

PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO DE AREIA RESIDUAL DE FUNDIÇÃO EM CAMADAS DE PAVIMENTOS

Luis Miguel Gutiérrez Klinsky

Glauco Tulio Pessa Fabbri

Universidade de São Paulo

Escola de Engenharia de São Carlos

RESUMO

Um dos maiores problemas do setor de fundição de metais é a produção de resíduos sólidos, constituídos basicamente pelas denominadas areias residuais. O descarte adequado desses resíduos é um desafio para a sociedade, cada vez mais consciente da necessidade de preservar o meio ambiente, na busca do desenvolvimento sustentável a longo prazo. No Brasil, a produção de fundidos em 2008 ultrapassou os três milhões de toneladas, com a geração de, aproximadamente, uma tonelada de resíduo para cada tonelada de metal produzida. Este resíduo é destinado a aterros de descarte industrial a um alto custo, além de se perder um material de boas características para uso na engenharia civil. Tendo em vista a larga produção desse resíduo, esse projeto de pesquisa propõe avaliar, segundo as propriedades ambientais e de engenharia, o reaproveitamento de areias de fundição como material de construção de camadas de rodovias, através de sua incorporação a solos tropicais.

1. PROPOSTA DE PESQUISA

Com o propósito de contribuir na busca de alternativas para a reutilização da areia residual de fundição na engenharia de pavimentação, este trabalho de doutorado avaliará a possibilidade de reaproveitamento de dois tipos de areias residuais de fundição: 1) areia verde e 2) areia de macho, como materiais de construção de rodovias, através de sua incorporação a solos, com eventual utilização de aditivos – cimento, asfalto, agregados.

Assim, o objetivo principal deste trabalho é “Testar a viabilidade de reaproveitar as areias residuais de fundição como material de construção de pavimentos, nas camadas de sub-base e base”.

Para alcançar esse objetivo traçaram-se os seguintes objetivos específicos:

- produzir solos “artificiais” através da incorporação das areias de fundição – verde e de macho – a solos em diferentes porcentagens, estabilizados ou não com aditivos;
- produzir materiais dos tipos brita graduada simples, brita graduada tratada com cimento e solo brita, com a incorporação das areias de fundição – verde e de macho;
- produzir areia-asfalto, com a adição de areia de fundição verde e de macho, para uso em bases negras;
- avaliar os materiais resultantes da adição da areia residual de fundição, segundo as propriedades de engenharia, de maneira a atender as variáveis estruturais e ambientais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Fundição e Areia de Fundição

A fundição é o processo de produção de peças metálicas que são obtidas vertendo-se um metal ou liga metálica fundida sobre um molde oco, geralmente feito de areia. As areias têm sido usadas há muito tempo para fabricar os moldes que dão a forma aos metais. Os motivos são vários: estão prontas para serem usadas, não são caras, são altamente refratárias e facilmente coesíveis ao serem misturadas com argilas ou outros aditivos (aglomerantes) orgânicos ou inorgânicos. De um modo geral, a areia utilizada nos diversos processos de fundição apresenta dimensões entre 0,075 e 1,0 mm, tendo cerca de 85 a 95% de material passando na peneira N° 30 (0,59mm) e retido na N° 100 (0,149mm). Dentre os processos de

moldagem, os mais utilizados são o de “areia verde” e o de “areia de macho”, que serão empregados para o desenvolvimento desta pesquisa e que são descritos, segundo os conceitos de Kondic (1973), Bradaschia *et al.* (1982) e Siegel *et al.* (1982), a seguir:

2.1.1. Moldagem em Areia Verde

O processo é efetuado basicamente com uma mistura de areia silicosa, argila (8 a 15%) e água (5 a 10%). O processo é denominado de “areia verde” pelo fato de não necessitar secagem e, dentre todos os processos de moldagem, é o mais utilizado, já que representa aproximadamente 80% da produção de peças metálicas. Esse processo está sujeito a uma série de limitações quanto às suas propriedades, que tendem a limitar sua aplicação à produção de peças de dimensões pequenas ou médias.

2.1.2. Moldagem em Areia de Macho

A moldagem consiste em uma mistura de areia, óleo secativo (óleo de linhaça, óleo de macho), bentonita e adição de elementos orgânicos e produtos sintéticos (resinas furânicas e fenólicas), que dependem do metal ou liga a ser fundido e do porte da peça. A sua fluxibilidade da mistura permite a conformação de modelos complicados. Os moldes são secados a temperaturas que oscilam na faixa de 150 a 250°C. Esse processo é o precursor dos métodos de fundição de alta precisão, bastante utilizado para moldar peças de geometria complicada, difíceis de serem moldadas em areia comum e representa de 10 a 15% da produção de peças metálicas.

2.2. Reutilização da Areia de Fundição em construção de rodovias

O reuso da areia de fundição no próprio processo - reciclagem primária - e a constante adição de aditivos levam à perda das propriedades originais da areia. Assim, o material residual deve ser enviado a aterros de descarte, apesar de ainda apresentar boas propriedades para uso na engenharia civil. A construção de rodovias é consumidora intensa – grandes volumes de materiais – de insumos naturais, não renováveis, em suas camadas. Desta forma, com o propósito de preservar mais o meio ambiente, têm se pesquisado a possibilidade de reutilizar a areia residual de fundição como material componente da estrutura do pavimento.

Javed e Lovell (1995), em Indiana, nos Estados Unidos, estudaram a aplicação do resíduo da areia de fundição em Engenharia Civil. Nesse trabalho, com base nas boas propriedades físicas e mecânicas do resíduo e a baixa possibilidade de contaminar o meio ambiente, os autores demonstraram o potencial de seu reaproveitamento em aterro e subleito de rodovias como agregado fino, assim como no concreto asfáltico.

Na Universidade de Purdue, em parceria com o Departamento de Transportes de Indiana (INDOT), nos Estados Unidos, Partridge *et al.* (1999) desenvolveram um estudo que consistiu na construção de um aterro rodoviário, no ano 1996, com areia de fundição de origem ferrosa e no seu monitoramento antes e depois da construção. Os resultados geotécnicos mostraram o bom comportamento da areia de fundição no aterro e constatou-se que não houve impacto ambiental.

Aydilek e Guney (2007), na Universidade de Maryland (EUA), estudaram misturas de areia de fundição com outros materiais, tais como pedra britada, cimento e cal, com o objetivo de reutilizar as misturas em bases e sub-bases de pavimentos. De maneira geral, os autores concluíram que o incremento de pedra britada, cimento ou cal aumentou consideravelmente a resistência à compressão e os valores de CBR. Os ensaios ambientais de lixiviação mostraram

que as misturas dificilmente contaminariam a água que eventualmente entrariam em contato com o material, como a água de chuva, águas provenientes de drenagem, etc.

Bonet (2002) propôs o reaproveitamento da areia residual de fundição como agregado fino no Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) e Coutinho (2004) estudou a possibilidade de utilizá-la em misturas asfálticas densas; o primeiro trabalho recomendou a utilização de 8% do resíduo, em peso, na mistura asfáltica, enquanto Coutinho (2004) concluiu que até 15% de incorporação de areia na mistura asfáltica, em peso, produz materiais com boas propriedades mecânicas sem impactos ambientais significativos. Na busca de aplicações que permitam a reutilização da areia residual de fundição em quantidades maiores, Klinsky (2008) avaliou a possibilidade de reutilizar o resíduo como base e sub-base de pavimentos de baixo volume de tráfego, através de sua incorporação a solos argilosos. O autor concluiu que teores de areia de 40 a 60% poderiam ser incorporados a solos lateríticos argilosos para obter materiais com comportamento semelhante ao do Solo Arenoso Fino Laterítico, material ideal para ser utilizado em bases e sub-bases de pavimentos de baixo custo.

3. MÉTODO

Para avaliar a viabilidade de reaproveitar as areias de fundição como material de construção de pavimentos, o programa experimental será dividido em duas etapas. A primeira etapa será dedicada ao estudo da incorporação das areias de fundição (verde e de macho) aos solos tropicais e a agregados pétreos, com e sem a adição de aditivo, com o propósito de obter uma série de misturas que possam ser utilizadas nas camadas de sub-bases e bases dos pavimentos. A segunda etapa visa reaproveitar a areia residual de fundição como base negra, através da adição de asfalto ao resíduo. A Tabela 1 apresenta um resumo do programa experimental da pesquisa.

Tabela 1: Programa Experimental da Pesquisa.

PROGRAMA EXPERIMENTAL					Mistura
1a Etapa	AF Verde	Solo			Solo-Areia
	AF de Macho	Solo			Solo-Areia
	AF Verde	Solo		Cimento	Solo-Areia-Cimento
	AF de Macho	Solo		Cimento	Solo-Areia-Cimento
	AF Verde	Solo	Brita		Solo-Areia-Brita
	AF de Macho	Solo	Brita		Solo-Areia-Brita
	AF Verde	Solo	Brita	Cimento	Solo-Areia-Brita-Cimento
	AF de Macho	Solo	Brita	Cimento	Solo-Areia-Brita-Cimento
2a Etapa	AF Verde			Asfalto	Areia-Asfalto
	AF de Macho			Asfalto	Areia-Asfalto

Para planejar e conduzir o programa experimental deste projeto será utilizado o método de planejamento de experimentos fatoriais. Para isso, escolher-se-ão as variáveis a serem estudadas e efetuar-se-ão experimentos em diferentes valores desses fatores, de maneira de verificar a influência das variáveis sobre os parâmetros estudados.

Para a primeira etapa deste estudo serão avaliados quatro fatores:

Fator 1 → Solos ;

Fator 2 → Cimento;

Fator 3 → Areia;

Fator 4 → Teor de areia

Fator 5 → Brita.

Na segunda etapa será estudada a influência de 3 parâmetros:

Fator 1 → Areia;

Fator 2 → Asfalto;

Fator 3 → Emulsão.

3.1. Materiais e Ensaios Propostos

A areia residual de fundição a ser utilizada nesta pesquisa será proveniente dos processos a verde e de macho, que são os mais utilizados na fundição de peças metálicas no Brasil e, portanto, os maiores geradores de resíduos. Também serão necessários, para o desenvolvimento desta pesquisa, os seguintes materiais: solos, agregados minerais, cimento, cimento asfáltico de petróleo e emulsão asfáltica.

Com o propósito de avaliar as propriedades dos materiais resultantes – misturados com areia de fundição – são propostos os seguintes ensaios: a) Proctor, nas energias intermediária e modificada de compactação; b) Capacidade de suporte (CBR); c) Compressão simples; d) Permeabilidade; e) Propriedades resilientes (Triaxial Cíclico); f) Ambientais (Massa Bruta, Lixiviação e Solubilização).

Assim, com base nos resultados obtidos nas diferentes propriedades estudadas, será avaliado o efeito da incorporação da areia de fundição aos diferentes materiais. Com base no monitoramento de propriedades de interesse à engenharia rodoviária, serão determinadas as proporções em que a areia residual de fundição, incorporada a outros materiais, apresenta melhor comportamento e desempenho, segundo as normas brasileiras vigentes, para sua utilização em camadas de pavimentos flexíveis.

Agradecimento

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio à pesquisa na forma de uma bolsa de doutorado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aydilek, H.; Guney, T. (2007). *Laboratory Evaluation of Foundry Sand-Amended Highway Subbases*. Transportation Research Board. Washington D.C.
- Bonet, I.I. (2002). *Valorização do resíduo de areia de fundição (RAF). Incorporação nas massas asfálticas do tipo C.B.U.Q.* Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina.
- Coutinho, B.N. (2004). *Avaliação do reaproveitamento de areia de fundição como agregado em misturas asfálticas densas*. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. São Paulo.
- 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.
- Javed, S.; Lovell, C.W. (1995). *Uses of Waste Foundry Sands in Civil Engineering*. *Transportation Research Board*, n. 1417, p. 109-116.
- Klinsky, L.M.G. (2008). *Proposta de reaproveitamento de areia de fundição, através da sua incorporação a solos lateríticos argilosos*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. São Paulo.
- Kondic, V. (1973). *Princípios Metalúrgicos de Fundição*. Tradução de Cláudio Luiz Mariotto e outros. São Paulo: Polígono, Ed. da Universidade de São Paulo.
- Siegel, M. et al. (1982). *Fundição*. Notas de Aulas. ABM – Associação Brasileira de Metais. 13ª ed. São Paulo: Édile Serviços gráficos e editora Ltda.