

Análise das propriedades físico-mecânicas do solo Serra Geral com substituição por rejeito de areia de fundição fenólica (ADF)

Marina Panciera¹,

Pedro Arns².

Resumo: Os pavimentos são construções fundamentais para a urbanização e o desenvolvimento de metrópoles, no qual integrou-se por todo o processo e história da humanidade. O principal objetivo do pavimento, além de proporcionar conforto e segurança, é dar suporte a demanda do tráfego solicitado, atendendo as especificações de projeto. Porém os solos naturais nem sempre atendem as especificações mínimas para as condições solicitadas, devendo ser tratados ou substituídos. Há no mercado vários materiais que podem ser utilizados no melhoramento de solos para uso em camadas de um pavimento. Alguns descartes inadequados de compostos pelo alto grau de agressividade, poderiam ser utilizados para esse fim, viabilizando o uso de um solo que não atende as especificações. Na região de Criciúma pertencente ao estado de Santa Catarina, cerca de 500 toneladas de areia de fundição são descartadas por mês. Devido a esse desperdício, o presente estudo visou avaliar a aplicabilidade da areia de fundição fenólica fina e a recuperada, de modo a conferir e comparar a estabilidade de um solo de Formação Geológica Serra Geral, com o objetivo de melhorar suas características físicas e mecânicas. Para isso foram preparadas quatro amostras de material: uma de solo natural e três percentuais de solo com substituição por areias de fundição fenólicas. Pelos ensaios de caracterização do solo natural, comparado aos das amostras com substituição por areia de fundição fenólica fina, verificou-se que não houve alterações significativas nas características, sendo possível sua utilização para uso de subleito ou de material de empréstimo. Já a substituição com areia de fundição fenólica recuperada melhorou as características físicas e mecânicas para as substituições nos percentuais de 40% e 60%. Nestas dosagens as amostras mudaram seu comportamento argiloso para um solo arenosiltoso. Os melhores resultados obtidos, entre todas as amostras ensaiadas, foi a mistura em que houve uma substituição de 60% de solo por areia de fundição recuperada.

Palavras-chave: pavimentação; descartes inadequados; ADF.

Analysis of physical and mechanical properties of Serra Geral soil with substitution by tailings from phenolic foundry sand

¹ Graduada, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, marina.panciera@hotmail.com

² Professor, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, par@unesc.net

Abstract: The pavements in constructions for urbanization and the development of metropolises are fundamental, in which it developed throughout the entire process and history of humanity. The main purpose of the pavement, in addition to offering ease and security, is to support the demand for requested traffic, and to accept the project specifications. However, natural soils do not always answer the minimum specifications for the conditions requested, and must be treated or replaced. There are several materials on the market that can be used in soil improvement for use in layers of a floor. Some inappropriate disposal of compounds due to the high degree of aggressiveness could be used for this purpose, enabling the use of a soil that does not attend specifications. In the Criciúma region belonging to the state of Santa Catarina, about 500 tons of foundry sand is discarded per month. Due to this wastage, the present study aimed to evaluate the applicability of fine phenolic foundry sand and recovered sand, in order to check and compare the stability of a Serra Geral Geological Formation soil, in order to improve its physical and mechanical characteristics. For four samples were prepared this material: a natural soil and three soil percentage substitution with phenolic foundry sands. By the characterization tests of the natural soil, compared to the samples with substitution by fine phenolic foundry sand, it was found that there were no significant changes in the characteristics, being possible its use for use of subgrade or loan material. The replacement with recovered phenolic foundry sand improved the physical and mechanical characteristics for the substitutions in the percentages of 40% and 60%. In these measurements the samples changed their behavior for silty sand clay soil. The best results obtained, among all tested samples, was the mixture in which there was a 60% replacement of soil by recovered foundry sand.

Key-words: paving; inadequate disposal; phenolic foundry sand.

Introdução

Os pavimentos são construções fundamentais para a urbanização e o desenvolvimento de metrópoles, no qual integrou-se por todo o processo e história da humanidade. Através dele foi possível a obtenção por toda extensão territorial, o comércio, as trocas culturais e religiosas. Com a busca de mercadorias, os volumes, cargas, distâncias e as necessidades de sobrevivência se tornaram cada vez maiores, isso fez com que o homem mudasse a topografia dos caminhos utilizados, para que pudessem transitar em qualquer época do ano, independente das intempéries. Uma das soluções foi revestir o leito carroçável para proporcionar maior estabilidade ao pavimento (SENÇO, 2007).

O pavimento é constituído de diversas camadas com espessuras finitas, o qual apoia-se sobre um greide de terraplanagem, com o objetivo de absorver os esforços provenientes dos veículos e as intempéries, proporcionando conforto, segurança e melhores condições na pista

de rolamento. O pavimento pode ser classificado como rígido ou flexível e possuem camadas de: reforço de subleito, sub-base, base e revestimento asfáltico. A base, sub-base e reforço de subleito são de grande importância estrutural, pois, são por meio delas que serão distribuídas as tensões que o tráfego de veículos provocará (BERNUCCI et al., 2008).

O principal objetivo do pavimento é dar suporte para o tráfego atendendo as especificações de projeto, porém, os solos naturais podem não atender as condições solicitadas e devem ser estabilizados por meio de processos mecânicos ou físico-químicos.

Em certos casos, uma camada subjacente ao revestimento pode ser composta por materiais estabilizados quimicamente de modo a proporcionar coesão e aumentar sua rigidez, podendo resistir a esforços de tração. Embora possuam coesão, as camadas de solos finos apresentam baixa resistência à tração, diferentemente dos materiais estabilizados quimicamente (BERNUCCI et al., 2008, p.338).

Conforme o DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte) pela classificação do TRB (Transportation Research Board) é possível identificar que o comportamento dos solos granulares para o subleito são considerados de excelentes a bons, já os solos do tipo silto-argilosos, os quais apresentam uma granulometria mais fina, não são aconselháveis para o seu uso. Por este motivo muitas vezes deve-se realizar a substituição do material ou a estabilização do mesmo por meio de aditivos e ou por substituição granulométrica.

O melhoramento do solo através da estabilização proporciona pavimentos de bom desempenho e resistência. Ela pode ocorrer por meio de processos mecânicos (compactação, correção granulométrica) e físico-químicos, através de aditivos, dos quais os mais empregados são a cal e o cimento Portland (BEHAK, 2007).

No mercado rodoviário há vários tipos de materiais que podem ser utilizadas para melhoramento do solo, porém há descartes inadequados de alguns compostos devido ao alto grau de agressividade, que podem desempenhar a mesma atividade e com melhor viabilidade, além de contribuir para o desenvolvimento sustentável causando menor impacto ambiental, sendo que necessitam de pesquisas e ensaios para analisar suas propriedades (SOUZA, 2008).

O material a ser utilizado para o presente estudo é a areia de fundição fenólica (ADF), um dos principais resíduos gerados por metalúrgicas, pelo processo de desmoldagem de peças metálicas. Segundo Scheunemann (2005, p.11), “no Brasil são descartadas pelas fundições



cerca de dois milhões de toneladas/ano de areia contaminada com resinas fenólicas, sendo que 500 toneladas de areia por mês é da região de Criciúma”.

De acordo com Aggarwal e Siddique (2014), a areia de fundição é um subproduto com alto teor de sílica das indústrias de fundição, utilizada por possuir a característica de condutividade térmica e ser reutilizável várias vezes, desde que não altere a quantidade de resina fenólica na mistura e seja substituída por um percentual de areia nova. Porém, segundo Toledo (2017), chega-se a um ponto em que a mesma deve ser descartada, pois proporciona alteração na qualidade das peças fundidas finais.

Os acúmulos de resíduos da areia de fundição são depositados em aterros industriais, pois carregam consigo resinas fenólicas e metais pesados, os quais podem solubilizar e atingir os lençóis freáticos (SCHEUNEMANN, 2005).

Nas indústrias de fundição há dois tipos de areia as quais se diferem através do aglomerante utilizado. A “areia verde” tem como aglomerante principal a argila umedecida e uma parcela de matérias orgânicas. Na “areia ligada quimicamente” as resinas utilizadas podem ser sintéticas, orgânicas, ou inorgânicas, os compostos são curados através de aquecimento, reagentes químicos ou catalisadores (WINKLER E BOL'SHAKOV, 2000).

A moldagem de peças metálicas é procedente da recirculação da areia de fundição, este método consiste na desagregação de torrões, remoção de finos e material metálico. Nesta reciclagem é necessário a adição de areia nova, a qual gera um excedente, por este motivo parte da areia recuperada é descartada. A cada reuso desta areia forma-se acúmulos de finos (areia fina), os quais são separados da areia recuperada, sendo descartados pois estes podem danificar os moldes (SCHEUNEMANN, 2005).

As vantagens do uso deste resíduo no solo foi obtido através de estudos realizados com adição de 40% a 60% de areia de fundição, na qual sua composição é de 98,56% de areia de quartzo, 1,2% de resina fenólica e 0,24% de catalisador, e demonstrou resultados satisfatórios como o aumento do índice de suporte em até 60% da adição da areia e o decréscimo da expansão, resultando na utilização do material para base de pavimentos de tráfego leve ($N \leq 5 \times 10^6$ solicitações de eixo padrão), segundo o Manual de Pavimentação do DNIT, 2006 (KLINSKY, 2008).

Esta pesquisa visa avaliar a aplicabilidade da areia de fundição fenólica fina e a recuperada, como um aditivo mineralógico de modo a conferir e comparar a estabilidade de um solo de Formação Geológica Serra Geral, com o objetivo de aumentar suas características físicas e mecânicas.

Materiais e métodos

A amostra do solo foi coletada no Parque Científico e Tecnológico - IPARQUE da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, localizado na Rod. Gov. Jorge Lacerda, Km 4,5 – Bairro Sangão, no município de Criciúma/SC e encaminhada para o Laboratório de Mecânica dos Solos (LMS) para a realização dos ensaios. O solo utilizado para o estudo é da formação geológica Serra Geral, usual como reforço de subleito.

Conforme Potter (2004 apud Kammer, 2013) no local apresenta-se um material do tipo Podzólico Vermelho-Escuro, textura argilosa/muito argilosa, floresta tropical com relevo suave ondulado.

Este solo se apresenta de um modo geral com características físicas e mecânicas boas, próprio como uso de subleito e reforço de subleito.



Figura 1. Solo natural.

Os resíduos foram coletados em uma empresa, localizada no município de Morro da Fumaça – SC. As peças são fabricadas por meio de moldagem por cura a frio, através do processo Pep Set. Nesta empresa são descartadas dois tipos de areia, onde cerca de 20% da areia

de fundição recuperada deve ser substituída por areia nova, para manter a qualidade das peças metálicas fundidas, e a areia de fundição fenólica que continua no processo também necessita de descarte, pois ela se torna muito fina.

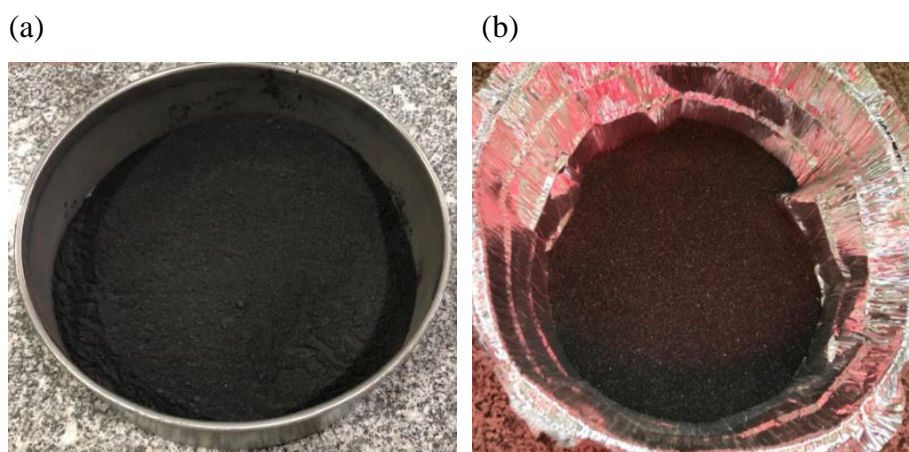


Figura 2. (a) ADF fina, (b) ADF recuperada.

A ABNT NBR 10006:2004 classifica os resíduos sólidos em classes de acordo com o seu grau de toxicidade.

Tabela 1. Classificação dos resíduos conforme a ABNT NBR 10006:2004.

Resíduos	Agressividade
Classe I	Perigosos
Classe II	Não perigosos
Classe II A	Não inertes
Classe II B	Inertes

Conforme estudos já realizados e ensaios feitos pela empresa, através do ensaio de solubilização a areia de fundição fenólica fina e recuperada, classifica-se como classe II A – não inertes. Segundo a Lei/SC nº 17.479/2018 – Dispõe sobre a utilização das Areias Descartadas de Fundição (ADF), no Art. 2º afirma que a areia de fundição pode ser destinada a base, sub-base e reforço de subleito, desde que atenda as condições específicas. As análises de caracterização e classificação dos resíduos sólidos feitas pela empresa em relação areia recuperada apresenta atender todos os requisitos para a possível utilização no pavimento. Em relação a areia fina, há ausência do ensaio de toxicidade o que leva a incapacidade de avaliar seu uso.

Na Tabela 2 são apresentadas as condições específicas das duas areias de fundição utilizadas nesta pesquisa.

Tabela 2. Condições específicas das areias de fundição.

Resíduo	Classe	Ph (em água)	Toxicidade
ADF fina	II-A	8,38	-
ADF Recuperada	II-A	8,00	2

Para o presente trabalho foram preparadas quatro amostragens: (solo natural e três percentuais de solo substituído por areias de fundição fenólicas), as quais serão ensaiadas para a caracterização dos seus índices físicos e mecânicos, a fim de determinar os seus Limites de Liquidez – LL, Limites de Plasticidade – LP e os Índices de Plasticidade – IP, as densidades máximas, umidades ótimas, expansões e CBRs (Califórnia Bering Ratio). As normas para a os ensaios realizados estão descritos na tabela 3.

Tabela 3. Normas Técnicas utilizadas para realização dos ensaios de caracterização do solo.

Ensaio	Número ABNT
Análise Granulométrica	ABNT NBR 7181:2016 Versão Corrigida 2:2018
Determinação do Limite de Liquidez - LL	ABNT NBR 6459:2016 Versão Corrigida:2017
Determinação do Limite de Plasticidade - LP	NBR 7180:2016
Compactação Energia Proctor Intermediária	ABNT NBR 7182:1988
Índice de Suporte Califórnia – ISC/CBR	ABNT NBR 9895:2016 Versão Corrigida:2017
Preparação de amostras	ABNT NBR 6457:2016 Versão corrigida:2016

O solo natural será substituído nos teores crescentes de 20%, 40% e 60% por areias de fundição. Posteriormente serão realizados os ensaios de caracterização dos solos como citado anteriormente. De acordo com Klinsky (2008), a adição de 20% para 67% da ADF no solo proporcionou um aumento da capacidade de suporte e a partir destes valores o CBR decresce.

O DNIT afirma que cada camada de solo deve possuir uma determinada porcentagem de expansão e CBR. Para o reforço de subleito suas características geotécnicas devem ser superiores ao do subleito, comprovados através dos ensaios de CBR e de caracterização do solo. Na tabela 4 constam as porcentagens de expansão e capacidade de suporte que cada camada do pavimento deve atender.

Tabela 4. Classificação das camadas do pavimento conforme a DNER.

Camada	CBR (%)	Expansão (%)	Sobrecarga (Ib)
Subleito	≥2%	≤ 2,0%	10
Reforço de Subleito	>Subleito	≤ 1,0%	10
Sub-base	≥20%	≤ 1,0%	10
Base	≥ 80%	≤ 0,5%	10

Os procedimentos desta pesquisa estão descritos no fluxograma da figura 3.

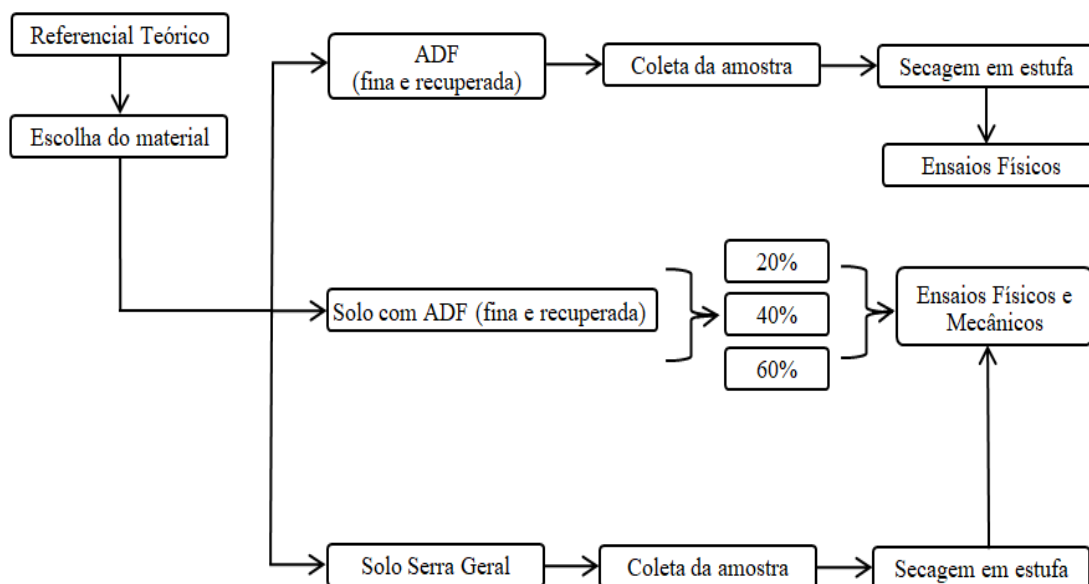


Figura 3. Fluxograma do estudo.

Resultados e Discussões

Conforme os ensaios de caracterização, o solo em seu estado natural segundo o TRB (Transportation Research Board) classificou-se como A7-5, o qual pode apresentar média ou alta plasticidade, assim como, pode sofrer grandes variações de volume. O CBR apresentou o valor de 20,10% e expansão de 1,14%, cujas as características atendem para ser utilizado como subleito. Através do ensaio de granulometria por peneiramento simples 69,86% do material passou na peneira de número 200. Os limites de Atterberg resultaram em um valor de limite de liquidez (LL) de 57% e limite de plasticidade de (LP) de 46%. Na tabela 5 constam os resultados obtidos nos ensaios de caracterização física e mecânica do solo natural.

Os resíduos apresentaram comportamento não plástico (NP) e não líquido (NL). O ensaio de granulometria foi realizado por método a seco, o material passante da ADF fina foi de 0,04% na peneira de número 200, já a ADF recuperada apresentou material passante de 1,51% na mesma peneira. Conforme o TRB ambos se classificaram como A-3.

As substituições do solo por areia com resina fenólica apresentaram mudanças significativas em relação as características físicas do solo natural. A tabela 6 apresenta os

resultados dos ensaios, para o solo natural e de diferentes misturas. Exemplo: (ADFF) 20% equivale ao solo substituído em 20% por areia de fundição fina, e assim respectivamente.

Tabela 5. Caracterização do solo natural.

Características	Resultados
Limite de liquidez	57%
Limite de plasticidade	46%
Índice de plasticidade	11%
Índice de Grupo	11
Material passante na #200 (0,075 mm)	69,86%
Classificação TRB	A7-5
Umidade Ótima	30,40%
Densidade seca máxima	1,380 g/cm ³
Expansão	1,14%
CBR	20,10%

Tabela 6. Caracterização das amostras do solo e com substituição de areia de fundição fenólica.

Amostra	LL	LP	IP	IG	Passante #200	TRB
SOLO NATURAL	57%	46%	11%	11	69,86%	A7-5
(ADFF) 20%	NL	NP	0%	8	71,67%	A4
(ADFF) 40%	NL	NP	0%	5	59,42%	A4
(ADFF) 60%	NL	NP	0%	4	51,65%	A4
(ADFR) 20%	NL	NP	0%	4	50,14%	A4
(ADFR) 40%	NL	NP	0%	2	44,68%	A4
(ADFR) 60%	NL	NP	0%	0	28,10%	A2-4

As misturas com a substituição de solo por areia de fundição fenólica fina modificaram sua composição granulométrica, cuja classificação era de um solo A7-5, para a de um solo A4, em todos os percentuais utilizados. A substituição de solo por areia de fundição fenólica recuperada, alterou sua classificação, de um solo A7-5 para os teores de 20% e 40%, para a de um solo A4, e para o percentual de substituição de 60% para um solo A2-4, caracterizado um solo com comportamento mais granular. Comparado ao solo natural, a amostra com areia de fundição recuperada apresentou resultados positivos pois a classificação mudou de A7-5 para A2-4, sendo este considerado um solo de excelente a bom. Mesmo a areia fenólica fina não ter apresentado grandes mudanças, sua classificação melhorou as características físicas, já que um solo A-4 apresenta comportamento de um solo siltoso, comparado com um A7-5 no qual apresenta grandes variações volumétricas devido seu alto grau de plasticidade (DNIT,2006).

Os ensaios de Atterberg não foram possíveis de serem feitos nas amostras com ADF, por apresentarem características de um solo arenoso, tornando-as não plástico (NP) e não líquido (NL). Nos gráficos 4 e 5 estão representadas as granulometrias.

Granulometria do solo e areia de fundição fenólica fina

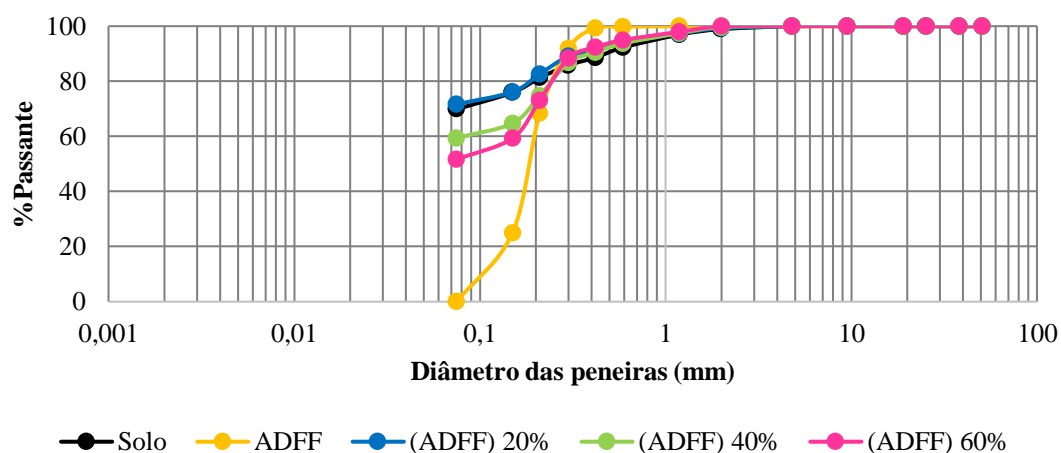


Figura 4. Comparativo da análise granulométrica de solo e areia de fundição fenólica fina.

Granulometria do solo e areia de fundição fenólica recuperada

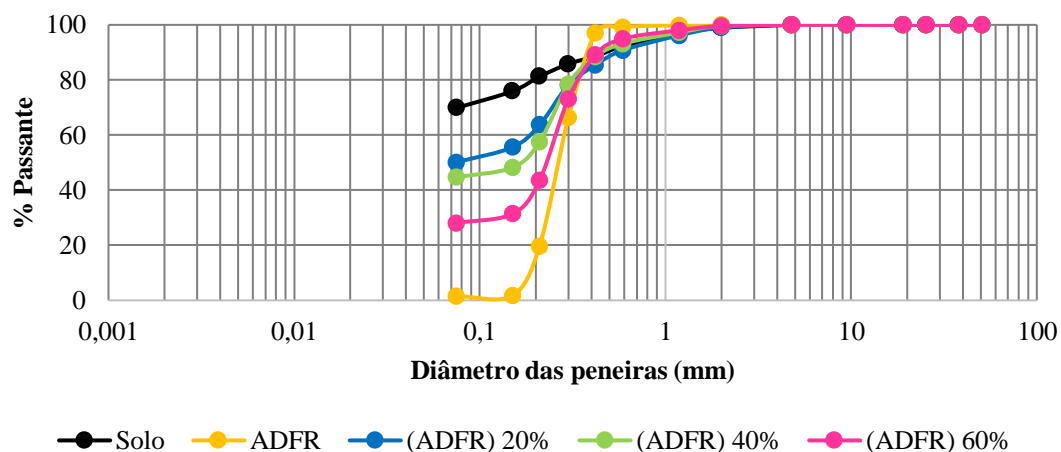


Figura 5. Comparativo da análise granulométrica de solo e areia de fundição fenólica recuperada.

Para a execução do ensaio da capacidade de suporte foi necessário determinar o teor de umidade ótima de cada amostra com areia de fundição fenólica e suas respectivas porcentagens, através do ensaio de compactação. Os resultados da variação da umidade ótima em função da substituição do solo por areia encontram-se na Figura 6. Observa-se que houve um decréscimo

da umidade ótima das amostras quando se substituiu o solo pelo percentual da areia de fundição recuperada, conforme o aumento da porcentagem de substituição. Por outro lado, quando foi adicionado a areia de fundição fenólica fina, nos mesmos percentuais o comportamento foi diferenciado havendo uma instabilidade na variação da umidade.

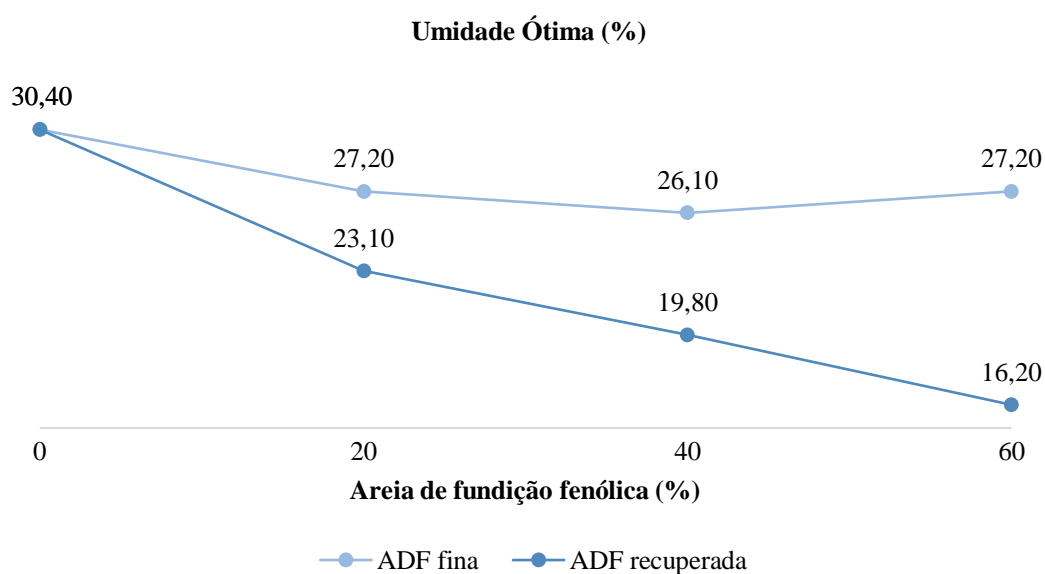


Figura 6. Comparativo das variações dos teores de umidade ótima conforme as porcentagens de ADF.

No ensaio de compactação também foram encontradas as densidades secas máximas de cada amostra, nos quais estão representadas no gráfico da figura 7.

Na mistura com areia de fundição fina, houve um aumento da densidade em relação ao solo em seu estado natural quando substituiu-se 20% do solo por areia, porém decaiu ao aumentar-se os percentuais de areia fina na substituição, o que pode ter ocorrido pela maior presença de finos na mistura.

Nas amostras com a substituição por areia de fundição recuperada a densidade máxima se tornou crescente conforme aumentou-se a porcentagem de areia e sua umidade ótima diminuiu. Esse comportamento acontece, pois, a areia possui grãos com dimensões maiores que o solo utilizado, ocasionando a diminuição de finos na mistura, o que resulta conforme Senço (2007) a diminuição da superfície específica e assim uma menor absorção de água pelas partículas. Houve também a variação da dimensão dos grãos o que favoreceu o melhor encaixe entre as partículas da argila e o resíduo, o que torna a granulometria bem graduada.

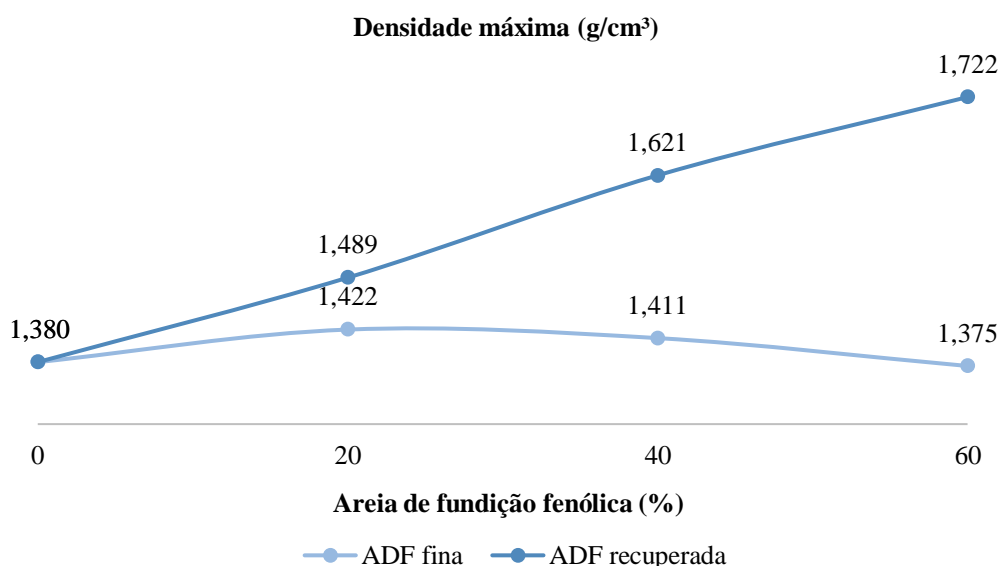


Figura 7. Comparativo das variações da densidade seca máxima conforme as porcentagens de ADF.

Após a moldagem dos corpos de prova na sua umidade ótima, com as respectivas porcentagens de resíduo, os mesmos foram submersos por 96 horas em água. Após este período foram lidas as expansões, cujos os resultados constam no gráfico da figura 8. Pode-se perceber que a amostra de solo com a substituição por ADF com 20% de areia fina apresentou um acréscimo volumétrico e decaiu conforme o aumentou-se a porcentagem, porém apresentou resultados insatisfatórios, portanto impróprios para utilização como reforço de subleito. A amostra com ADF recuperada no percentual de 20% apresentou o mesmo comportamento da areia anterior, porém a expansão decaiu significante nos 40% e 60%, tendo expansões menores que 1%, podendo ser aplicado como reforço de subleito e sub-base. Este comportamento pode estar relacionado a mudança da característica argilosa da mistura para arenosa, já que a maior presença deste material faz com que haja a diminuição da retenção de água e a variação plástica.

A capacidade de suporte de um material é obtida pelo ensaio do CBR. Assim, o valor do CBR das misturas com ADF fina apresentaram resultados inferiores em relação ao solo em seu estado natural, isto pode ter ocorrido devido ao formato e dimensão das partículas do resíduo e sua baixa rugosidade, favorecendo ao escorregamento entre as partículas, reduzindo a coesão e causando instabilidade na estrutura. Ao contrário da areia fina, a areia de fundição recuperada aumentou satisfatoriamente o valor do CBR, crescendo em mais de 60% de

resistência em relação ao solo em seu estado natural. Resultando em valores que permitem ser utilizados na pavimentação como reforço de subleito e sub-base, para os percentuais de ADF recuperada de 40% e 60%.

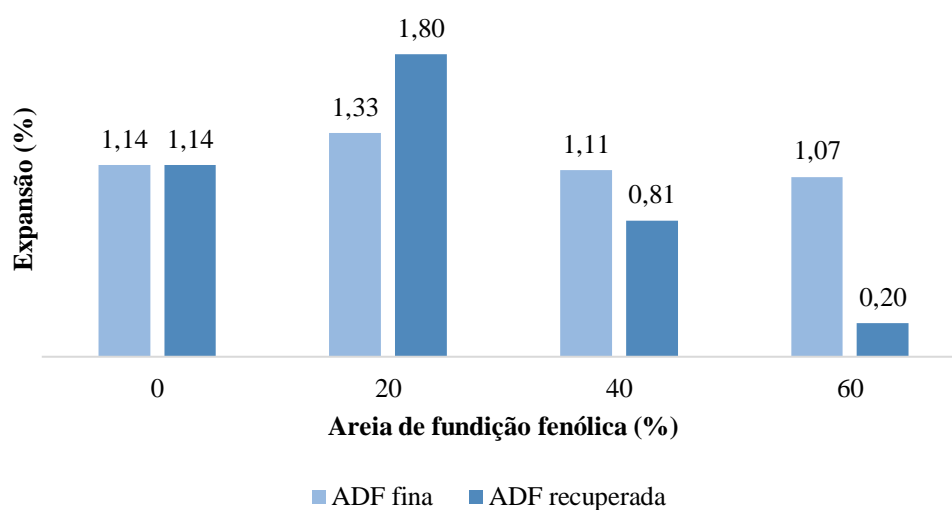


Figura 8. Comparativo das variações de expansões do solo natural e as misturas.

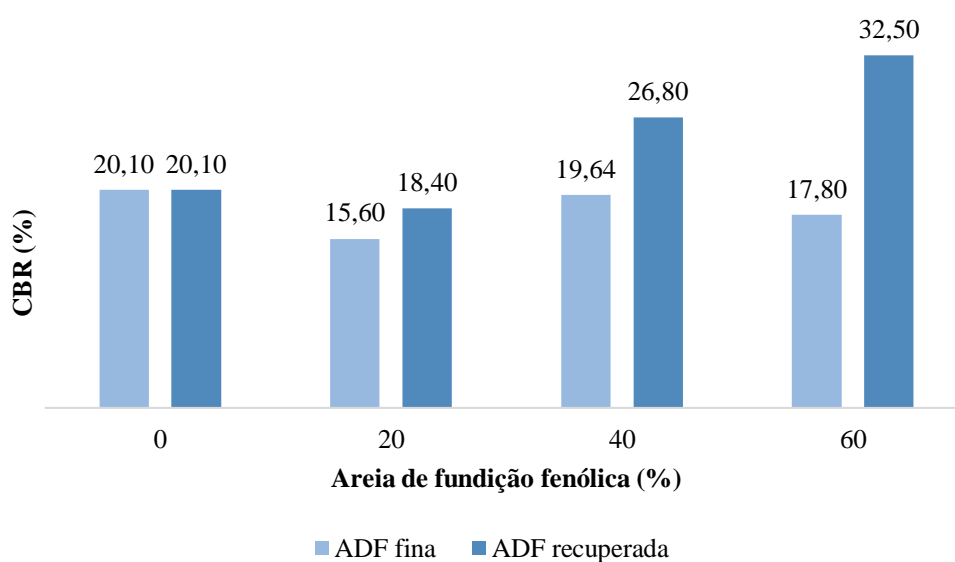


Figura 9. Comparativo das variações de CBR do solo natural e as misturas.

O solo de Formação Geológica Serra Geral ao ser substituído por 60% com areia de fundição fenólica recuperada, gerou um material com propriedades físicas e mecânicas melhores para a utilização como reforço de subleito e sub-base de pavimentos. O mesmo comportamento verificou-se para a mistura em que houve a substituição de 40% de solo por ADFR. A areia de fundição fenólica fina, nas misturas com substituição do solo neste estudo, pode ser utilizada como material de subleito ou mesmo como material de substituição, pois os resultados de suas características físico-mecânicas atendem aos quesitos previstos em norma.

Conclusão

A partir desta pesquisa pode-se avaliar as características físicas e mecânicas de um solo de Formação Geológica Serra Geral com a incorporação de dois tipos de areia de fundição fenólica. A partir dos resultados foi possível concluir que:

- ✓ O solo natural foi classificado como um A7-5, como comportamento plástico médio a alto, cujos valores da capacidade de suporte de 20,10% e expansão de 1,14%, podem ser considerados bons, mas não o habilita a ser utilizado como reforço do subleito devido a sua expansão;
- ✓ Nas substituições com ADF fina, em relação ao solo natural de A7-5, a mistura passou para um solo A4, solo siltoso não líquido (NL) e não plástico (NP);
- ✓ As misturas de solo com a substituição de ADF fina apresentaram resultados de CBR decrescentes em todos os percentuais, e as expansões para 40% e 60% caíram insignificativamente. Estas misturas podem ser utilizadas como subleito ou destinadas para uso de material de substituição;
- ✓ Na mistura com substituição de 20% da ADF recuperada a expansão aumentou em relação ao solo natural, porém nas demais decresceu expressivamente;
- ✓ Nas misturas do solo, com substituição de 40% e de 60% com ADF recuperada, a capacidade de suporte foi de 26,80% e 32,50%,

respectivamente, o que qualifica as misturas para uso de uma camada de reforço do subleito e de sub-base de um pavimento;

- ✓ Os melhores resultados obtidos, entre todas as amostras ensaiadas, foi a da mistura em que houve uma substituição de 60% de solo por ADF recuperada;
- ✓ Conforme os ensaios de caracterização dos resíduos, a areia de fundição fenólica recuperada atende as condições específicas da Lei/SC nº 17.479, podendo ser utilizado na pavimentação.

Para as pesquisas futuras podem ser realizados os seguintes estudos:

- ✓ Realizar a aplicação da substituição da ADF recuperada no solo em diferentes percentuais;
- ✓ Analisar as características físicas e mecânicas em misturas com ADF recuperadas em solos de outra Formação Geológica;
- ✓ Analisar o comportamento da ADF fina como filler em misturas asfálticas.

Citações e referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**: Solo – Ensaio de compactação proctor intermediário. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9895**: Solo – Índice de suporte Califórnia (ISC): método de ensaio. Rio de Janeiro, 2016.



BEHAK, Leonardo. **Estabilização de um solo sedimentar arenoso do Uruguai com cinza de casca de arroz e Cal**. 2007. Dissertação de mestrado (Universidade Federal de Rio Grande do Sul).

BERNUCCI, Liedi Bariani (Et al.). **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, 2008. 508 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE, **Manual De Pavimentação**. 3 ed. Rio de Janeiro: IPR, 2006. 274 p.

KAMMER, Vanessa Jesuino. **Análise das propriedades físicas e mecânicas de um solo estabilizado quimicamente com aditivo Con-Aid@/CBRPLUS para emprego em obras de pavimentação**. 2013. Monografia (Curso de Engenharia Civil) Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

KLINSKY, L. M. G. (2008). **Proposta de Reaproveitamento de areia de fundição em sub-bases e bases de pavimentos flexíveis, através de sua incorporação a solos argilosos**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. São Paulo.

POTTER, Reinaldo Oscar; CARVALHO, Américo Pereira de; FLORES, Carlos Alberto; BOGNOLA, Itamar. **Embrapa Solos. Boletim Pesquisa e Desenvolvimento. Solos do Estado de Santa Catarina, nº 46**. 1ª edição. Rio de Janeiro: Editora Embrapa, 2004.

SANTA CATARINA. Constituição (2018). Lei nº 17.479, de 15 de janeiro de 2018. **Dispõe Sobre A Utilização das Areias Descartadas de Fundição (ADF)**. Santa Catarina. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=355620>. Acesso em: 30 abr. 2020.

SCHEUNEMANN, R. **Regeneração de areia de fundição através de tratamento químico via processo Fenton**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Florianópolis: UFSC, 2005.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de técnicas de pavimentação**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2007. 764 p.

SIDDIQUE, Rafat; AGGARWAL, Yogesh; AGGARWAL, Paratibha; KADRI, El-Hadj; BENNACER, Rachid. Strength, durability, and micro-structural properties of concrete made with used-foundry sand (UFS). **Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 25, n. 4, p.1916-1925, abr. 2011.

TOLEDO, Jessica Marina Signorelli. **Avaliação físico-química da utilização de areias descartadas de fundição na fabricação de pavimento intertravado de concreto**. 2017, Tese de Mestrado - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

WINKLER, E.S.; BOL'SHAKOV, A.A. **Characterization Of Foundry Sand Waste – Technical Report 31**. Chelsea Center For Recycling And Economic Development Technical Research Program, University Of Massachusetts, Amherst, 70 P., 2000.