junto à CETESB. A empresa geradora da areia de fundição, para envio deste resíduo para a fabricação de concreto asfáltico ou artefatos de cimento ou de concreto, deverá solicitar a autorização junto a CETESB, por meio de solicitação de CADRI. Sendo a aprovação e emissão do CADRI somente será efetuada desde que sejam atendidos os critérios estabelecidos no documento e a empresa destinatária estiver licenciada.

3.2 A INDÚSTRIA DE FUNDIÇÃO

Essa importante indústria de base é taxada e dita como grande poluidora, pelo fato de ser confundida com o setor de siderurgia ou de anteriormente despejarem seus poluentes na atmosfera, através dos seus fornos de fusão. Entretanto, hoje o grande entrave das empresas de fundição são os seus resíduos (BONET et al., 2003).

Em virtude dos problemas econômicos surgidos da crise internacional de 2008 e 2009, houve uma forte queda na demanda da produção (CASOTTI et al., 2011). Posteriormente em 2010 houve uma recuperação com economias emergentes em que as cobranças ambientais e restrições são bem menores e bem menos exigidas (CASOTTI et al., 2011).

As organizações de uma forma geral não podem mais desconsiderar aspectos relacionados à proteção ao meio ambiente. Com isso a variável ambiental tem se tornado cada vez mais um importante diferencial competitivo que as empresas se preocupam (LERÍPIO, 2001)

No planeta, a produção de fundidos tem entre 80 a 90 milhões de toneladas. A produção do Brasil com areia descartada de fundição gira em torno de quase 3 milhões de toneladas por ano. A Tabela 1 apresenta o volume da produção mundial de fundidos produzidos, base de 2013.

Tabela 1 Produção mundial de fundidos em milhões de toneladas

POSIÇÃO	PAIS	QUANTIDADE (t)	AREIA GERADA (t)
1º	CHINA	46.200,0	46.200,0
2º	europa	11997,4	11997,4
3º	INDIA	10021,0	10021,0
4º	JAPÃO	5538,0	5538,0
5º	ALEMANHA	5246,6	5246,6
6º	RÚSSIA	4200,0	4200,0
7º	BRASIL	2737,2	2737,2
8º	COREIA	2630,9	2630,9
9º	ITALIA	2024,9	2024,9
10º	TURQUIA	1750,0	1750,0

Fonte: Modern Casting, 2015. Adaptado

3.3 A CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Segundo a norma ABNT NBR-10004: Resíduos Sólidos Classificação (2004), resíduos sólidos são os que se encontram nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos, nesta definição, os lodos provenientes de sistema de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou que exijam soluções técnicas economicamente inviáveis face à melhor tecnologia disponível.

Conforme cita a norma, os resíduos são classificados em:

- a) Resíduos Classe I – Perigosos
- b) Resíduos Classe II – Não Perigosos
 - Classe II A – Não inertes
 - Classe II B – Inertes

São considerados resíduos perigosos e não inertes os que apresentarem características de periculosidade, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, podendo representar riscos à saúde pública e ao meio ambiente, assim como os que possuem propriedades de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

Os resíduos não perigosos e não inertes são aqueles que não se enquadraram nas classificações de resíduos perigosos (Classe I) ou de resíduos não perigosos e inertes, podendo ter propriedades como: Biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Inertes são considerados quaisquer resíduos que, quando amostrados de forma representativa, segundo a ABNT NBR-10007/2004, e submetidos a um contato dinâmico e estático com a água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme norma da ABNT NBR- 10006/2004, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se os aspectos cor, turbidez, dureza e sabor.

Segundo a NBR 10004, são classificados como perigosos quando suas características proporcionam riscos à saúde dos seres humanos ou acarretam riscos ao meio ambiente quando no Brasil, mediante as normas da ABNT (2004).

- NBR 10004 – Resíduos Sólidos – Classificação: Classe I (perigosos), Classe II-A (não perigosos e não inertes) e Classe II-B (inertes).
- NBR 10005 – Lixiviação de Resíduos.
- NBR 10006 – Solubilização de Resíduos Sólidos.
- NBR 10007 – Amostragem de Resíduos.

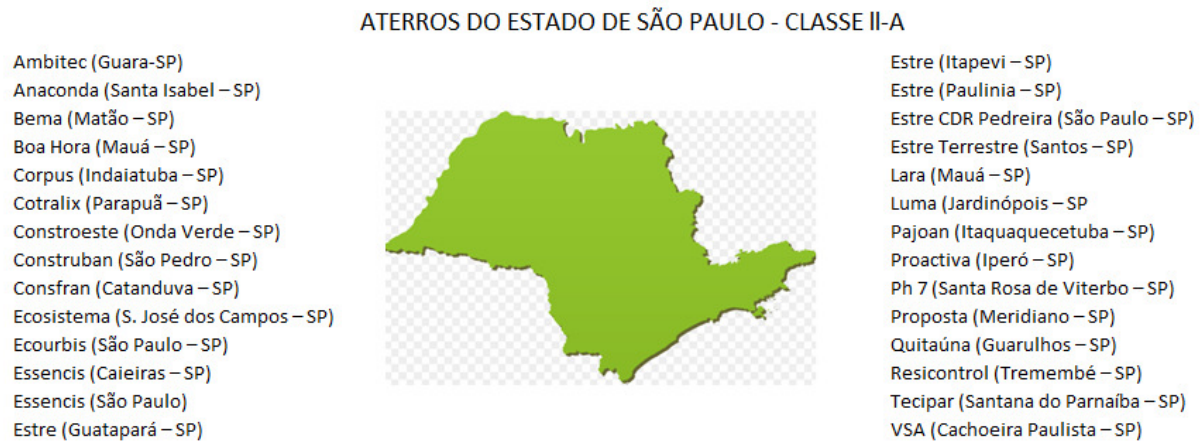
Com essa classificação, a parte excedente de areias de fundição são enquadradas nas classes I e II-A, devido à presença de itens químicos usados para dar liga e metais (COMISSÃO DO MEIO AMBIENTE DA ABIFA, 1999).

Um bom sistema de gerenciamento de resíduos passou a ser uma prioridade para as empresas buscarem a diminuição da quantidade de resíduos descartados. A minimização torna-se uma obrigação em qualquer gerenciamento moderno, (TEIXEIRA, 2000).

Para Wright (2001), 90% da areia de fundição é disposta em aterros como resíduos Classe II. Entretanto, aspectos ambientais e econômicos têm demonstrado que os resíduos podem ser atrativos a reutilização.

Com a classificação, conforme pode ser visto na Figura 1, pode-se notar a quantidade limitada de aterros sanitários e industriais que existem no Estado de São Paulo.

Figura 1 - Unidades destinadoras de resíduos



Fonte: Associação Brasileira das Empresas de Tratamento de Resíduos, 2012. Adaptado

Segundo Bonet (2000), para minimizar os custos de disposição do resíduo areia de fundição em aterros industriais e seus impactos ambientais, as fundições poderiam adotar medidas que favoreçam a utilização externa dos resíduos das areias de fundição, como por exemplo, na substituição parcial do agregado fino nos concretos de baixo custo e em pavimentação asfáltica. As fundições também devem regenerar as areias, com tratamentos térmicos e ou tratamentos mecânicos, como forma de reconduzir a areia usada a uma condição semelhante a areia nova, permitindo a reutilização no processo sem comprometer a qualidade dos moldes produzidos.

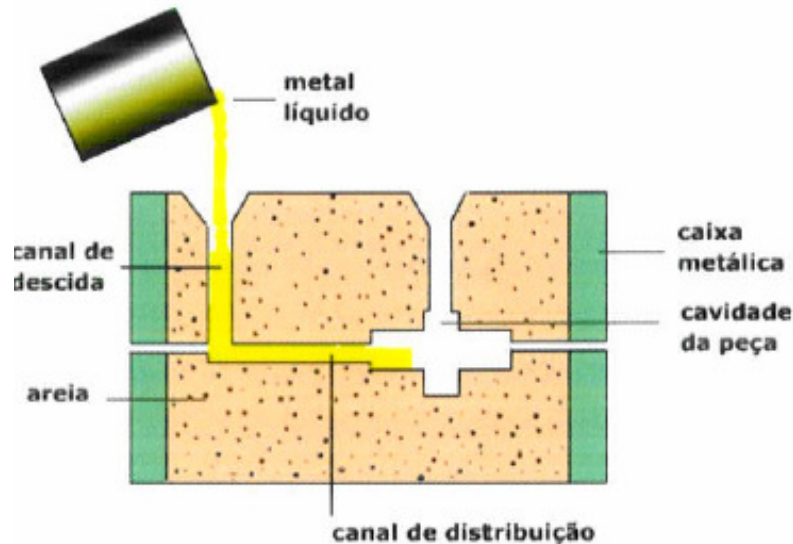
3.4 FUNDIÇÃO

3.4.1 Processo de fundição e etapas

Segundo KONDIC (1973), é qualquer processo de fusão e vazamento de metais em moldes, tendo como objetivo a produção de peças com formas previamente estabelecidas.

De forma geral, a fundição é um processo metalúrgico para a fabricação de peças sólidas. A Figura 2 apresenta o metal líquido sendo depositado no molde.

Figura 2 - Representação esquemática da fundição em molde de areia



Fonte: Cimm (2010).

A fundição vem a ser a conformação do metal no estado líquido. Consiste em aquecer o metal até que ele se funda e se transforme em um líquido homogêneo. Posteriormente este líquido será vertido em moldes adequados onde, ao solidificar-se, adquire a forma desejada (BRADASCHIA, 1974).

A fundição é um método simples e viável economicamente para se obter uma peça com formato sólido. Tem como característica a simplicidade para obter formas diversas simples ou complexas com diversos tipos de metais. (BRADASCHIA, 1974).

As peças fundidas são obtidas pela solidificação do metal líquido em molde, que possa permanecer em contato com o fogo ou suportar calor elevado, sem alterações significativas em suas características (refratário) e que tenha a forma, em negativo, do produto final.

De maneira geral, o setor brasileiro de fundição deverá elevar a capacidade do nível atual de 3 milhões de toneladas de fundidos para a casa de 10 milhões de toneladas de fundidos até o ano de 2030, o que exigiria muitos investimentos, como calculado a seguir: (a) ampliação da capacidade de 10 milhões de toneladas ao ano; (b) investimento médio unitário: U\$ 1.500/t; (c)

investimento total de US\$ 15 bilhões; (d) investimento anual (em 20 anos): US\$ 750 milhões (MME/BIRD, 2009).

O método que utiliza os moldes confeccionados em areia verde é o processo mais tradicional de fundição de metais ferrosos no Brasil. É o mais utilizado por ter uma simplicidade tecnológica, com baixo custo e uma boa facilidade para recuperação da areia (CASOTTI et al., 2011).

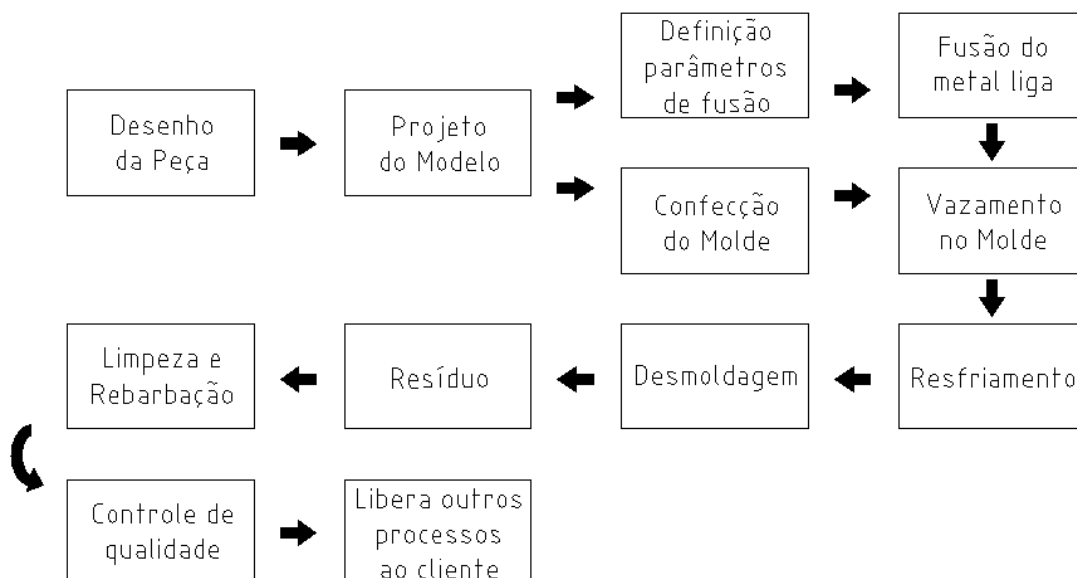
Em virtude da situação do país e dos problemas políticos e sociais que o Brasil enfrenta, há uma carência de financiamentos e de benefícios fiscais que incentivem o interesse de pequenas e médias empresas para investir na produção de peças no setor de fundição. Muito trabalho ainda precisa ser feito para manter ou melhorar os padrões de competitividade.

A base do processo de fundição é a obtenção de peças metálicas com a fusão e com o vazamento da matéria-prima em um molde, sendo que o processo de fundição pode ser realizado por gravidade, vácuo ou centrifugação.

As principais etapas do processo podem ser visualizadas no fluxograma proposto pelo Senai (2016), conforme ilustrado na Figura 3.

Sendo que no processo de fundição a parte de interesse principal foca-se no resíduo areia de fundição.

Figura 3 - Fluxograma do processo de fundição



Fonte: Senai (2016), adaptado

As etapas podem ser compreendidas como descritas da seguinte forma (adaptado de CASOTTI et al., 2011):

- Etapa de Confecção do modelo da peça

Segundo PERINI, 1986, O modelo trata-se de uma réplica perfeita da peça que será produzida. O modelo pode ser fabricado em madeira, metal, resinas ou outros materiais.

O primeiro passo para a obtenção do fundido é a construção de um modelo com o formato da peça final. Sendo que o modelo pode ser fabricado em madeira, metal, gesso, isopor, plástico, resina e diversos outros materiais possíveis que suportem a calor que é gerada pelo metal líquido. Hoje em dia, com o uso de novas tecnologias, os modelos e peças podem ser planejados e construídos para testes com baixo custo, com o uso de software e impressoras a laser, o que, para um planejamento inicial do protótipo, agiliza muito o processo e evita desperdícios e testes que eram necessários antigamente. Exemplos dessa nova tecnologia automatizada para a fabricação de modelos podem ser encontrados em Rodriguez et al., (2012).

- Etapa de preparação do Macho

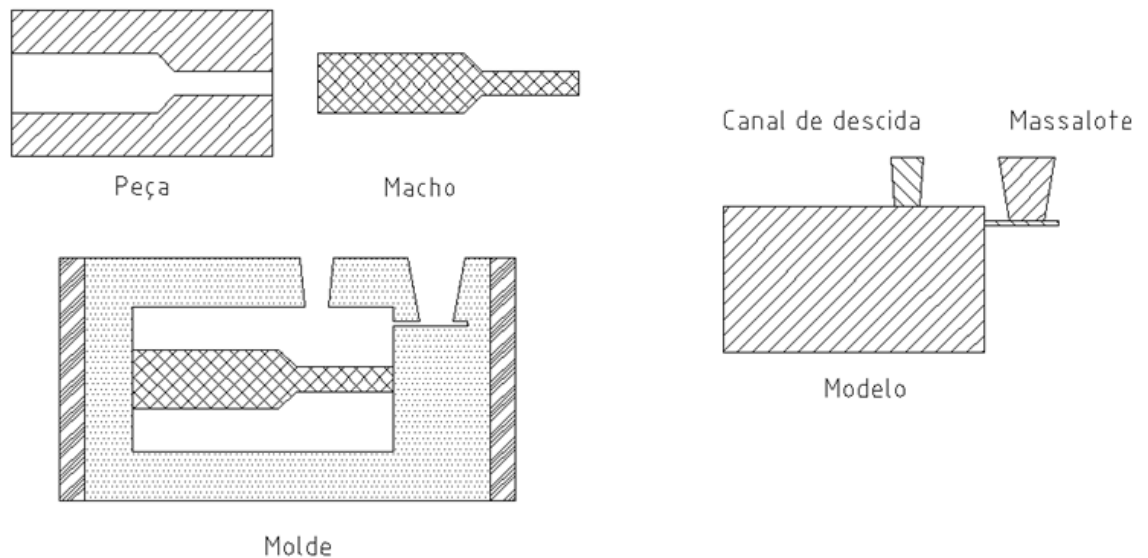
Segundo KONDIC, (1973) conforme necessidade algumas peças a serem fundidas podem apresentar detalhes ou cavidades. Para que produzam as superfícies internas em certas peças fundidas, são colocados no interior dos moldes de areia peças sólidas ou machos feitos de uma mistura compatível com o metal a ser vazado e com o tamanho da peça fundida. Após o vazamento, o macho é removido do interior da peça, deixando a forma desejada.

- Etapa do Molde

Conforme descrito por CAMPOS FILHO, (1978) o molde tem a função de oferecer o formato negativo da peça na qual será vazado o metal líquido. O molde é feito por empacotamento de areia em torno do modelo, toda a estrutura estando contida numa caixa de moldagem. O molde é feito em duas partes: uma superior (caixa superior) e outra inferior (caixa inferior). São colocados nos moldes antes que eles sejam fechados para receber o metal líquido, com o metal em uma temperatura bem elevada. Diferentemente do molde, que é uma peça em areia que delimita as partes externas da peça fundida, o macho é uma peça em areia que delimita as partes internas (vazios). Trata-se de uma importante etapa que precisa ser pensada e planejada, para que sejam evitados problemas que podem ocorrer na peça que está se querendo fundir em virtude da dissipação dos gases que podem formar bolhas, então é necessária a construção de

reservatórios com metal líquido para compensar a contração. A Figura 4 apresenta as partes de um molde de areia.

Figura 4 - Partes em um molde de areia



Fonte: Martins e Almeida (2001). Adaptado

- Etapa da Fusão

Segundo CAMPOS FILHO, (1978) com essa etapa de fusão é obtido o estado líquido do metal, com a utilização de fornos de fusão como forno de cadinho, forno de reverberação, conversores, forno cubilô, forno de indução, forno de resistência elétrica e forno de arco elétrico. Nessa fase se obtém o estado líquido do metal com a utilização de fornos de fusão. A alimentação do metal líquido é feita por meio de um sistema de canais existentes no molde. Os canais de alimentação alargados ou massalotes abertos permite que metal escorra na cavidade do molde.

- Etapa do Vazamento

Segundo CAMPOS FILHO, (1978) o vazamento deve ser realizado cuidadosamente. Sendo que o metal líquido é transferido do forno para a panela de vazamento e da panela para o molde. Uma preocupação é com uma altura adequada já que se a altura for grande vem a gerar mais oxigênio e uma maior turbulência no molde e causar defeitos na superfície da peça, isso tem que ser evitado. Por isso quanto menor possível a distancia da panela até o molde melhor a técnica do vazamento, ao se despejar o metal líquido no molde. Conforme podemos ver Figura 5,

muitas variáveis são de grande importância nesta fase como controlar a temperatura correta da panela, a limpeza e a velocidade do vazamento.

Figura 5 - Vazamento de metal líquido no molde de areia



Fonte: Autor, 2017.

- Etapa da Desmoldagem

Segundo KONDIC (1973) um ponto muito importante após o vazamento o metal precisa de tempo para solidificar-se até resfriar-se com uma temperatura que seja possível a manipulação. Para que se faça a retirada da peça metálica de dentro do molde. Importante controlar a temperatura para evitar choque térmico e trincas na peça.

- Etapa de Rebarbação e de limpeza

Segundo KONDIC (1973) Nesta fase tem-se grande importância na remoção do metal excedente na superfície da peça. Essa remoção pode ser feita com corte com disco abrasivo ou com fusão localizada. É de suma importância, pois após a desmoldagem são necessárias operações para que as peças estejam prontas para uso ou para usinagem e montagem. Segundo Siegel et al., (1982), a sequência destas operações é a seguinte:

- Limpeza grosseira – remoção de canais e alimentadores.
- Limpeza das superfícies internas e externas do fundido.
- Remoção da rebarba e arame dos locais de canais e alimentadores.
- Acabamento final de superfícies.
- Inspeção.

3.4.2 Modelação

Etapa importante da operação, que engloba os requisitos necessários para a confecção do molde, que é uma réplica da peça a ser reproduzida, porém com as dimensões acrescidas da contração para ela prevista Tabela 2. Segundo Bradaschia et al., 1981, isto ocorre devido à solidificação e ao resfriamento, pois os metais/ligas, de um modo geral, se contraem ao se solidificarem. A reprodução em metal fundido e a criação do negativo do modelo forçam o projetista a ter em mente as melhores condições para a aquisição de peças facilmente moldáveis e que favoreçam as condições de enchimento para o metal a ser vazado.

Tabela 2 - Contração de solidificação de diferentes metais e ligas não ferrosos

	Material	Contração (%)
Solidificação Materiais	Alumínio	1,4
	Antimônio	0,0
	Bismuto	1,3
	Latão	1,6
	Bronze	1,5
	Cobre	1,3
	Chumbo	2,6
	Magnésio	1,6
	Níquel	1,6
	Prata	1,0
	Estanho	0,7
	Zinco	2,6

Fonte: Adaptado de Bradaschia et al., (1981).

Os fatores que mais influenciam no projeto de peças fundidas são a fluidez, a contração a resistência a quente, a forma geométrica e o acabamento superficial. Um erro na modelação aumentaria os custos de fabricação, pois dificulta muito a fabricação da peça, interferindo no acabamento e no preço final. Os modelos são confeccionados em madeira, mas também podem ser fabricados em metal, plástico ou outro material que seja apropriado para esse fim, tais como cera, poliestireno (isopor) ou resina epóxi.

3.4.3 Moldagem

No processo de moldagem, a produção de uma peça fundida de projeto simples é feita por meio de algumas etapas: com informações em desenho da peça, fabrica-se o modelo, prepara-se a

mistura para a moldagem, contendo areia e aglutinantes, com uso de caixas de moldagem para suportar as faces laterais do molde: depois remove-se o modelo, encaixam-se os machos em posição, fecham-se as partes do molde e verte-se o metal na cavidade. O material da moldagem mantém a forma da cavidade até a solidificação do metal vazado.

A moldagem da areia Figura 6 mostra-se a preparação de molde com areia. A abundância deste material na natureza torna o processo mais econômico e permite produção de peças com boa qualidade, para diversos metais ferrosos e também não ferrosos. Verifica-se uma grande importância da areia na indústria de fundição.

Figura 6 - Preparação de molde em areia



Fonte: Autor, 2018.

- **Moldagem em areia verde**

Os moldes de areia usados em fundições de ferro são do tipo áreas verdes (SIDDIQUE et al., 2010). Correspondendo 90% volume de fundidos nos Estados Unidos (FHWA, 2004) e 80% no Brasil (BONET et al., 2003).

O uso de areia verde é o processo mais tradicional de fundição de metais ferrosos no Brasil. Ele é o mais utilizado principalmente por sua simplicidade tecnológica, baixo custo e a facilidade de recuperação da areia (CASOTTI et al., 2011).

- **Caixa fria (cold box)**

Este processo engloba a utilização como aglomerante de diversos tipos de resinas de cura a fria. O tempo de cura e a resistência final dependem da quantidade de resina (sendo de 1 a 2% e do tipo e quantidade do catalisador (ficando entre 20 a 40% do peso de resina). (SOARES, 2000).

- **Pep Set**

O processo de Pet Set é de cura a fria, com uma composição similar ao do processo cold Box. Este processo também usa duas partes de resina (parte 1 e parte 2), com um catalisador líquido que é adicionado a uma das partes de resina e proporciona uma cura mais lenta, o que torna possível uma melhor chance de manuseio da moldagem. Com este processo se consegue uma boa característica com baixo odor e melhor fluidez da areia. (KONDIC, 1973).

- **Em casca (shell)**

Neste processo faz-se a construção de um molde com auxílio de recipiente basculante sob ação da gravidade, com aquecimento da placa modelo forma-se casca, sendo que a espessura depende do tempo de contato e da temperatura da placa. (SOARES, 2000).

- **Cera perdida**

Os modelos são produzidos com cera, vazando a cera líquida em uma matriz metálica. Os moldes têm uma lama refratária que pode ser de sílica ou zircônia, com uma mistura de aglomerante e outros componentes que ajudam no endurecimento, gerando uma aparência parecida à da cerâmica, o metal líquido é preenchido dentro do recipiente. Após esfriamento, o molde é quebrado, retirando a peça. Uma vantagem é o elevado grau de precisão, boa liberação dos gases no molde e a grande variedade de materiais que podem ser fundidos. Uma desvantagem é ter um alto custo e uma limitação quanto ao tamanho das peças. (BRADASHIA, 1981).

- **Molde permanente com fundição sobre pressão**

Este tipo de fundido em molde permanente consiste forçar a entrada do metal líquido na cavidade da matriz. O metal é bombeado na cavidade da matriz sobre pressão e assim ocupa os espaços do molde. A matriz é aberta e a peça ejetada por meio de pinos acionados de forma hidráulica. A vantagem deste processo é que as peças apresentam maior resistência do que se fossem feitas em areia. É ideal para a produção de peças com paredes finas. (KONDIC, 1973)

A Tabela 3 resume e compara alguns processos de fundição citados acima que foram abordados:

Tabela 3 - Comparação entre processos de fundição

Propriedades	Areia Verde	Shell	Cera	Molde (Injeção)
1. Tolerancia Dimensional	1,2 mm a 3,8 mm	0,25 mm a 5 mm	0,02 mm a 3,8 mm	2,5 mm a 12,5 mm
2. Peso fundido	“Ilimitado”	115 kg	45 kg	35 kg
3. Esp. Mínima	2,5 mm	2,5 mm	1,6 mm	0,8 mm
4. Acab. Superf.	Razoável	Bom	Bom	Ótimo
5. Custo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
6. Capac. Fundir p. complexas	Razoável	Bom	Ótimo	Bom
7. Gama ligas podem fundir	“Ilimitado”	“Ilimitado”	“Ilimitado”	Indicado Alumínio

Fonte: Casotti et al., (2011). Adaptado

3.5 A AREIA DE FUNDIÇÃO

A moldagem em areia responde pela maior quantidade de produtos fundidos, pois a importância desse material nas indústrias de fundição no mundo inteiro é enorme. A indústria de fundição vem utilizando areias para criar moldes e machos que dão forma às peças de metais. Este importante elemento pode ser chamado de areia-base, areia virgem ou mesmo areia convencional. As areias possuem a habilidade de absorver e transmitir calor, pois permitem que gases envolvidos passem por seus grãos (CAREY, 2002).

Segundo Mariotto (2000), o ligante mais utilizado é a argila com a moldagem de areia verde, que geralmente é utilizada para construir os moldes para dar formas aos produtos fundidos, sendo que na construção dos machos se utilizam aglomerados com resinas sintéticas que são citadas como fenólica.

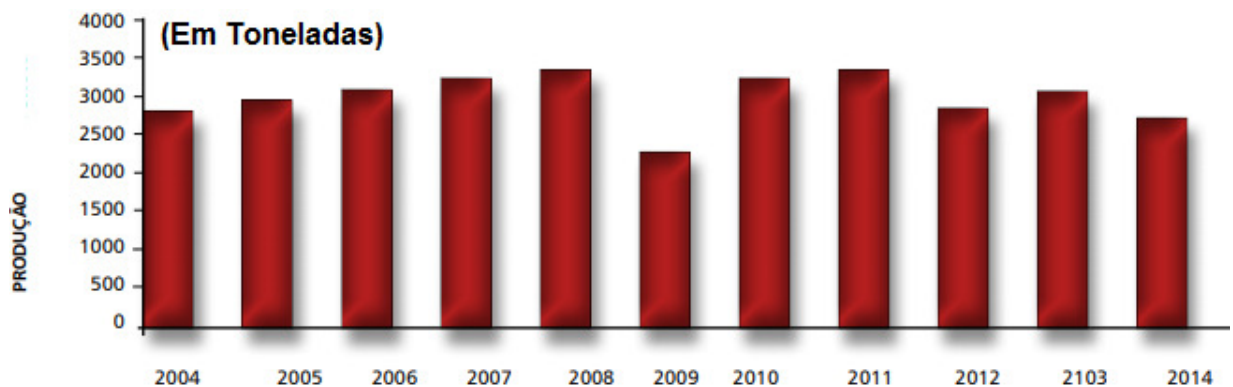
Segundo MCINTYRE (1992), a cada tonelada de metal produzido tem-se uma tonelada de resíduo produzido. Em virtude do grande uso do aço em escala industrial certamente gera uma grande massa de resíduo.

O Brasil é um grande usuário de areia de fundição, ocupando a sétima posição do ranking dos maiores produtores de itens fundidos, com previsão de 3 milhões de toneladas por ano. Com isso, a estimativa é a de um setor com 60 mil empregos diretos das indústrias brasileiras do setor (CASOTTI et al., 2011).

Um maior crescimento no Brasil pode ser evidenciado a partir de 2001, sendo que em 2006 este crescimento ultrapassou a marca de três milhões de toneladas produzidas no ano (CASOTTI et al., 2011).

Como podemos visualizar na Figura 7, que, com a crise de 2008, o uso de areia nas fundições crescia muito, mas no ano seguinte sofreu uma forte queda de 30%, produzindo 2,3 milhões de toneladas de fundidos, voltando aos níveis observados em 2003 (CASOTTI et al., 2011).

Figura 7 - Gráfico da produção anual de fundidos no Brasil (2004-2014)



Fonte: Abifa / Source: Brazilian Foundry Association (2015). Adaptado

Na década de 80, com dívida externa no Brasil teve queda nos investimentos em infraestrutura. Após 2001, a indústria conseguiu aumento na produção e somente em 2006 a marca de 3 milhões de toneladas foi ultrapassada.

Em 2009, entretanto, a indústria de fundição sentiu efeitos da crise mundial, diminuindo a produção para 2,3 milhões de toneladas, ou seja, voltando ao mesmo patamar de 2003.

Um grande uso de itens fundidos gera um grande consumo de areia, com previsão de aumento nos próximos anos, sendo que a indústria deverá investir no aumento da capacidade de produção (CASOTTI et al., 2011).

Segundo KONDIC (1973) a areia utilizada em processos de fundição apresentam tamanho entre 0,075 e 1 mm, com características que são importantes no agregado base/mistura de moldagem que podemos destacar:

- Escoabilidade: habilidade do material fluir (escorrer) de forma fácil e preencher as partes vazias do modelo, permitindo a reprodução da peça conforme o projeto.

- Comportamento refratário: resistência a elevadas temperaturas sem alterar o formato, que é a capacidade da areia não se desmanchar quando em contato com o metal vazado.
- Resistência mecânica: habilidade de os grãos se manterem unidos, com resistência suficiente para não entrar em colapso com a presença do metal.
- Permeabilidade: capacidade do material em permitir a passagem dos gases presentes ou gerados no interior por causa do vazamento do metal.
- Desmoldabilidade: capacidade do material em permitir com facilidade a retirada do item solidificado no molde, sem que ocorra nenhum dano à superfície.
- Estabilidade térmica dimensional: propriedade que permite variações dimensionais necessárias com a mudança de temperatura.
- Colapsibilidade x resistência a quente: o material deve conferir no molde a capacidade de ceder sob esforços a que está submetido, com a contração da peça ao se solidificar.
- Difusividade térmica: permite o estudo das transferências de calor nos moldes por diferença na temperatura em partes diferentes do molde.
- Teor de umidade: o material deve apresentar baixa umidade, caso contrário, haverá formação de bolhas de vapor.

A areia utilizada para a moldagem é em geral, normalmente de 0,1 e 0,5 mm de diâmetro. Dos resíduos o material passa na peneira 0,6 mm. 50% das partículas passa pela peneira 0,3mm, sendo que a maioria é retida pela peneira de 0,15mm. O material fino, passado pela peneira de 0,2 mm representa cerca de 20% do resíduo de fundição (WINKLER & BOL'SHAKOV, 2000).

Podem ser observadas, na Tabela 4, as principais características das areias-bases.

Tabela 4 - Características principais das areias-base utilizadas na indústria de fundição

CARACTERÍSTICAS AREIAS	SÍLICA	ZIRCONITA	CROMITA	OLIVINA
COR	Marrom Amarelado	Marrom Claro	Preta	Cinza Esverdeado
FORMATO GRÃO	Arredondado até angular	Arredondado até angular	Angular	Angular
EXP. TÉRM. 1600°C (mm/mm)	0,013	0,003	0,005	0,006
PTO DE FUSÃO (°C)	1370-1760	2040-2200	1760-1982	1426-1760
REATIV. QUÍMICA	Ácido-neutro	Ácido-neutro	Básico-neutro	Básico
MÓD. FINURA – AFS	25-180	95-160	50-90	40-160
SIST. CRISTALINO	Hexagonal	Tetragonal	Cúbica	Ortorrômica
CLIVAGEM	Nenhuma	Nenhuma	Nenhuma	(010) (100)
PESO ESPEC. (g/cm³)	2,65	4,68	4,4-5,2	3,2-4,8
IND. DE REFRAÇÃO	1,54-1,56	1,92-2,02	2,00-2,12	1,63-1,69

Fonte: Peixoto (2003). Adaptado

No Brasil, é possível obter informações a partir de Mariotto (2000), que diz que a reciclagem de uma areia de fundição implica uma limpeza superficial dos grãos e remoção das partículas resultantes dessa limpeza, com o objetivo de reconduzir a areia usada a uma nova condição, permitindo seu uso no processo, sem detrimento das qualidades dos moldes ou machos produzidos. Os procedimentos mais utilizados para isso são por atrição a seco ou úmido, chamados de recuperação e de calcinação, propriamente chamados de regeneração.

A areia de sílica também pode ser chamada de areia industrial. Contempla areia e quartzitos, com alto teor de sílica (SiO_2), obtidos a partir de sedimentos arenosos, arenitos e quartzitos (MME; BIRD, 2010).

Um ponto importante a destacar é que parte da areia é recuperada e reutilizada dentro do processo de fundição e o restante é descartado, com um passivo ambiental muito preocupante, já que são dispostas em aterros industriais.

Considerando o sistema ligante adotado, a indústria de fundição distingue dois tipos principais: a areia verde e a areia ligada quimicamente. A primeira utiliza areia, bentonita e pó de carvão, e a segunda utiliza resina fenólica e pó de carvão (COMISSÃO DO MEIO AMBIENTE DA ABIFA, 1999).

Pelo processo das fábricas, as areias são misturadas, mas existe um número de vezes que limitam reinserir dentro do processo, em virtude dos grãos perderem o formato angular que se precisa para o uso nos moldes. Nesta fase, quando as areias não podem mais ser reintroduzidas no processo, elas recebem o nome de areia descartada de fundição (ADF) (ZANETTI; FIORE, 2003).

São dois os principais tipos de areias de moldagem: areia verde e a areia ligada quimicamente, que podem ser definidas conforme o processo ligante escolhido. Para construção dos moldes, que formam as partes externas da peça a ser fundida, é utilizada areia aglomerada com argila e, para os machos, são usadas as areias aglomeradas com resinas sintéticas, que geralmente são de origem fenólica (COUTINHO NETO e FABBRI, 2005).

3.6 REUTILIZAÇÃO

O produto que pode ser reutilizado entra no final da cadeia produtiva, na montagem ou acabamento do produto. Entretanto, a parte que pode ser reaproveitada deve estar em bom estado

de conservação e pronta para ser novamente utilizada, sendo que a reutilização é indicada para o cumprimento de funções “invisíveis” aos consumidores. Pode-se estipular que um material é classificado como reutilizado se o mesmo exigir um processamento cujo custo não ultrapasse 15% do custo final do produto, obtido a partir de um processo de reciclagem ou recuperação (VALLE, 2002).

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), está desenvolvendo um projeto com o título de “Desenvolvimento de Processos de Regeneração de Areias de Fundição Utilizando Unidade Móvel de Tratamento”, que poderá recuperar as areias com um custo estimado entre 20 e 40 reais por tonelada, beneficiando especialmente as pequenas e médias empresas de fundição. Segundo Cláudio Mariotto (IPT-maio/2000), em todo o país, as empresas de fundição geram muitas toneladas de areia de fundição. Depositá-las em aterros custaria até 200 reais por tonelada.

Segundo Lerípio (2001, p.2), “a relação meio ambiente e desenvolvimento deve deixar de ser conflitante para tornar-se uma relação de parceira. O ponto-chave da questão passa a ser a necessidade de uma convivência pacífica entre a qualidade do meio ambiente e o desenvolvimento econômico, tendo em vista que são variáveis dependentes entre si”.

Ainda segundo Lerípio (2001, p.2), “as organizações de um modo geral não podem mais desconsiderar os aspectos relacionados à proteção ao meio ambiente. Diante disso, a variável ambiental vem se tornando mais um importante diferencial competitivo com o qual as empresas devem se preocupar”.

O reaproveitamento de resíduos de fundição na Europa é recente, mas com muito desenvolvimento, por se tratar de uma prioridade dentro da indústria europeia, graças aos seus benefícios relacionados à preservação ambiental.

Para reduzir a quantidade de resíduos gerados e incentivar o aproveitamento de resíduos nos últimos 15 anos, diversos países da Europa, com atenção especial aos com áreas territoriais limitadas, aumentaram o valor dos impostos das áreas destinadas à instalação de aterros (SILVA, 2007).

No Brasil, estudos realizados comprovam a viabilidade técnica do uso da areia de fundição como matéria-prima, substituindo o agregado miúdo na composição do concreto asfáltico.

Conforme Coutinho (2004), as misturas asfálticas com o resíduo de areia de fundição apresentam adequadas propriedades que servem para uma camada de revestimento, quanto às propriedades mecânicas. Com o uso de até 15% de areia de fundição, demonstraram que o resíduo não oferece risco ambiental.

De acordo com Bonet (2000), ao adicionar 8% do resíduo de areia de fundição em concreto asfáltico, ficou demonstrado que a mistura possui boas propriedades mecânicas e fica dentro dos limites máximos da norma NBR 10004.

Com estudo semelhante, Stefenon (2003) estudou a adição de 7% do resíduo de areia de fundição na confecção de concreto asfáltico, e concluiu que o concreto asfáltico contendo o resíduo atende as especificações do DNIT. Destaca ainda que não representa riscos com relação aos poluentes ao meio ambiente.

3.7 MISTURA ASFÁLTICA PARA RODOVIA

Apesar das diversas crises petrolíferas no mundo e aqui no Brasil, a preferência é por pavimentação com misturas betuminosas. Nesta pesquisa chamaremos de mistura asfáltica. Esse uso intenso se deve a cinco fatores: preço competitivo, a impermeabilidade do ligante, a possibilidade de se trabalhar com temperaturas diversas, a durabilidade das misturas asfálticas e a adesividade do ligante aos agregados (SENÇO, 1997).

Conforme a Norma do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER-ES) 313/97, a mistura asfáltica é executada em usina apropriada com controle de características específicas, composta de agregado mineral graduado, material de enchimento (filler) e ligante betuminosos, espalhada e comprimida a quente.

Em uma obra, essa mistura deve apresentar durabilidade, resistência, estética e economia. É obvio que tais propriedades têm relação direta com os materiais que serão utilizados.

Segundo Coelho et al., 1995, o tempo de duração de carga e a temperatura em que o pavimento se encontra são fatores que influem diretamente nas relações em que se constituem as camadas asfálticas dos pavimentos.

Conforme o Asphalt Institute (1995), o objetivo do projeto das misturas asfálticas para pavimentação é determinar, dentro dos limites das especificações de projeto, com um custo

interessante, uma combinação de agregados minerais e massa de asfalto que produza uma mistura que apresente as características.

- Asfalto suficiente que forme uma espessura adequada de camada de cimento asfáltico, que assegure a durabilidade.

- Estabilidade necessária para suportar as exigências do trânsito, evitando deslocamento ou distorção.

- Vazios suficientes na mistura, que possam vir a permitir uma compactação adicional do trânsito e uma expansão do asfalto em virtude da dilatação que a temperatura causa.

- Um teor máximo de vazios que venham a impedir a permeabilidade prejudicial do ar e da umidade.

- Trabalhabilidade que permita lançamento bom da mistura sem comprometer a sua estabilidade e desempenho.

- Superfície com rugosidade que venha a fornecer uma capa com resistência suficiente à derrapagem em condições adversas.

Os asfaltos têm uma cor escura, são materiais aglutinantes, são constituídos por mistura de hidrocarbonetos não voláteis com elevada massa molecular. Originados do petróleo.

No entanto, a ideia é conseguir uma mistura para ter pavimento com durabilidade, resistência, rigidez, resistência à derrapagem e resistência à fadiga.

Durabilidade é a propriedade de resistir às intempéries com análise, pois existem variações com temperatura, clima da região e também esforço causado pela intensidade do trânsito.

Resistência é a propriedade do pavimento de resistir a esforços de tensões externo ou interno que o trânsito pode gerar no pavimento sem comprometer a estrutura, sem que apareçam trincas ou fissuras.

Impermeabilidade é a propriedade da mistura de impedir a penetração de ar e/ou umidade que venha a comprometer a durabilidade do pavimento. A penetração do ar favorecerá o envelhecimento da mistura por oxidação, enquanto a umidade em excesso deixará o agregado mais suscetível ao descolamento do asfalto de sua superfície (stripping).

Estabilidade é a grandeza que mede a resistência da massa asfáltica, sendo deformações permanentes de curta duração ou de longa duração. Adota o ensaio Marshall como ótima referência.

Rigidez é um terreno estável que permite boa tração e desenvolvimento de velocidade, em escala de rigidez o asfalto é o segundo piso mais duro, perdendo somente para o cimento. Baixas temperaturas favorecem a rigidez, mas criam um problema de fragilidade na mistura. Temperaturas muito altas atrapalham o asfalto a resistir à solicitação do carregamento do tráfego.

Trabalhabilidade é uma condição em que a mistura se torna fácil de ser preparada, lançada ao solo e compactada. De forma geral, os problemas são vistos durante a pavimentação.

Flexibilidade é uma propriedade que indica a disposição da mistura se esticar sem sofrer danos, sem ocorrência de fissuras e com facilidade de se adequar as deformações permanentes das camadas inferiores. Também se relaciona à flexibilidade, à resistência, à fadiga que sofre influência da temperatura e da quantidade de camadas de massa de asfalto, sendo que a flexibilidade é diretamente proporcional à temperatura.

Resistência à derrapagem é a propriedade da mistura conseguir uma superfície de pavimentação que ofereça resistência ao deslizamento dos pneus, o que contribui para a aderência e melhora muito a segurança para os condutores. Fatores como neve, muito calor e ou chuva podem diminuir a aderência, precisando haver limite de velocidade máxima em tais condições.

As misturas podem ser acrescentadas de compostos de cimento asfáltico, agregados miúdos e graúdos e de alguns itens modificadores que podem ser borracha de pneus, polímeros para ter uma melhoria de um ligante chamado de adesividade do agregado.

3.8 CONCRETO DE PETRÓLEO

O CAP (concreto asfáltico de petróleo) é o asfalto obtido especialmente para apresentar características adequadas para o uso na construção de pavimentos, podendo ser obtido por destilação de petróleo em refinarias ou do asfalto natural encontrado em jazidas. Apresenta-se em estado semissólido à temperatura ambiente, inodoro e de cor preta brilhante. Necessita ser aquecido para que se obtenha a consistência adequada à trabalhabilidade e compactação das misturas asfálticas, contribuindo com a coesão necessária após o seu resfriamento. Possui característica de flexibilidade, durabilidade, impermeabilização, aglutinação e elevada resistência à maioria dos ácidos, sais e álcalis (SOUZA, 1980).

Os cimentos asfálticos são classificados pelo seu “grau de dureza” (consistência) retratado no ensaio de penetração, ou seja, pela medida em décimos de milímetros que uma agulha

padronizada penetra em uma amostra em ensaio, pela viscosidade. Este é o tempo necessário ao escoamento de um volume determinado de asfalto por meio de um tubo capilar, com auxílio de vácuo, sob condições controladas de vácuo e temperatura (PINTO, 1998^a).

Segundo Senço (1997), asfaltos são materiais aglutinantes de consistência variável, apresentando cor pardo-escuro ou negra e cujo componente predominante é o betume, podendo ocorrer na natureza, em jazidas, ou ser produzido pelo refinamento de petróleo.

No Brasil, o asfalto colocado na pavimentação de rodovias é de refino do petróleo, que tem controle de viscosidade e da densidade da massa de asfalto, sendo adequado para a região.

Segundo Senço (1977), a destilação do petróleo pode ser feita dos seguintes modos:

- Destilação seca: alguns constituintes de alto ponto de ebulição são decompostos e se fragmentam, originando uma grande gama de elementos de baixo ponto de ebulição. Esse processo é empregado quando a meta é produzir o máximo de combustível e gasolina.

- Destilação a vapor: esse tipo de destilação visa injetar vapor seco no destilador, que gera a vaporização dos constituintes voláteis, diminuindo a decomposição do destilado e do resíduo. Com o uso deste processo em petróleos asfálticos, a carga é destilada até que o resíduo obtenha a consistência adequada, que exige um monitoramento da destilação, gerando um resíduo de ponto de fusão cada vez mais alto, ou seja, com maior consistência.

- Destilação a vácuo: pressão menor do que a pressão atmosférica, com temperatura mais baixa de adquirir as mesmas quantidades voláteis que outros processos. Muito bom para petróleo de alto rendimento de asfalto.

Segundo as Especificações Brasileiras IBP/ABNT-DB-78 e o regulamento Técnico DNC 01/92, revisão 1 e 2, cimentos asfálticos de petróleo são classificados por sua penetração em CAP 30-45, CAP 50-60, CAP 85-100 e CAP 150-200 e pela sua viscosidade em CAP 7, CAP 20 e CAP 40 (PINTO, 1998^a).

Segundo Leite (1999), o cimento asfáltico de petróleo (CAP) é um líquido muito viscoso, semissólido ou sólido à temperatura ambiente, que vira líquido quando aquecido e volta ao estado normal após resfriamento (comportamento termoplástico).

Das 13 refinarias instaladas no Brasil, a maioria é da Petrobrás (11 da Petrobrás, sendo 1 da Ipiranga e a outra é a refinaria de Manguinhos), sendo que apenas 9, todas da Petrobrás, produzem o CAP. Em apenas duas dessas refinarias trabalham com “Unidades de Fabricação de Asfalto”. Estas duas ficam em Mataripe – BA (RLAM) e Fortaleza (LUBNOR).

Pode ser visto na Tabela 5 especificações dos cimentos asfálticos classificados por penetração.

Tabela 5 - Cimento asf. petróleo - classif. penetração - RT 01-92 - Rev. 02 – DNC

CARACTERÍSTICAS	Unidade	Valores				MÉTODOS ABNT	ASTM
		CAP 30/45	CAP 50/60	CAP 85/100	CAP 150/200		
Penetração (100 g. 5s, 25°C)	0,1 mm	30 a 45	50 a 60	85 a 100	150 A 200	MB 107	D5
Ductilidade a 25°C	cm	60 min.	60 min.	100 min.	100 min.	MB 167	D113
Efeito Calor e Ar 163°C por 5 h Penetração	%	50 min.	50 min.	47 min.	40 min.	MB 107	D5
Varição de Massa	%	1,0 máx.	1,0 máx.	1,0 máx.		MB 425	D1754
Índice Suscetibilidade Térmica	cm	(-1,5) a (+1)	(-1,5) a (+1)	(-1,5) a (+1)	(-1,5) a (+1)		
Ponto de Fulgor	°C	235 min.	235 min.	235 min.	220 min.	MB 50	D92
Solubilidade Tricloroetileno	% massa	99,5 min.	99,5 min.	99,5 min.	99,5 min.	MB 166	D2042
Saybolt Furol SSF 135°C	S	110 min.	110 min.	85 min.	70 min.	MB 517	3102, D2170, D2161

Fonte: Adaptado de DNER (1998).

Na Tabela 6 pode ser visto as especificações dos cimentos asfálticos classificação por Viscosidade.

Tabela 6 - Cimento asf. petróleo - classif. viscosidade - RT 01-92 - Rev. 02 – DNC

CARACTERÍSTICAS	Unidade	Valores			MÉTODOS ABNT	ASTM
		CAP 7	CAP 20	CAP 40		
Viscosidade 60°C	P	700 a 1500	2000 a 3500	4000 a 8000	MB 827	D2171
Viscosidade Saybolt Furol SSF 135°C	s	100 min.	120 min.	170 min.	MB 517	D102d, D2170 D2161 e 102D
Viscosidade Saybolt Furol SSF 177°C	s	15 a 60	30 a 150	40 a 150	MB 517	D2170 D21611
Efeito Calor e Ar 163°C por 5 h razão Viscosidade		4,0 máx.	4,0 máx.	4,0 máx.		
Viscosidade Var Massa	%	1,0 máx.	1,0 máx.	1,0 máx.	MB 425	D1754
Ductilidade a 25°C Índice Susc	cm	50 min.	20 min.	10 min.	MB 167	D113
Índice Suscetibilidade Térmica	cm	(-1,5) a (+1)	(-1,5) a (+1)	(-1,5) a (+1)		
Penetração (100 g. 5s. 25°C)	0,1 mm	90 min.	50 min.	30 min.	MB 105	D5
Ponto de Fulgor	°C	220 min.	235 min.	235 min.	MB 50	D92
Solubilidade Tricloroetileno	% massa	99,5 min.	99,5 min.	99,5 min.	MB 166	D2042
Densidade (20/4°C) mínima		0,9990	0,9990	0,9990		D70

Fonte: Adaptado de DNER (1998).

As classificações apresentam vantagens e desvantagens. Na classificação por penetração, os ensaios são rápidos, acabam não oferecendo subsídios que sejam capazes de avaliar o desempenho à temperatura de compactação e de mistura.

Já com a classificação por viscosidade, os ensaios são demorados e não se aplicam a materiais não Newtonianos, cujas propriedades são dependentes da taxa de cisalhamento, mas permitem e conseguem uns subsídios para obter a temperatura de mistura e compactação.

3.9 AGREGADOS

A ABNT, por meio da NBR 9935/2005, define “agregados” como materiais inertes, granulares, sem um formato e com dimensões definidas, que apresentam propriedades necessárias para suportar os esforços e desgastes em um elemento estrutural na construção.

A quantidade de agregado mineral em misturas asfálticas de pavimentação é um parâmetro importante. Esta quantidade de mineral acaba sendo um pouco responsável pela capacidade de suporte de carga dos revestimentos, influenciando assim o desempenho dos pavimentos.

Na pavimentação asfáltica, o agregado é usado normalmente na base e de modo eventual na sub-base (ASPHALT INSTITUTE, 1989).

3.9.1 Classificação dos Agregados

É importante destacar que o desempenho de um agregado depende de propriedades geológicas: a composição do minério, composição química e a sua granulometria, a tendência a se degradar, a abrasão e o potencial de adesão do ligante asfáltico na superfície.

Ainda assim existe o pensamento necessário para um estudo mais aprofundado para partir de uma ideia que comprove que o uso da areia como agregado encapsulado seja seguro e que de nenhuma forma viria a contaminar o meio ambiente.

Sendo assim, a utilização no revestimento asfáltico é uma grande variedade. Cada uso de agregados deve ser estudado para não ser inviabilizado.

Os agregados utilizados em pavimentação podem ser classificados em três grupos: conforme a natureza, conforme o tamanho e conforme a sua distribuição dos grãos.

No que diz respeito à natureza, os agregados são usados conforme se encontram na natureza, exceto nas operações de britagem e lavagem, podendo citar: areias, cascalhos e saibros. Podem ser classificados como artificiais se ocorrer uma alteração física ou química de outros materiais, como argila ou escória do alto forno.

O tamanho deve ser levado em conta quanto à utilização dos agregados em misturas asfálticas, como material de enchimento ou filler, gráudo e miúdo (DNIT 031-2004 – ES).

- a) Material de enchimento “filler”: é o material com 65% das partículas. É inferior a 0,075 mm, o que equivale à peneira de nº 200. Um exemplo é o cimento Portland.
- b) Gráudo: é o material que tem dimensões superiores a 2,0 mm, que acaba retido na peneira de nº 10. Podemos citar o cascalho, brita e outros.
- c) Miúdo: esse material fica com dimensões maiores do que 0,075 mm e menores do que 2,0 mm, sendo o material que fica retido na peneira nº 200, mas que deixa passar na abertura 10. Esse material que citamos são as areias finas, pó de pedra e outros.

3.10 PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA

Como um plano para uma mistura final, é necessário avaliar alguns itens para um ponto de partida, verificar qual a mais viável por sua durabilidade, economia e resistência em um local planejado onde o pavimento será implementado. Para isso, o mais indicado é um estudo da região, analisando as propriedades e montando uma mistura que tenha um bom desempenho e que seja eficiente ao longo do tempo. Também é muito importante destacar a escolha do tipo de material asfáltico que se quer empregar, com base na localização geográfica do pavimento e do tipo de estrutura que se pretende implantar.

Os pavimentos asfálticos são aqueles em que o revestimento pé composto por uma mistura de agregados e ligantes asfálticos, formados por quatro camadas principais: revestimento asfálticos, base, sub-base, reforço de subleito.

O revestimento asfáltico é a camada superior que se destina a resistir diretamente às ações do tráfego, impermeabilizar o pavimento e melhorar as condições de rolamento.

Segundo Leite (1999), o asfalto é considerado como o resíduo formado com o processo de destilação a vácuo do petróleo, e utiliza um ligante agregado de minerais na formação do

pavimento asfáltico. Nos Estado Unidos é conhecido como “asphalt cement”, na Europa como “bitumen” e no Brasil como cimento asfáltico de petróleo (CAP).

O CAP é produzido para gerar uma qualidade e consistência próprias para o uso nas construções e manutenção de pavimentos asfálticos. Apresenta propriedades impermeabilizantes e aglutinantes e possui boas características de durabilidade e flexibilidade.

Em termos de constituição, o CAP tem de 90 a 95% de hidrocarbonetos e de 5 a 10% de heteroátomos. Compostos de oxigênio, enxofre, nitrogênio e metais como vanádio, níquel, ferro, magnésio e cálcio.

Como parâmetro, os asfaltos podem ser apresentados em proporções de componentes: carbono de 82 a 88%; hidrogênio de 8 a 11%; enxofre de 0 a 6%; oxigênio de 0 a 1,5% e nitrogênio de 0 a 1% (SHELL,2003).

Para o projeto de mistura são utilizados os métodos Marshall (estabilidade e fluência) e o método Hveem (estabilidade e coesão). Estes são mundialmente usados e oferecem bons resultados.

O uso de cada método depende dos critérios que foram desenvolvidos de forma empírica, com resultados em laboratório, com mistura compactada, com a pavimentação em condições reais que seriam usadas em serviço, quanto ao tráfego e condições climáticas regionais. Em ambos os métodos são preparados um conjunto de corpos de prova com os materiais previamente especificados. Como procedimento existe uma seleção e caracterização dos materiais, amostras compactadas, ensaios necessários para determinar propriedades volumétricas e resistência, e se faz uma análise dos resultados.

3.10.1 Concreto Betuminoso Usinado a Quente (C.B.U.Q.)

O Concreto Betuminoso Usinado a Quente, revestimento que é flexível e resultado da mistura a quente, em usina adequada para este uso, com um agregado graúdo, miúdo, e material de enchimento e cimento asfáltico de petróleo (CAP) com uma proporção definida para atender os requisitos de resistência, densidade, que precisa atender padrões pré-estabelecidos. Esse tipo de concreto betuminoso precisa de um aquecimento dos componentes com temperatura entre 140 e 180° C. A distribuição e compactação na pista com uma temperatura entre 80° c e 140° C. Em virtude da ligação entre agregados, os CBUQs resistem bem às ações mecânicas de desagregação produzida pelo trânsito dos veículos.

O ligante asfáltico utilizado nos concretos asfálticos é o cimento asfáltico de petróleo (CAP), que é classificado conforme a consistência medida pela viscosidade dinâmica ou absoluta. Conforme com a Especificação Brasileira IBP/ABNT-EB-78, os cimentos asfálticos de petróleo (CAP), se classificam em CAP7, CAP20 e CAP55.

Segundo o IBP (1986), o CAP é um material termoplástico ideal par aplicação em pavimentação, com suas propriedades impermeabilizantes e aglutinantes, com características de boa resistência a ação dos ácidos, sais e álcalis e uma boa flexibilidade.

Segundo Leidel (1993), a indústria de asfalto prefere agregados angulares em vez de formas arredondadas utilizadas em fundições, sendo esta uma característica importante na composição da massa asfáltica. Mesmo assim o uso dos resíduos de areias de fundição ainda pode ser um bom material para se trabalhar.

Devem ser constituídas por matérias minerais finamente divididas, como o cimento Portland, cal, pó calcário e que o material passante na peneira nº 200 seja de no mínimo 65%.

A mistura asfáltica para capa de rolamento, quando dosada pelo método Marshall, deve satisfazer as características DNER – ME 43/64:

Porcentagem de vazios = 3 a 5 %.

Relação betume/vazios = 75 – 82%.

Estabilidade = 350 a 700 kgf.

As misturas para concreto asfáltico não devem ter variações na granulometria, maiores que as especificadas no projeto e o teor de cimento asfáltico. Poderá variar até mais ou menos 0,3 % em relação à massa total.

Segundo Ceratti (1997), a dosagem da mistura asfáltica deve ser realizada de forma a garantir durabilidade, resistência à fadiga e estabilidade à deformação plástica da mistura, face às condições de clima, do tráfego e da estrutura do pavimento.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo são descritas as formas de gestão e as técnicas que foram empregadas na caracterização de matéria-prima da areia de fundição e ensaios que foram planejados para análise experimental.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS EMPRESAS

O setor escolhido foi o de fundição um estudo de caso com 2 (duas) empresas numa melhoria contínua por força da lei que os obriga a melhorar, pois sempre apresentaram um baixo desempenho ambiental e pelo possível potencial como um reciclador de materiais.

Inicialmente, com uma pesquisa de empresas metalúrgicas da região, foram levantados os seguintes dados: (i) Identificação da empresa, sendo descrito como empresa A e B empresas que aceitaram o estudo. (ii) Localização, interior de São Paulo, próximo a cidade de Sertãozinho num raio de até 150 km. (iii) Processo de fusão de metais. Empresas de fundição de aço da linha branca e do setor sucroalcooleiro.

Após o levantamento das empresas no setor de fundidos, estabeleceu-se contato com as mesmas, enviando para participarem da pesquisa. Cinco empresas foram contatadas, apenas duas se propuseram a participar e foram denominadas apenas como empresa A, B.

Para levantamento com critérios para classificação do porte das empresas envolvidas, adotou-se, conforme pode ser visto na Tabela 7, a definição do Sistema SEBRAE, em função do número de empregados.

Tabela 7 - Classificação do porte das empresas segundo o número de empregados

Porte	Comércio e Serviços	Indústria
Microempresa (ME)	Até 9 empregados	Até 19 empregados
Empresa de Porte Médio (EPP)	De 10 a 49 empregados	De 20 a 99 empregados
Empresa de Médio Porte	De 50 a 99 empregados	De 100 a 499 empregados
Grandes Empresas	100 ou mais empregados	500 ou mais empregados

Fonte: SEBRAE-NA/ Dieese. Anuário trabalho mic. Peq. empresa, 2013, p. 17. Adaptado

4.2 PARÂMETROS ORGÂNICOS E INORGÂNICOS AREIA DE FUNDIÇÃO

Foi realizado o levantamento bibliográfico em livros referente à pesquisa proposta, com ênfase nas perdas das características durante o processo industrial, levantando os prováveis pontos de contaminação do resíduo nas diversas fases do processo. Adicionalmente foram feitas visitas técnicas na fundição das empresas A e B na fábrica para acompanhamento e melhor compreensão de todas as fases do processo de fundição visando a formulação do fluxograma das atividades e da geração dos resíduos de areia. Para a coleta das amostras de matérias-primas, areias e resíduos os laboratórios contratados pelas empresas na época que seguiram como parâmetro a norma NBR 10007. ABNT (2004).

O estudo das propriedades das matérias-primas, areias e resíduos foi efetuado por meio de classificação e da determinação da composição química das amostras coletadas pela realização de testes de lixiviação, solubilização.

4.2.1 Normas utilizadas

A CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo) aponta critérios para enquadrar a areia de fundição que possa ser reutilizada na produção de massa asfáltica, ou artefatos de cimento e ou de concreto, itens aprovados na Decisão de Diretoria n.º 152/2007/C/E de 08 de agosto de 2007.

Dessa forma, as propostas para a reutilização da areia de fundição gerada anualmente têm que ser avaliadas conforme os critérios:

- 1) Ser classificado como classe IIA ou IIB, de acordo com o que diz a Norma NBR 10004/2004.
- 2) Ter uma concentração de poluentes no lixiviado, obtido conforme a Norma ABNT NBR 10005/2004, sendo menores ou iguais os VMP estabelecidos conforme apontados pela CETESB.
- 3) Apresentar um pH em uma fixa entre 5,0 e 10,0.

4.3 ANÁLISE DA VIABILIDADE E APLICABILIDADE DO USO DA AREIA DE FUNDIÇÃO.

As matérias-primas da areia de fundição foram coletadas para ensaio por empresa contratada especialista. Laboratórios acreditados em análise que foram contratados pelas empresas A e B, os laboratórios são aqui chamados apenas como laboratório X e o laboratório Y, seguindo todos os procedimentos do método de coleta na Norma NBR 10007 ABNT (2004) e as orientações da USEPA.

4.3.1 Classificação dos materiais

Nessa seção serão descritos os métodos analíticos da caracterização dos materiais empregados nos ensaios. O Quadro 1 mostra os métodos analíticos que foram seguidos

Quadro 1 - Métodos analíticos – referência do ensaio.

Métodos analíticos:
Fluoretos: SMEWW 4500-F-C – Ion Selective-Electrode Method
pH: SMEWW 4500 –h+ - B – Eletrometric Method
Ponto de Fulgor: Medida em Vaso Fechado
Cianeto (FIA): POP PA 122 / Method OIA-1677
SVOC's POP PA 076,096 / USEPA SWW 846-8270D e 3510C, SMWW 6410B
Mercúrio: POP PA 037 / USEPA 1631, 245.7
Ânions: POP PA 032 / USEPA SW 846 – 300.1
Surfactantes: POP PA 023 / SMWW 5540 C
Metais (ICCP-OES): POP PA 035 / SMWW 3120 B, USEPA 6010
Índice de Fenóis – Água: POP PA 024 / USEPA SW 846 – 9065
Lixiviação: POP PA 062 / ABNT NBR 10005: 2004
VOC – Água: POP PA 075 / USEPA SW 846 8260 CC, 5021 A
VOCC 2 – Lixiviado: POP PA 075 / USEPA SW 846 8260C, 5021 A
Sólidos Totais: POP PA 009 / SMWW 2540 B
Solubilização: POP PA 053 / ABNT NBR 10006: 2004
Sulfeto: POP PA 065 / USEPA SW 846 – 9030, 9034
Toxafeno: POP PA 063 / USEPA SW 846 - 505

Fonte: Adaptado de Laboratório Y Análise Acreditada. 2011

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAR AS EMPRESAS

Sendo a empresas A de porte médio gera uma quantidade de areia e armazena em aterro próprio próximo a fábrica.

Referente ao uso da areia de fundição para massa asfáltica, a empresa A produz cerca de 11 mil toneladas ao ano.

A empresas B de porte médio gera uma quantidade de areia e têm mais gastos para armazenagem, envia a areia para aterro industrial, sendo que produz 8mil toneladas por ano.

A empresa B mandam para o aterro de Guatapar-SP. Tm sazonalidade do setor e, tambm,  empresa exportadora.

A avaliao realizada neste trabalho teve lugar em indstrias de mdio porte localizadas no interior de So Paulo. A escolha foi o interesse pela proximidade geogrfica. A regio tem um polo industrial com diversas empresas do ramo de fundio.

Ambas empresas demonstraram muito interesse em disponibilizar a areia para ser retirada para estudo e gostariam de saber mais sobre propostas de reutilizao da areia para uso em rodovias e outras que possam usar areia descartada de fundio.

O setor de fundio, de forma geral, por ser um gerador de materiais e considerado um grande poluidor e com um baixo desempenho ambiental, j vem implementando a reciclagem e pode vir a ser reciclador de areia j utilizada. Partindo de uma regio predefinida, sendo o interior de So Paulo uma regio onde se levanta dados de identificao e localizao. Para uma identificao prvia, foi feita uma consulta aos dados da Fiesp (Federao das Indstrias do Estado de So Paulo) e do Sifesp (Sindicato das Fundio do Estado de So Paulo).

Com a identificao e aceitao das empresas, comeou-se um trabalho de contato sendo feito convites para uso em pesquisa, sendo que como uma forma da continuidade sem exposio fez-se um acordo de sigilo dos nomes dos profissionais e das empresas que sempre ficam preservados citados apenas como Empresa A, e Empresa B.

A empresa A fez um amplo estudo e partiu para a construo de um aterro prprio em um terreno adquirido anos atrs com cerca de 10 km de sua fbrica com o qual faz o armazenamento de toda a sua areia. A produo  de 11 mil toneladas de areia por ano.

A Empresa A com estudos e uma decisão interna contratou profissionais experientes para atender o projeto e toda a legislação, fez todo um investimento para preparar e desenvolveu tudo o que a lei exige para poder utilizar o aterro, que pode ser visto na Figura 8.

Figura 8 - Aterro próprio da empresa A



Fonte: Autor, 2017.

Conforme pode ser visto na Figura 9, a empresa tem que cuidar do tratamento da água, que ela verifica constantemente.

Figura 9 - Local de tratamento e análise de água da Empresa A



Fonte: Autor, 2017.

A empresa A com o estudo e pelo formato do terreno, montou ponto da jusante e ponto de montante, inclusive com pontos de referência para observação de um ponto mais alto para um ponto mais baixo Figura 10.

Figura 10 - Local de monitoramento da Empresa A



Fonte: Autor, 2017.

A empresa B armazena a areia descartada de fundição em seu barracão coberto até formar 20 m³ de material conforme pode-se visualizar na Figura 11.

Figura 11 - Armazenagem da Areia da Empresa B



Fonte: Autor, 2017.

O resíduo fica no local até haver certa quantidade de areia que forme uma carga de 20 m³ a partir disso chama-se o caminhão. Uma máquina da fundição pega a areia e coloca na caçamba do caminhão, seguindo para pesagem e, então, finalmente indo para a cidade de Guatapará, onde a areia será armazenada em aterro industrial adequado.

A quantidade de areia que a empresa B tem é sazonal, em função de fornecimento para os setores sucroenergético, eólico e de mineração pesada. De qualquer forma, a média anual que vai para aterro de Guatapará é de 8 mil toneladas por ano.

5.2 LEVANTAMENTO DOS DADOS

Neste capítulo são apresentadas considerações adicionais a respeito da pesquisa, durante este estudo foram realizadas visitas às empresas citadas apenas como A, B no interior de São Paulo, para conversa sobre o que é feito com a areia de fundição que não pode mais ser recolocada ao processo e que iria para descarte em aterro industrial.

A empresa A contratou o laboratório X na Tabela 8 os itens **Bário, Ferro e Manganês** estão acima da faixa do VMP ensaio na areia de fundição da Empresa A, que foram feitos pelo laboratório X.

Tabela 8 - Solubilizado - parâmetros inorgânicos

NBR 10006:2004 – Solubilizado – Parâmetros Inorgânicos em areia de fundição

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP NBR 10004:2004
⇒ Arsênio	mg/L	0,01	<0,01	0,01
⇒ Bário	mg/L	0,01	0,77	0,7
Cadmio	mg/L	0,001	<0,001	0,005
Chumbo	mg/L	0,01	<0,01	0,01
Cianeto	mg/L	0,05	<0,05	0,07
Cloreto	mg/L	1	5,3	250
Cromo	mg/L	0,01	<0,01	0,05
⇒ Ferro	mg/L	0,01	0,493	0,3
Fluoreto	mg/L	0,1	0,7	1,5
Índice de Fenóis	mg/L	0,001	0,005	0,01
⇒ Manganês	mg/L	0,01	0,61	0,1
Mercurio	mg/L	0,00005	<0,00005	0,001
Nitrato (como N)	mg/L	0,1	<0,1	10,0
Sódio	mg/L	0,005	<0,005	0,05
Sulfato	mg/L	0,008	<0,008	0,01
Zinco	mg/L	0,5	14,7	200

Fonte: Laboratório X, análise acreditada. 2014

A empresa B contratou o laboratório Y para análise os ensaios feitos pelo laboratório, avaliar a existência de material contaminado que pudesse impedir envio ao aterro industrial.

Com a análise, caracterização e a liberação para o aterro, também foi feito todo um trabalho com a empresa do setor de pavimentação asfáltica que tem interesse no uso da areia de fundição. A empresa Z já atua no setor de revestimento asfáltico na região e entrou com cadastro para poder recolher, armazenar e utilizar a areia de fundição e tem toda a estrutura necessária para colocar em prática esta ideia que elimina custos para ambas as empresas e ainda contribui com o meio ambiente.

Exibem-se os dados relativos ensaios de avaliação de risco ambiental: lixiviação e solubilização da areia de fundição utilizada, isoladamente, antes de sua inclusão na massa asfáltica. Os resultados dos ensaios de lixiviação, solubilização para as areias de fundição e virgem, foram os executados pela laboratório Y, conforme Tabela 9 a 12.

A lixiviação das amostras analisadas pelo laboratório Y foi realizada conforme NBR 10.005. Com dados somente para parâmetros inorgânicos, conforme é possível ver na Tabela 9, e de acordo com a NBR 10005, seguindo parâmetros da NBR 10004; 2004, verificando o VMP (valor máximo permitido) todos os itens estão dentro da faixa aceitável, de acordo com o ensaio na areia de fundição da Empresa B, que foram feitos pelo laboratório Y. **Bário, Ferro e Manganês** estão acima da faixa do VMP ensaio na areia de fundição da Empresa B, que foram feitos pelo laboratório Y.

Tabela 9 - Lixiviado - parâmetros inorgânicos

NBR 10005: 2004 – Lixiviado – Parâmetros Inorgânicos – Areia de Fundição da Empresa B				
Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP NBR 10004: 2004
Arsênio	mg/L	0,01	< 0,01	1,0
Bário	mg/L	0,01	5,3	70,0
Cádmio	mg/L	0,001	<0,001	0,5
Chumbo	mg/L	0,01	0,280	1,0
Cromo	mg/L	0,01	0,017	5,0
Fluoreto	mg/L	0,1	<0,1	150
Mercúrio	mg/L	0,00005	<0,00005	0,1
Prata	mg/L	0,005	0,014	5,0
Selênio	mg/L	0,008	<0,008	1,0

Fonte: Laboratório x, análise acreditada. 2014

Com análise dos parâmetros orgânicos, na Tabela 10, NBR 10005, seguindo a norma da NBR 10004; 2004, verifica-se que todos os itens estão abaixo do VMP (valor máximo permitido), ensaio na areia de fundição da Empresa B, que foram feitos pelo laboratório Y.

Tabela 10 - Lixiviado - parâmetros orgânicos

NBR 10005: 2004 – Lixiviado – Parâmetros orgânicos – Areia de Fundição da Empresa B				
Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP NBR 10004: 2004
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	1,0
2,4,5-T	mg/L	0,001	<0,001	0,2
Aldrin e Dieldrin	mg/L	0,00003	<0,00003	0,003
Benzeno	mg/L	0,001	<0,001	0,5
Benzeno	mg/L	0,001	<0,001	0,5
DDT (Isômeros)	mg/L	0,0005	<0,0005	0,2

Fonte: Laboratório Y, análise acreditada. 2011

No Solubilizado parâmetros inorgânicos, Tabela 11, itens **Bário, Ferro e Manganês** estão acima da faixa do VMP ensaio na areia de fundição da Empresa B, que foram feitos pelo laboratório Y.

Tabela 11 - Solubilizado - parâmetros inorgânicos

NBR 10006:2004 – Solubilizado – Parâmetros Inorgânicos em areia de fundição				
Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP NBR 10004:2004
Alumínio	mg/L	0,01	0,033	0,2
Arsênio	mg/L	0,01	<0,01	0,01
⇒ Bário	mg/L	0,01	0,972	⇔ 0,7
Cadmio	mg/L	0,001	<0,001	0,005
Chumbo	mg/L	0,01	<0,01	0,01
Cianeto	mg/L	0,05	<0,05	0,07
Cloreto	mg/L	1	5,3	250
Cobre	mg/L	0,005	<0,005	2,0
Cromo	mg/L	0,01	<0,01	0,05
⇒ Ferro	mg/L	0,01	0,437	⇔ 0,3
Fluoreto	mg/L	0,1	0,7	1,5
Índice de Fenóis	mg/L	0,001	0,005	0,01
⇒ Manganês	mg/L	0,01	0,183	⇔ 0,1
Mercúrio	mg/L	0,00005	<0,00005	0,001
Nitrato (como N)	mg/L	0,1	<0,1	10,0
Selênio	mg/L	0,008	<0,008	0,01
Sódio	mg/L	0,5	14,7	200
Zinco	mg/L	0,01	0,120	5,0

Fonte: Laboratório Y, análise acreditada. 2011

No Solubilizado para parâmetros orgânicos, na Tabela 12, todos os itens estão dentro faixa do VMP, ensaio na areia de fundição da Empresa B, que foram feitos pelo laboratório Y.

Tabela 12 - Parâmetros orgânicos

NBR 10006:2004 – Solubilizado – Parâmetros Orgânicos em areia de fundição

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP NBR 10004:2004
2,4,5-T	mg/L	0,001	<0,001	0,002
2,4,5-TP	mg/L	0,001	<0,001	0,03
2,4-D	mg/L	0,0005	<0,0005	0,03
Aldrin e Dieldrin	mg/L		<0,000005	0,00003
Clordano (isômeros)	mg/L		<0,0001	0,0002
DDT (isômeros)	mg/L		<0,0005	0,002
Endrin	mg/L		<0,0001	0,0006
Hexaclorobenzeno	mg/L		<0,0005	0,001
Metoxicloro	mg/L		<0,0005	0,02
Toxafeno	mg/L		<0,0001	0,005
Heptacloro e Heptacloro Epóxido	mg/L		<0,0000005	0,00003
Lindano (g-BHC)	mg/L		<0,00005	0,002

Fonte: Laboratório Y, análise acreditada. 2011

No Quadro 2 podem ser vistos os dados gerados em comparativos com a norma, quanto a classificação da areia de fundição que foi analisada.

Quadro 2 - Classificação dos resíduos sólidos

LQ:	Limite de Quantificação
VMP:	Valores Máximos Permitidos pela Norma ABNT NBR 10004: 2004.
Nota 1:	Os resultados referem-se somente a amostra analisada.
Informações Complementares:	Classificação de resíduos sólidos: Um resíduo é classificado como Classe I (Perigoso) quando um ou mais parâmetros do Lixiviado estiverem acima dos valores máximos permitidos pelos anexos da NBR 10004. Um resíduo é classificado como Classe II A (Não inerte) quando um ou mais parâmetros do Solubilizado estiverem acima dos valores máximos permitidos pelo anexo G da NBR 10004. Um resíduo é classificado como Classe II B (Inerte) quando todos os parâmetros do Solubilizado e lixiviação estiverem abaixo dos valores máximos permitidos pelos anexos da NBR 10004.
Solubilizado:	Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 – Anexo G podemos afirmar que: Os parâmetros Bário, Ferro, Manganês ultrapassam os limites máximos permitidos.
Lixiviado	Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 – Anexo F podemos afirmar que: Os parâmetros satisfazem os limites permitidos Em função dos resultados obtidos, a amostra do resíduo deve ser classificada como Classe IUI A – Resíduo Não Inerte.

Fonte: Laboratório Y, análise acreditada. 2011

5.3 ANÁLISE DA VIABILIDADE QUANTO A CLASSIFICAÇÃO

Os ensaios de classificação de resíduos (lixiviação, solubilização) foram realizados no resíduo de fundição, aqui denominado areia de fundição.

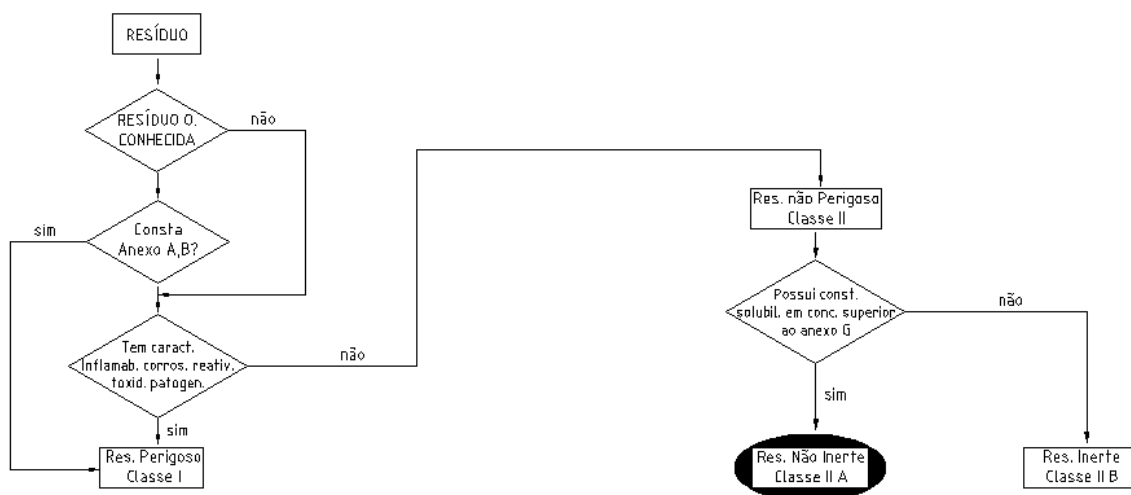
Para solubilizado: comparando-se os resultados obtidos com os valores máximos permitidos pela NBR 10004:2004 Anexo G, podemos afirmar que os parâmetros Bário, Ferro e Manganês ficaram acima dos valores máximos permitidos.

Para Lixiviado: comparando-se os resultados obtidos com os valores máximos permitidos pela NBR 10004:2004 Anexo F, podemos afirmar que os parâmetros satisfazem os limites permitidos.

Em função dos resultados obtidos, a amostra de resíduo deve ser classificada como Classe II A – Resíduo não inerte. Pois 3 elementos Bário, ferro e manganês ficaram acima dos valores máximos permitidos.

Em virtude de itens que ultrapassaram as concentrações máximas permitidas ficando dentro do Anexo G, conforme pode ser visto na figura 12 com a caracterização e a classificação da areia de fundição em um resíduo que foi analisado em laboratório, areia de fundição da empresa B.

Figura 12 - Caracterização e Classificação de Resíduos Sólidos

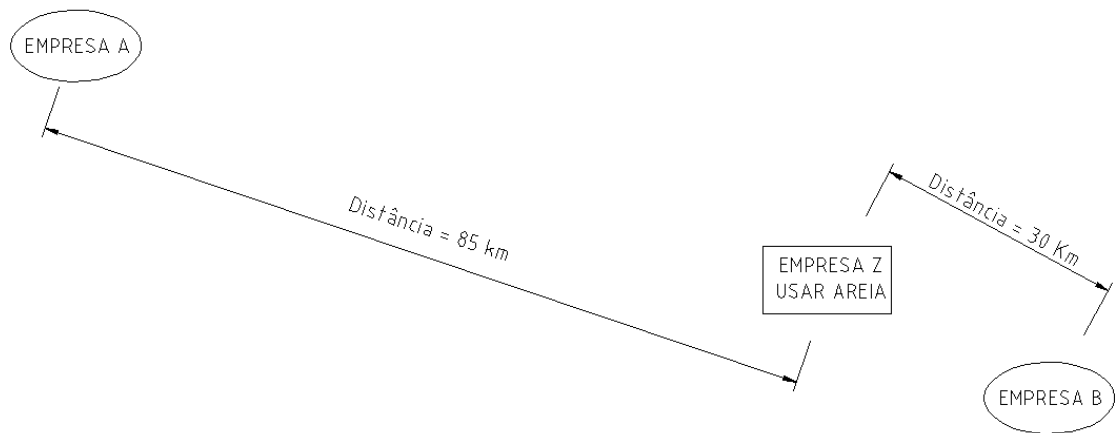


Fonte: Abetre, 2015. Adaptado

Dessa forma caso seja possível encapsular a areia impedindo qualquer possível problema a areia poderia vir a ser utilizada para uso como agregado no concreto asfáltico.

Para envio a empresa de beneficiamento consegue-se ver na Figura 13, que a distancia não é grande o que torna interessante o uso da areia nesta planta.

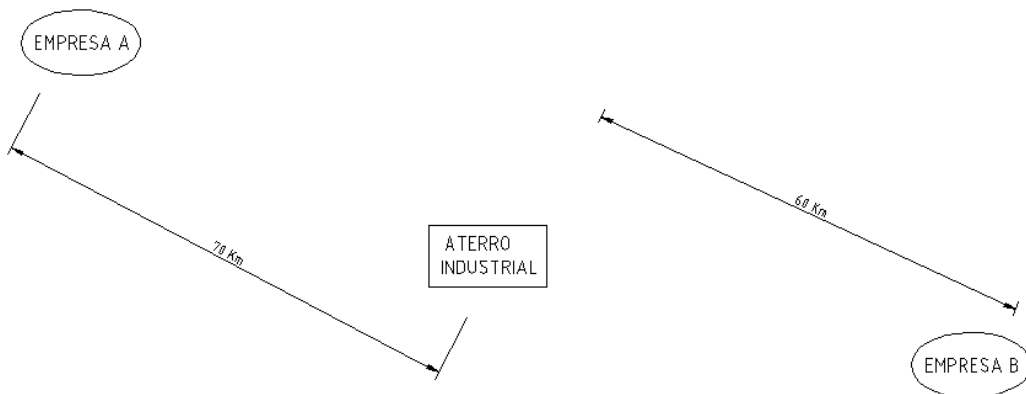
Figura 13 - Distância das Fábricas até a Empresa de Beneficiamento



Fonte: Autor, 2018.

Para uma breve comparação na Figura 14, a distância das empresas geradores de areia até o aterro industrial.

Figura 14 - Distância das Fábricas até o Aterro Industrial



Fonte: Autor, 2018.

6 CONCLUSÕES

As conclusões apresentadas nesta pesquisa teve base nos materiais bibliográficos pesquisados que indicam materiais, dosagens e técnicas de execução específicas.

Os resultados apresentados pelos laboratórios permitiram ver quanto a classificação do resíduo Areia de Fundição que a mesma se enquadra na classe II A (não inerte) resíduo não perigoso e isso abre um importante caminho sobre a viabilidade técnica da incorporação da areia de fundição o que seria uma ótima oportunidade ambiental, com a possibilidade de estudar um material agregado que fique encapsulado e que tenha uso como concreto asfáltico.

Consistiu em caracterizar as empresas quanto a porte e a produção de areia de fundição foi atingido o objetivo com duas empresas que aceitaram colaborar na pesquisa.

obtenção dos dados e análise dos resultados dos parâmetros com dados orgânicos e inorgânicos quanto a aspectos que a norma orienta para ser feito seguindo e respeitando os valores máximos permitidos dos diversos parâmetros dos diversos materiais que se encontram em areia de fundição.

Analisar a viabilidade e aplicabilidade do uso da areia fundição quanto à classificação como um agregado encapsulado na mistura de concreto asfáltico quanto à periculosidade de parâmetros laboratoriais com ensaios de lixiviação e solubilização e sendo caracterizado como um material da classe II A não perigoso. Com apenas três elementos Bário, Ferro e Manganês que ficaram dentro do anexo G, pois esses três elementos ultrapassaram o valor máximo permitido.

As fundições empregam moldagem em areia verde e areia ligada quimicamente com as proporções parecidas, o que possibilita um estudo para diminuição da toxicidade.

Sempre que possível se faz a utilização dos resíduos internamente, no mesmo processo ou em outro, modificando processos e projetos dos moldes. Contudo, os atuais processos de recuperação de areia ainda são insuficientes para que ocorra uma diminuição significativa no excedente das areias de moldagem. Com o montante de areia que se gera, o reaproveitamento da areia de fundição para uso em asfalto de rodovia é muito viável.

Diversas literaturas apontam um bom encapsulamento da areia de fundição o que com pesquisa, mostrou-se que o uso de ADF como substituição de parte do agregado miúdo no

concreto é viável tecnicamente e que uma mistura asfáltica produzida com ADF pode ter desempenho mecânico semelhante aos convencionais.

Como os percentuais de adição de ADF não apresentaram diferenças significativas nos resultados, o uso de 20% de adição apresenta-se como o teor ótimo para ajudar a reduzir o volume de descarte.

A empresa B que é uma Fundação que gera resíduo de fundição fez todo um processo burocrático e pagou todas as taxas. A empresa Z é uma Engenharia em construções com atuação em conservação rodoviária e urbana, pavimentações urbanas, pavimentação de rodovias e em áreas industriais que fez o cadastro para poder armazenar e utilizar toda a areia de fundição para uso como massa asfáltica. O processo está em análise final junto à Cetesb.

Quando um resíduo é utilizado como subproduto em outro processo industrial, oferece grandes oportunidades para a busca no desenvolvimento sustentável, necessitando de muita pesquisa e muito investimento até que este resíduo seja reaproveitado de forma eficiente e correta.

A maior conexão entre a indústria, universidade, governos e seus órgãos ambientais é o melhor caminho na busca de um melhor desenvolvimento para o gerenciamento dos resíduos industriais, com ampliação das pesquisas e investimentos privado e público que promovam o desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS

- ABETRE – Associação Brasileira de Empresas de Resíduos. **Perfil do setor de tratamento de resíduos**. Disponível em: http://www.abetre.org.br/estudos-publicacoes/publicacoes/publicacoes-abetre/copy2_of_ABETREPerfildoSetordeTratamentodeResduos042013.pdf. Acesso em: 02 jan. 2018.
- ABIFA – Associação Brasileira de Fundição. Soluções para as areias descartadas de fundição – ADF. **Revista Fundição & Matérias-primas**, 98^a ed., São Paulo, Julho, 2008.
- ABIFA – Associação Brasileira de Fundição. Soluções para as areias descartadas de fundição – ADF. **Revista Fundição & Matérias-primas**, 193^a ed., São Paulo, Junho, 2016.
- ABIFA – Associação Brasileira de Fundição. **Guia ABIFA de fundição**. São Paulo. 2015.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – procedimentos – NBR 15115**. Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Amostragem de resíduos sólidos – NBR 10007**. Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Resíduos sólidos – classificação – NBR 10004**. Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Resíduos sólidos – classificação - NBR 10006**. Rio de Janeiro, 2004.
- ADEGAS, Roseane Gonçalves. **Perfil ambiental dos processos de fundição ferrosa que utilizam areias no Estado do Rio Grande do Sul**. 108 f. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais). Escola de Engenharia, UFRGS, 2007.
- ASPHALT INSTITUTE. (MS-4) The Asphalt Handbook**, 1989.
- _____. **Mix design methods for asphalt concrete and other hot-mix types. Manual series n° 2 (MS-2)**. Sixth edition. Lexington, Kentucky/USA:Executive Offices and Research Center, 1995.
- BAPTISTA, C. N. **Pavimentação, revestimentos, pavimentos rígidos, conservação dos pavimentos**. 1^a ed. São Paulo: Globo, 1975.
- BELLO, Célia Vieira Vitali. **Zeri: uma proposta para o desenvolvimento sustentável, com enfoque na qualidade ambiental voltada ao setor industrial**. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) -. Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis. Disponível em: <http://www.eps.ufsc.br/disserta98/bello/#A>>. Acesso em: 15 out. 2017.

BONET, I. I. PANAROTTO, C. T.; POSSAMAI, O. **Valorização do resíduo de areia de fundição (RAF):** Incorporação nas massas asfálticas do tipo C.B.U.Q. (Concreto betuminoso usinado a quente). 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais...** Joinville: [s.n.], 2003.

BRADASCHIA, C. et al., (1981). **Fundição de ligas não ferrosas.** Notas de aulas. ABM Associação Brasileira de Metais. 3ª ed. São Paulo: Édile Serviços Gráficos e editora Ltda.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente – Conama. Resolução Conama nº 313/2002. Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais. **Diário Oficial da União**, nº 226, Seção I, p. 85-91. Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_2002_313.pdf> Acesso em: 27 ago. 2016.

CAMPOS FILHO, M. P. **Solidificação e fundição de metais e suas ligas.** São Paulo:Edusp, 1978.

CAREY, P. Sand, binders, sand preparation & coremaking. **Foundry Management & Technology**, v. 122, n. 1, p. D3–D12, 2002.

CARNIN, Raquel Luísa Pereira. **Reaproveitamento do resíduo de areia verde de fundição como agregado em mistura asfáltica.** 2008, Tese de Mestrado. Departamento de Química, UFPR.

_____.; SILVA, Cláudio de Oliveira; POZZI, Ricardo José; CARDOSO JÚNIOR, Dirceu; FOLGUERAS, Marilena Valadares; MAIKOWSKI, Wendel. **Desenvolvimento de peças de concreto (Paver) contendo areia descartada de fundição para pavimento intertravado.** Artigo Técnico, Revista Pavimentação, ano V, out./nov./dez. de 2010, 57-67.

CASOTTI, Bruna Pretti; BEL FILHO, Egmar del; CASTRO, Paulo Castor. P.C. **Indústria de fundição:** situação atual e perspectivas. Metalúrgica, BNDS Setorial, nº 33, p-121-162. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes/pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3304.pdf>. Acesso em: 30 maio 2017.

CEMPRE. **Reciclagem atrai novos empreendimentos.** Disponível em: [hppt://www.cempre.org.br/destaca](http://www.cempre.org.br/destaca). Acesso em: 17 abr. 2016.

CETESB. **Resíduos sólidos industriais.** São Paulo: CETESB/ACETESB, v.1, 1985, 182p. (Série Atas).

COELHO, V; SÓRIA, M. H. A. **Efeito da composição granulométrica e da temperatura na formação de trilhos de rodas em pavimentos flexíveis.** IX ANPET – Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. V.1, pp. 93-100.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução nº 307 de 05 de julho de 2002**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama>. Acesso em: 19 abr. 2016.

Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. Rio de Janeiro, 1992. Agenda 21. Brasília: Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas, 1996.

COSTA, C. PINTO, S.; VENTORINI, L. **Misturas asfálticas com o uso de areia de fundição de ferro descartada**. 38ª reunião anual de pavimentação. Manaus: [s.n.], 2007.

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1997). **Especificação de serviço DNER-ES 313/97, pavimentação – concreto betuminoso – norma rodoviária**. Rio de Janeiro:DNER. 16p.

FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. **Departamento do Meio Ambiente**. Disponível em: <http://www.fiesp.org.br>. Acesso em: 24 abr. 2016.

JOHN, V. M. **A construção, o meio ambiente e a reciclagem**. Disponível em: <http://www.reciclagem.pcc.usp.br>. Acesso em: 24 abr. 2016.

KONDIC, V. (1973) **Princípios Metalúrgicos de Fundição**. Tradução de Cláudio Luiz Mariotto e outros. São Paulo: Polígono, Ed da Universidade de São Paulo.

LERIPIO, A.A. **GAIA** : Um método de Gerenciamento de Aspectos e Impactos Ambientais. Florianópolis, 2001. 161p. Tese (Doutorado em Engenharia da Produção). UFSC, 2001.

MARINHO, Maerbal Bittencourt. **Novas relações do sistema produtivo/meio ambiente: do controle à prevenção da poluição**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana). Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental. UFBA, Salvador.

MARIOTTO, C.L. (2000) **Regeneração de areias de fundição**. Seminário Nacional sobre Reuso/Reciclagem de Resíduos Sólidos Industriais – SMA/SP. p. 203-211.

MCINTYRE, S.W. et al. (1992). Benefication and Reuse of Foundry Sand Residuals: A Preliminary Report. Transactions of the Amercian Foundrumen's Societe, vol. 100, p. 201-208.

MME, M. D. M. E. E.; BIRD, B. M. **Relatório Técnico 44 – Areia Industrial**. . [S.l: s.n.], 2010.

_____. **Perfil da Fundição - Relatório Técnico 61**. Brasilia, DF: [s.n.], 2009.

_____. **Relatório Técnico 44 – Areia Industrial**. [S.l: s.n.], 2010

MODERN CASTING. Paying Green to Go Green. **Modern Casting Magazine**, p. 24-27, 2008.

_____. **44th Census of World Casting Production**. [S.l: s.n.], 2010.

OLIVEIRA, Thereza M. N. **Eco-estratégia empresarial no setor metal-mecânico da escola técnica Tupy**. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção da UFSC, Florianópolis, 1998.

PEIXOTO, F. **Regeneração térmica de areia ligada quimicamente**. [S.l.]: UFSC, 2003.

_____.; GUESSER, W. L. **Reutilização de areia regenerada termicamente**. CONGRESSO DE FUNDIÇÃO. *Anais...* São Paulo: [s.n.], 2003

PEREIRA, Raquel Luísa. **Reaproveitamento do resíduo de areia verde de fundição como agregado em misturas asfálticas**. Relatório de doutorado apresentado ao Departamento de Química, Centro de Ciências Exatas. UFPR, 2005.

PINTO, S. **Estudo do comportamento à fadiga de misturas betuminosas e aplicação na avaliação estrutural de pavimentos**. Tese (D. Sc. Engenharia), Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 1991. 478P.

_____. **Materiais betuminosos: conceituação, especificação e utilização**. Rio de Janeiro:IME, 1998a. 60p.

_____. **Materiais pétreos e concreto asfáltico: conceituação e dosagem**. Rio de Janeiro:IME, 1998b. 82p.

RODRÍGUEZ, A.; LACALLE, L. N. L.; CALLEJA, A.; FERNÁNDEZ, A.; LAMIKIZ, A. Maximal reduction of steps for iron casting one-of-a-kind parts. **Journal of Cleaner Production**, v. 24, p. 48-55, 2012. Elsevier Ltd. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652611004938>. Acesso em: 21 jun. 2017.

SEBRAE-NA/ Dieese. Anuário trabalho na micro e pequena empresa 2013, p. 17. Disponível em: http://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/Anuario%20do%20Trabalho%20Na%20Micro%20e%20Pequena%20Empresa_2013.pdf. Acesso em: 20 nov. 2017.

SENÇO, W de. **Manual de técnicas de pavimentação**. São Paulo:Pini. 746p. 1997.

SIDDIQUE, R. KHATIB, J.; KAUR, I. Use of recycled plastic in concrete: a review. **Waste Management New York NY**, v. 28, n. 10, p. 1835-52, 2008.

_____.; NOUMOWE, A. Utilization of spent foundry sand in controlled low-strength materials and concrete. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 53, n. 1-2, p. 27-35, dez. 2008.

_____.; SCHUTTER, G.; NOUMOWE, A. Effect of used-foundry sand on the mechanical properties of concrete. **Construction and Building Materials**, v. 23, n. 2, p. 976-980, fev. 2009.

_____.; SINGH, G. Utilization of waste foundry sand (WFS) in concrete manufacturing. **Resources, Conservation and Recycling**, jun. 2011.

SIEGEL, M. et al., (1982) **Fundição. Notas de aulas**. ABMM. Associação Brasileira de Metais. 13ª ed. São Paulo: Édile Serviços Gráficos e editoras Ltda.

SILVA, J. R. G. da. **A ciência e a engenharia de materiais**. São Paulo: Ciência e Cultura, 1986.

SOARES, Glória Almeida. **Fundição – mercado, processos e metalurgia**. Rio de Janeiro: Coppe, 2000.

SOUZA, M.L. **Pavimentação rodoviária**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias (1980).

TEIXEIRA, E.N. **Resíduos Sólidos: minimização e reaproveitamento energético**. Palestra. 31 de ago. 2000.

VALLE, Cyro Eyer do. **Qualidade ambiental: ISO 14 000**. São Paulo: SENAC, 2002.

WRIGHT, J.R. Take a new look at sand reclamation. **Foundry Management & Technology**, p.22, March, 2001.

ZANETTI, M. C.; FIORE, S. Foundry waste recycling in moulding operations and in the ceramic industry. **Waste Management & Research**, v. 21, n. 3, p. 235-242, 1 jun. 2003.