

Análise de mistura entre solo e material cerâmico resultante de resíduos da fabricação de tijolos**Mix analysis between soil and ceramic material resulting from brick manufacture waste**

DOI:10.34117/bjdv6n1-108

Recebimento dos originais: 30/11/2019

Aceitação para publicação: 10/01/2020

João Paulo Souza Silva

Doutor em Geotecnia pela Universidade de Brasília – UnB

Instituição: Universidade Federal de Goiás-UFG

Endereço: Av. Universitária, no. 1488. Setor Universitário. CEP 74605-220. Goiânia - Goiás
- Brasil

E-mail: jpss@ufg.br

RESUMO

Esta pesquisa objetiva o estudo da mistura entre solo e resíduo de material cerâmico, com fins de pavimentação no estado do Tocantins, pela caracterização do resíduo, estudo de dosagem da mistura, compactação das misturas e realização de ensaios físicos e mecânico. O basalto e o ligante apresentaram valores padrões e dentro dos limites de aceitação exigidos. A partir da análise dos resultados, observou-se que a utilização de resíduos de cerâmica vermelha como agregado na camada de base de pavimento rodoviário no município de Palmas-TO é indicada, principalmente quando analisado o método ISC, obtendo um resultado conforme recomendação do DNIT.

Palavras-Chave: resíduo de cerâmica vermelha, pavimentação, camada de Base.

ABSTRACT

This research aims to study the mixture between soil and ceramic material residue, with the purpose of paving in the state of Tocantins, by characterizing the residue, study of mixture dosage, compaction of mixtures and physical and mechanical tests. Basalt and binder presented standard values and within the required acceptance limits. From the analysis of the results, it was observed that the use of red ceramic residues as aggregate in the base layer of road pavement in the city of Palmas-TO is indicated, especially when analyzing the ISC method, obtaining a result as recommended by DNIT.

Keywords: red ceramic residue, paving, base layer.

1 INTRODUÇÃO

Em razão da grande relevância das questões ligadas à preservação ambiental e qualidade de vida, as pesquisas na área da Engenharia Civil têm dedicado especial atenção à reciclagem de materiais, buscando, deste modo, modelos de produção e consumo mais sustentáveis. Neste sentido, um assunto de grande importância diz respeito ao reaproveitamento dos resíduos da fabricação de material cerâmico como agregado reciclado, uma vez que a construção civil é responsável por grande parte dos recursos naturais extraídos.

Um dos resíduos mais descartados na construção civil é o resíduo de cerâmica vermelha. O setor cerâmico equivale a 1,0 % do PIB brasileiro, sendo que só a cerâmica vermelha estrutural representa cerca de 40% desse valor e 4,8% da indústria da construção civil (IBGE, 2017).

Como alternativa à solução desse problema, dentro de tais perspectivas, a presente pesquisa pretende analisar o uso de material cerâmico como agregado reciclado, proveniente de resíduos de fabricação de telhas e tijolos, para o melhoramento de camadas de reforço de pavimentos de baixo tráfego em Palmas-TO. Deste modo, espera-se encontrar uma solução comum ao problema ambiental do descarte dos resíduos de fabricação de material cerâmico e à escassez de agregado para pavimentação no município.

Pesquisas anteriores mencionadas neste trabalho não tratam da utilização do resíduo para pavimentação urbana. Assim, o presente estudo mostra a importância da aplicação dos resíduos gerados na própria região metropolitana do município de Palmas, trazendo um ganho expressivo na redução do consumo de matérias-primas e, ainda, solucionando o problema do calçamento de vias em regiões altamente adensadas que não possuíam rede pavimentada.

2 METODOLOGIA

Iniciou-se com as amostragens dos solos, devidamente identificadas e georreferenciadas em setembro de 2015 e, em seguida, caracterizadas por meio de ensaios geotécnicos. Após esta etapa, foram feitas comparações entre as características dos solos da região e a composição de três amostras do solo com adição de resíduo de cerâmica vermelha (RCV), que também foram ensaiadas: Amostra A1 de 100% de solo; Amostra A2 de 60% de solo + 40% de RCV; Amostra A3 de 50% de solo + 50% de RCV; e Amostra A4 de 25% de solo + 75% de RCV. Foram executados ensaios de caracterização granulométrica e densidade real dos grãos das amostras, limites de consistência, Classificação SUCS e TRB para as amostras de solo.

Após determinação de tais parâmetros físicos, foram executados ensaios de Compactação, Índice de Suporte Califórnia (ISC), expansão, índice de vazios e grau de saturação para todas as amostras. A avaliação das amostras de Solo+RCV foi baseada em parâmetros técnicos para projetos rodoviários, analisando valores mínimos exigidos pelo Manual de Pavimentação Rodoviária (DNIT, 2006) e pela NBR 15.115 (ABNT, 2004). Nos itens que se seguem, são apresentados os materiais e a metodologia utilizados para desenvolvimento deste trabalho, o solo natural e o RCV. Posteriormente, são expostos os resultados obtidos nos experimentos.

2.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Nesta pesquisa, foram estudados RCVs provenientes de indústrias de produção de blocos cerâmicos no município de Palmas-TO, juntamente com o solo do subleito de avenidas não pavimentadas da Quadra 309 Sul.

O material granular proveniente do resíduo de cerâmica vermelha foi obtido por meio de fragmentação manual, através de golpes aplicados ao RCV, com utilização de um soquete de compactação. Tal procedimento de compactação está ilustrado na figura abaixo. Ainda nesta etapa, houve uma tentativa de fragmentação do material através de um moinho, no laboratório, porém, tal processo não foi efetivo, devido à geração de grande quantidade de material de fundo após passagem pelo moinho e peneiramento.



Figura 11. Resíduos cerâmicos: (a) RCV coletado; (b) RCV fragmentado; (c) soquete utilizado na fragmentação; (d) armazenagem após fragmentação; (e) aplicação de golpes do soquete

Considerando que a tentativa de acelerar o processo de fragmentação do RCV utilizando o moinho não foi eficiente, optou-se por continuar manualmente através da aplicação de golpes com o soquete de compactação.

A avaliação das características geotécnicas dos solos de subleitos foi feita a partir de coletas de amostras deformadas de solo, seguindo para armazenagem do mesmo e, então, para a realização dos ensaios no Laboratório de Infraestrutura e Materiais da Universidade Federal do Tocantins – INFRAMAT. Foram realizados ensaios de Granulometria, Limites físicos, Compactação e Índice de Suporte Califórnia (ISC).

Além do solo de subleito, foi utilizado como material para camada de base para essa pesquisa o RCV (Resíduo de cerâmica vermelha), obtido por meio da coleta de tijolos provenientes de resíduos de fábricas locais.

2.2 ENSAIOS GEOTÉCNICOS

Com base em trabalhos anteriores de Dias (2004) e Redivo (2011), a metodologia adotada para obtenção dos resultados foi dividida em três etapas, descritas com detalhes a seguir.

- Etapa I: Coleta e caracterização de solo típico das camadas de subleito utilizado em pavimentação no município de Palmas-TO;
- Etapa II: Análise da mistura entre solo e material cerâmico resultante de resíduos da fabricação de tijolos

O RCV foi devidamente fragmentado e peneirado, até atingir a granulometria desejada, preconizada (Faixa E do DNIT), e posteriormente misturada ao solo, sendo assim então caracterizada.

Para a determinação da melhor proporção da mistura “solo-resíduo”, foram utilizadas para o estudo três proporções em peso: 40% solo e 60% agregado reciclado de tijolos, 50% solo e 50% agregado reciclado de tijolos e 75% solo e 25% agregado reciclado de tijolos. Deste modo, obtiveram-se ao final desta etapa três amostras da mistura solo-resíduo. Vale ainda ressaltar que, para a classificação das amostras de solo, foram adotados dois tipos de classificação, com suas respectivas metodologias: SUCS e TRB.

2.3 ENSAIOS DE DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA

Da etapa de determinação da resistência mecânica depende a espessura das camadas do pavimento quando mensurado segundo o método de dimensionamento empírico do DNIT. O ensaio Índice de Suporte Califórnia – ISC é padronizado pela norma rodoviária ME 049/94 (DNER, 1994) e foi realizado em sequência ao ensaio de compactação, pois para sua realização foram utilizados os corpos de prova anteriormente moldados.



Figura 22. Execução do ensaio de ISC

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 ENSAIOS FÍSICOS

Foi possível observar que, após adição do RCV em todas as proporções, percebe-se que os valores para massa específica se encontram dentro do intervalo de solos típicos brasileiros ($2,4 - 2,9\text{g/cm}^3$) (Pinto, 2006).

As composições granulométricas das amostras foram analisadas com base na NBR 7181 (ABNT, 1984c), observadas na Figura abaixo.

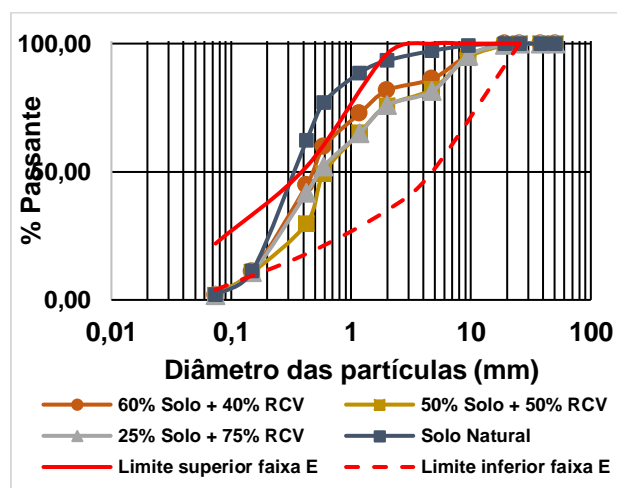


Figura 33. Distribuição Granulométrica das amostras

A partir do gráfico acima, percebe-se que as curvas de todas as amostras obtiveram aparências semelhantes, ou seja, curvas teoricamente não uniformes, demonstrando característica de concentração maior em uma determinada faixa de diâmetro de grãos (areais) e falta de outros diâmetros (argilas e siltes).

Comparando o solo original às amostras com RCV, foi observada a queda dos valores, tanto para C_c quanto para CNU, nas configurações aonde receberam RCV.

3.1.1 Limites de consistência

Com relação aos Limites de Atterberg, dentre as amostras da mistura Solo-RCV, a única que apresentou limite de liquidez foi a de 50% (50% Solo + 50% RCV), ou seja, apontou valores de umidade correspondentes aos 25 golpes, conforme especificado pelo ensaio de limite de liquidez normatizado NBR 6459/84 (ABNT, 1984). A referida amostra, de 25 golpes, obteve um valor correspondente de $LL = 20,32\%$, diferente dos resultados obtidos para este mesmo tipo de solo sem presença de resíduo, o qual apresentou um valor de $LL = 12,89\%$.

Desta forma, confirma-se um aumento de 57,6% de umidade com a adição de resíduo de cerâmica vermelha. Tal aspecto denota umas das características específicas do resíduo que é a absorção de umidade, como era esperado, devido à alta porosidade do material cerâmico.

Com relação ao limite de plasticidade (LP), especificado no ensaio conforme a normativa DNIT 082/94 (DNIT, 1994), nenhuma das amostras de mistura solo-agregado reciclado apresentou limites de plasticidade. Esse aspecto pode ser justificado devido à característica de grande absorção e alta porosidade do RCV (apesar de este material ser constituído de argila, que é um material plástico). Aliado a esse fator, ainda pode ser acrescentado o fato de que o solo original é um solo predominantemente arenoso, ou seja, não coesivo e não plástico, sendo, então, um fator determinante nessa etapa da avaliação.

3.1.2 Classificação dos solos

Análises segundo a classificação SUCS mostram que as amostras com 50% Solo+50%RCV, devido ao fato de apresentarem um índice CNU superior a 6 e C_c entre 1 e 3 e, também, maior porcentagem de areia, classificam-se como SW, ou seja, areia bem graduada com pedregulho. Desta forma, se adequam aos grupos GW e SW que, de acordo com o DNIT (2006), são solos bem graduados que contêm cascalho e areia sem muitos finos (valores menores que 5% para material passante na peneira nº 200).

Já a amostra de Solo natural, a de 60% Solo+40%RCV e de 25% Solo+75%RCV, por

apresentarem C_c inferior a 1, uma curva granulométrica mal graduada, recebem classificação para este sistema de SP, ou seja, areia mal graduada com pedregulho. Desta maneira, se adequam aos grupos GP e SP que, conforme DNIT (2006), compreendem solos mal graduados com cascalho, arenosos e sem muitos finos (valores inferiores a 5% de material passante na peneira nº 200).

De acordo com o Sistema de Classificação TRB, as amostras 60%Solo+40%RCV e 25%Solo+75%RCV obtiveram classificação A-2-4, a mesma do solo natural coletado na Quadra 309 Sul em Palmas-TO. Por meio dessa classificação, os materiais constituintes desta última amostra são considerados pedregulho, areia siltosa ou argilosos, entretanto, pelo fato de apresentar maior percentagem de areia e também presença de silte, se adequa à classificação de areia siltosa. Diferentemente das amostras 60%Solo+40%RCV e 25%Solo+75%RCV, a amostra 50%Solo+50%RCV obteve classificação A-2-6, ou seja, comporta-se como areia siltosa.

3.1.3 Compactação do solo

Analisando os resultados da curva de compactação, tem-se que há um aumento da massa específica aparente seca de solo em função da incorporação de RCV, exceto para a composição 25%Solo+75%RCV. Nota-se que a melhor composição foi a de 50% de adição de RCV. Além disso, espera-se que o ponto com maior valor de densidade seja aquele que apresente o melhor CBR; portanto, é o ponto de maior interesse geotécnico.

Conforme as curvas típicas de solos brasileiros, segundo Pinto (2006), percebem-se que as classificações referentes aos solos 60%Solo+40%RCV e 50%Solo+50%RCV apresentam resultados semelhantes a um solo arenoso, enquanto que para 25%Solo+75%RCV, um comportamento de areia silto argilosa. Esse fato, observado com base nas comparações experimentais e na literatura especializada, traz uma ideia de que o resíduo pode apresentar textura com uma classificação geotécnica e comportamento mecânico de outra forma, não necessariamente semelhante a um solo tipicamente brasileiro.

O ensaio de compactação obtido está ilustrado no gráfico abaixo, no qual estão dispostas todas as amostras estudadas.

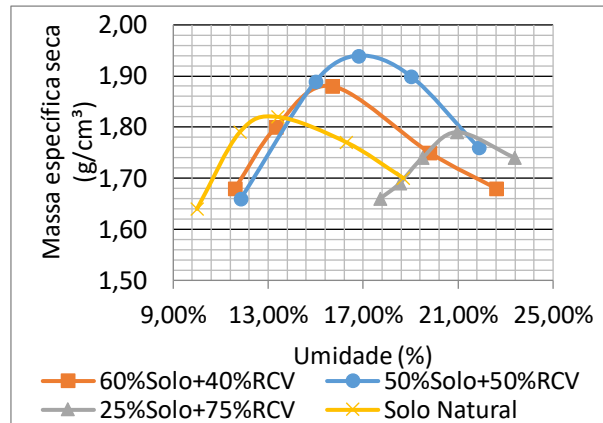


Figura 44. Curva de compactação do solo – Proctor Intermediário

3.2 DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE SUPORTE

Para determinar a capacidade de suporte do solo, por meio do ensaio de ISC, foram testados os três corpos de prova mais próximos à máxima densidade obtida no ensaio de Compactação. Os resultados são apresentados na Figura 5, e a Tabela 1 mostra os valores de expansão.

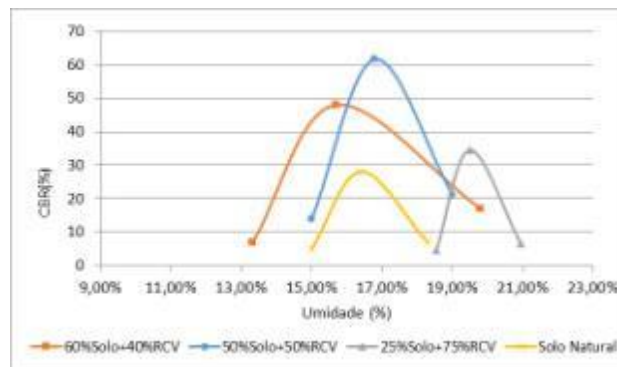


Figura 55. Valores do ISC das misturas ensaiadas

Tabela 1. Valores da expansibilidade das amostras analisadas

Material/Mistura	Expansão (%)
Solo Natural	0,31
60% Solo + 40% RCV	0,22
50% Solo + 50% RCV	0,18
25% Solo + 75% RCV	0,16

Analisando os resultados e tendo como referências o Manual de Pavimentação (DNIT, 2006) e a NBR 15.115 (ABNT, 2004), as quais especificam valores de ISC empregados em camada de base para um número de repetições do eixo-padrão, durante o período do projeto $N \leq 5 \times 10^6$, serão aceitos materiais com Limite de Liquidez $\leq 25\%$ e índice de plasticidade $\leq 6\%$ e, ainda, $ISC \geq 60\%$. Logo, observa-se, a partir dos dados obtidos no ensaio, que apenas a amostra 50% Solo+50% RCV atende ao quesito resistência para uso em camada de Base. Os demais materiais podem ser empregados nas outras camadas granulares.

Sob o ponto de vista de estabilidade do solo, analisando também a granulometria dos solos e relacionando-os aos resultados de ISC, pode-se afirmar que a quantidade de finos, ou melhor, o teor de finos apresenta um papel muito importante no quesito resistência do maciço compactado. Assim, quando se tem uma estrutura de solo, com agregados constituintes de teores de finos em quantidades suficientes para o preenchimento de vazios, há um ganho de estabilidade e, por conseguinte, uma redução de permeabilidade, proporcionando uma situação ideal para melhoria da resistência do maciço compactado.

4 CONCLUSÕES

A partir dos resultados experimentais, bem como do objetivo geral de identificar a possível aplicação de resíduos de cerâmica vermelha (RCV) em camadas de Base de pavimentos de baixo tráfego no município de Palmas-TO, misturado ao solo da própria região, foi possível chegar a algumas conclusões, conforme dispostas a seguir.

Com relação à análise granulométrica, as amostras retratam a modificação da distribuição das partículas quando adicionado RCV, tendo como base a faixa granulométrica estabelecida pelo DNIT (2006). Além disso, quando adicionado RCV ao solo, observou-se tanto queda dos valores de C_c quanto de CNU, sendo a melhor condição para a amostra a que contém 50% de Solo + 50% de RCV.

Ao se analisar a densidade específica dos grãos, percebeu-se que, para a adição de RCV como agregado para amostras, os valores foram superiores ao solo original. Quando se compara o solo misturado com RCV e o solo original, foi constatado que houve aumento significativo da umidade ótima, conforme análise prévia de pesquisas anteriores que comprovaram a alta absorção de umidade no caso de materiais cerâmicos como característica intrínseca deste material.

Outra característica importante percebida nos ensaios, com relação aos materiais cerâmicos, refere-se à expansibilidade das amostras de solo com RCV, com resultados

inferiores a 0,5%, quando se analisa resultados para o ensaio de expansibilidade tradicional. Conforme normativa do DNIT (2006), esta característica se enquadraria no estabelecido para obras de pavimentação, contando ainda com uma resistência do solo favorável para sua aplicação em camada de base de pavimentos de baixo tráfego.

Também importante, quando verificado o ensaio de compactação das amostras de solos, foi que todas ficaram abaixo da curva de 80% de saturação, o que se deve, principalmente, à característica de absorção do RCV.

Finalmente, analisando todos os dados em conjunto, nota-se que a adição de RCV foi favorável para a configuração 50% Solo+50% RCV, em sua aplicação como camada de Base de pavimentos de baixo tráfego, quando utilizados materiais com características semelhantes ao estudado. Essa afirmação se dá principalmente com relação ao parâmetro usado no dimensionamento de camadas de pavimentos, o ISC, mostrando que o material possui viabilidade técnico-ambiental adequada.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação: NBR 15115*. Rio de Janeiro, 2004.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de transportes. *Manual de Pavimentação*. 3ed. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. IPR, Rio de Janeiro, 2006 274p.

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. *ME 049/94 – Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas*. 3ed. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. IPR, Rio de Janeiro, 1994.

_____. *Solos – determinação do índice de densidade real: DNER-ME 093/94*. Rio de Janeiro, 1994.

DIAS, J. F. *Avaliação de resíduos da fabricação de telhas de cerâmicas para seu emprego em camadas de pavimento de baixo custo*. 2004. 251 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Pesquisa Anual da Indústria da Construção*. 2017. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/industria/paic/2008/comentario.pdf>>.

Acesso em: 30 mar. 2017.

PINTO, C. S. *Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas*. 2006. 3.ed. Oficina Textos. São Paulo. 2006.

REDIVO, I. M. *Utilização de resíduo de cerâmica vermelha em mistura com solo em camadas de pavimentos com baixo volume de tráfego*. 2011.160f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.