

COMPORTAMENTO DE SOLOS ESTABILIZADOS COM CCA, CAL E CIMENTO VISANDO APLICAÇÃO EM CAMADAS DE PAVIMENTOS

ELISA DEGRANDI FOCESATO¹; LUÍS EDUARDO FIGUEIREDO DE CARVALHO²;
VALKIRIA ZUCCHETTO PADILHA³; RAFAEL VANINI⁴; SÍLVIA SANTOS^{5*}.

¹Engenheira Civil, UNIVALI, Itajaí-SC, elisafochesato@hotmail.com;

²Engenheiro Civil, UNIVAL, Itajaí-SC, luis.figueiredo@me.com;

³Engenheira Civil, UNIVAL, Itajaí-SC, valkiria@edu.univali.br;

⁴Graduando em Engenharia Civil, UNIVALI, Itajaí-SC, rafa.vanini@hotmail.com;

⁵Dra. em Tecnologia do Concreto, UNIVALI, Itajaí-SC, ssantos@univali.br.

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2017
8 a 11 de agosto de 2017 – Belém-PA, Brasil

RESUMO: Com a malha rodoviária brasileira em sua maioria não pavimentada e em situação degradante, a solução encontrada é um novo sistema de gestão de rodovias, as chamadas concessões, porém, a construção de novos trechos deve atender à três parâmetros: sustentabilidade, economia e resistência. O principal método de conferir ao solo um ganho nas suas características é a estabilização, que consiste na modificação das propriedades do sistema solo+água+ar. O presente trabalho teve como objetivo avaliar as características de solos residuais com substituição, em volume absoluto, de CCA (cinza de casca de arroz), cal e cimento visando sua utilização em camadas de reforço de subleito de pavimentos. Foram produzidas seis misturas além da mistura referência (solo natural), com teores dos materiais citados, na faixa de 5% à 13%. O grupo de misturas da cal foi o único que não atingiu, aos 28 dias, a resistência mínima requerida para uso em camadas de pavimento. Destaca-se que as misturas que possuíam CCA apresentaram bom desempenho, sendo que na mistura com solo e cal, a presença da CCA elevou em cerca de 33% a resistência quando comparada à mistura sem adição do resíduo. A pesquisa demonstrou que a incorporação de resíduos pode colaborar com a construção de pavimentos duráveis e de forma sustentável. Além disso, notou-se a não singularidade entre as normas de solo-cimento e o dimensionamento de pavimentos, não sendo possível então, a realização do dimensionamento para análise da viabilidade da aplicação das misturas estudadas.

PALAVRAS-CHAVE: Sustentabilidade, pavimentação, solo-cimento, solo-cal, cinza de casca de arroz.

SOIL STABILIZED BEHAVIOR WITH RHA, LIME AND CEMENT AIMING FOR A FLOORING LAYERS

ABSTRACT: With the Brazilian road network mostly unpaved and degrading situation, the solution is a new road management system, called concessions, however, the construction of new sections must meet three criteria: sustainability, economy and resistance. The primary method of providing the ground in gain characteristics is stabilized, which consists in modifying the properties of the system soil+water+air. This study aimed to evaluate the residual soil characteristics with replacement, in absolute terms, RHA (rice husk ash), lime and cement aiming its use in subgrade reinforcement layers of flooring. Six mixtures were produced besides the reference mixture (natural soil) with levels of materials from 5% to 13%. The group of lime mixtures was the only one who has not reached, at 28 days, the minimum strength required for use in pavement layers. It is noteworthy that the mixtures had RHA performed well, with the mix with soil and lime, rose by about 33% resistance when compared to the mixture without addition of waste. Research has shown that waste incorporation can collaborate with the construction of durable flooring and sustainably. In addition, it was noted the non uniqueness of the soil-cement standards and the design of floors, it is not possible then, to make the design to analyze the feasibility of applying the studied mixtures.

KEYWORDS: Sustainability, paving, soil-cement, soil-lime, rice husk ash.

INTRODUÇÃO

A partir do ano 2000, vem sendo implantado no Brasil uma nova modalidade de gestão e operação das rodovias federais e estaduais, trazendo tecnologia e manutenção periódica. Trata-se do modelo de concessão, onde é repassada à iniciativa privada a corresponsabilidade de novos investimentos no setor. Os contratos de concessão, muitas vezes exigem em contrapartida da concessionária, a aplicação de recursos na melhoria das vias, ampliação da capacidade de tráfego, manutenção nos pavimentos, drenagem e obras de arte.

Com vistas à sustentabilidade e o melhoramento das rodovias, novos materiais e métodos vêm sendo estudados de modo a resultar na elaboração de projetos mais sofisticados. Com suporte técnico de qualidade, e análise de materiais que possam ser reutilizados com base em suas características físico-mecânicas, o resultado é a redução dos custos operacionais e construtivos.

Os solos apresentam propriedades características instáveis, tendo em vista que materiais obtidos de uma mesma jazida possuem propriedades distintas. Desta forma, exprime-se a necessidade da procura de compostos que possam ser adicionados para o melhoramento das características do solo, dando-se a isto o nome de estabilização. Inglês e Metcalf (1972) apontam que a estabilização de solos é a aplicação de técnicas que buscam melhorias nas propriedades mecânicas deste material.

Vendruscolo (2003) afirma que existem basicamente dois tipos de estabilização de solos, as mecânicas e as físico-químicas. Para as estabilizações mecânicas procura-se o melhoramento por meio de qualidades do próprio solo; o mesmo se arranja de tal forma que as partículas se fundem, distribuindo as solicitações de maneira uniforme. Já as estabilizações físico-químicas, buscam o melhoramento do solo por meio de adições que possam aprimorar as qualidades, como resistência, rigidez, durabilidade e coesão.

Pesquisas de adição de materiais como CCA, cal e cimento vêm sendo realizadas de modo a melhorar as características já mencionadas, porém estes estudos foram realizados com solos residuais diferentes dos que se encontram na região do Vale do Itajaí/SC. Sendo assim faz-se evidente a análise da classificação e o melhoramento de solos residuais presentes nesta região.

MATERIAIS E MÉTODOS

A principal hipótese avaliada na pesquisa era verificar se a estabilização de solos residuais com substituições em volume absoluto de CCA, cal e cimento, resultaria em um material mais resistente podendo ser aplicado em camadas de reforço de subleitos de pavimentos.

O cimento Portland escolhido foi o CP II-F, pois é considerado quimicamente inerte por apresentar filer calcário adicionado, o que permitiria que a contribuição da pozolana (CCA) ocorresse unicamente em função do acréscimo da mesma; segundo o fabricante, sua massa específica é de $3,11\text{g/cm}^3$. A cal utilizada é classificada segundo a NBR 7175:2003 como Cal Hidratada CHIII, e possui massa específica de $2,60\text{g/cm}^3$, segundo o fabricante. A CCA foi coletada “*in natura*”, porém antes de sua utilização nas misturas, foi submetida à moagem no moinho de Abrasão Los Angeles, onde foram colocados aproximadamente 20kg de CCA e 7 esferas metálicas com massa média de 0,451kg, totalizando 3,16kg de carga abrasiva, por um período de 40 minutos, resultando em uma CCA com massa específica igual à $2,09\text{g/cm}^3$. O solo foi coletado de uma jazida localizada no município de Balneário Camboriú/SC, pertencente ao Vale do Itajaí/SC; foram realizados ensaios de granulometria, limite de liquidez e limite de plasticidade, e obtidos os resultados apresentados nas Tabelas 1 e 2. Todas as moldagens de corpos de prova, bem como todos os ensaios, foram realizados no período de julho à novembro de 2015 no LATEC – Laboratório de Pesquisa Tecnológica em Engenharia Civil – da Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI) localizado no município de Itajaí/SC.

Tabela 1. Resultados das frações granulométricas obtidas.

| Frações granulométricas | Porcentagem granulométrica |
|-------------------------------|----------------------------|
| Pedregulho (> 4,8mm) | 17,30% |
| Areia grossa (4,8mm – 2,0mm) | 11,32% |
| Areia média (2,0mm – 0,42mm) | 22,68% |
| Areia fina (0,42mm – 0,074mm) | 27,52% |
| Silte+Argila (< 0,074mm) | 21,20% |
| Total | 100,00% |

Tabela 2. Resultados obtidos segundo os Limites de Atterberg.

| | |
|-----------------------------------|-------------------|
| Limite de plasticidade – L.P. (%) | Solo Não Plástico |
| Limite de liquidez – L.L. (%) | 33,26 |
| Índice de plasticidade – I.P. (%) | 33,26 |

Partindo dos estudos de Rodrigues (2012) e Klamt (2012), optou-se por tomar como base para a definição dos teores, a junção dos parâmetros utilizados por ambos: um escolhendo o cimento como o principal aglomerante, e o outro a cal.

A partir da determinação dos teores, foram produzidos 7 traços distintos (Tabela 3), tendo como referência o solo natural (100%) e seguido de 6 teores de substituição por CCA, cal e cimento, sendo ensaiados 2 corpos de prova por idade, nas idades de 7 e 28 dias, resultando em 28 corpos de prova moldados e analisados. As quantidades de materiais utilizados em cada traço se encontram na Tabela 4.

Tabela 3. Teores e misturas dos solos.

| Solo+Cal | Solo+Cimento | Solo+Cimento+Cal |
|---------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| 87%Solo + 13%Cal | 87%Solo + 13%Cimento | 87%Solo + 6,5%Cal + 6,5%Cimento |
| 80%Solo + 10%Cal + 10%CCA | 80%Solo + 10%Cimento + 10%CCA | 80%Solo + 5%Cal + 5%Cimento + 10%CCA |

Tabela 4. Quantidade de materiais, por traço, para produção de 6kg de amostra.

| Mistura | Material | Massa (g) | Volume (cm ³) | Massa corrigida (g) | Adição de água (cm ³) |
|--------------------------------------|----------|-----------|---------------------------|---------------------|-----------------------------------|
| 87%Solo + 13%Cal | Solo | 6000,00 | 3300,33 | 4884,49 | 882,60 |
| | Cal | 1115,51 | 429,04 | 1115,51 | |
| 80%Solo + 10%Cal + 10%CCA | Solo | 6000,00 | 3300,33 | 4452,15 | 966,10 |
| | Cal | 858,09 | 330,03 | 858,09 | |
| | CCA | 689,77 | 330,03 | 689,77 | |
| 87%Solo + 13%Cimento | Solo | 6000,00 | 3296,70 | 4667,14 | 946,80 |
| | Cimento | 1332,86 | 428,57 | 1332,86 | |
| 80%Solo + 10%Cimento + 10%CCA | Solo | 6000,00 | 3300,33 | 4283,83 | 1169,40 |
| | Cimento | 1026,40 | 330,03 | 1026,40 | |
| | CCA | 689,77 | 330,03 | 689,77 | |
| 87%Solo + 6,5%Cal + 6,5%Cimento | Solo | 6000,00 | 3300,33 | 4775,08 | 846,20 |
| | Cal | 557,76 | 214,52 | 557,76 | |
| | Cimento | 667,16 | 214,52 | 667,16 | |
| 80%Solo + 5%Cal + 5%Cimento + 10%CCA | Solo | 6000,00 | 3300,33 | 4367,99 | 1068,51 |
| | Cal | 429,04 | 165,02 | 429,04 | |
| | Cimento | 513,20 | 165,02 | 513,20 | |
| | CCA | 689,77 | 330,03 | 689,77 | |

Conforme prescrito na NBR 6457:1986 foi utilizado apenas o solo passante na peneira de malha 4,75mm. O ensaio de compactação foi realizado na energia intermediária do ensaio de Proctor Normal como previsto na NBR 7182:1988. A realização do ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC) procedeu-se conforme a NBR 9895:1987. Com exceção das amostras de solo natural, solo+cal+CCA (7 dias) e solo+cal+cimento+CCA (7dias), não foi possível obter valores de penetração de nenhuma outra mistura devido à alta resistência obtida pelas mesmas. Procurando alternativas para a continuação do trabalho, optou-se por realizar ensaios de resistência à compressão simples (RCS) de acordo com a NBR 12024:1992.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O índice de atividade pozolânica obtida para a CCA utilizada foi de 60,5%. De acordo com a NBR 12653:2014 o nível de atividade deve ser de, no mínimo, 90% aos 28 dias de idade para que a pozolana seja utilizada como adição na produção de cimento. Porém, o resultado encontrado foi considerado satisfatório, visto que se trata de uma substituição para melhoramento de solo e não para produção de cimento.

A densidade aparente seca e a umidade ótima de compactação encontradas para o solo natural e as demais misturas são apresentadas na Tabela 5.

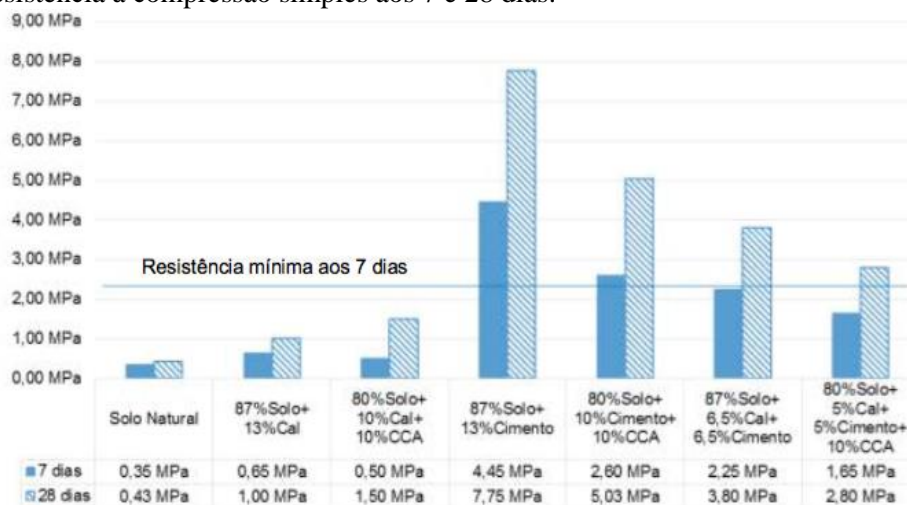
Tabela 5. Características de compactação do solo e das misturas.

| Mistura | Densidade aparente seca (g/cm ³) | Umidade ótima (%) |
|--|--|-------------------|
| Solo natural | 1,82 | 14,18 |
| 87% Solo + 13% Cal | 1,81 | 14,71 |
| 80% Solo + 10% Cal + 10% CCA | 1,56 | 16,10 |
| 87% Solo + 13% Cimento | 1,81 | 15,78 |
| 80% Solo + 10% Cimento + 10% CCA | 1,60 | 19,49 |
| 87% Solo + 6,5% Cal + 6,5% Cimento | 1,76 | 14,10 |
| 80% Solo + 5% Cal + 5% Cimento + 10% CCA | 1,62 | 17,81 |

A adição de cal e cimento trouxe para as misturas, uma redução no peso específico seco máximo do solo e aumento na umidade ótima. Conforme descrito por Lovato (2004), isto ocorre porque as partículas do solo se tornam mais floculadas, aumentando os vazios, e a estrutura floculada é tende a resistir à compactação, mesmo com um índice de vazios mais alto, o que reduz a densidade aparente máxima. Quando o solo apresenta um maior índice de vazios, este necessita de mais água para preenchê-los, ocasionando um aumento significativo da umidade ótima.

Para avaliar a eficiência da estabilização, as misturas foram submetidas ao ensaio de resistência à compressão simples (RCS). Cabe salientar que as amostras foram compactadas, em sua umidade ótima, logo após a homogeneização dos materiais. A Figura 1 apresenta os resultados médios para as idades de 7 e 28 dias.

Figura 1. Resistência à compressão simples aos 7 e 28 dias.



Considerando a natureza da CCA e que sua reação com a cal é lenta, era esperado que esta mistura não atingisse a resistência mínima aos 7 dias. Contudo percebe-se que ao longo do tempo a mistura que contem CCA e cal tem sua resistência bastante melhorada. Este aspecto deve ser levado em consideração, uma vez que nenhum pavimento será liberado para tráfego em 7 dias.

Outro fato importante é que a diminuição do teor de cimento e respectivo acréscimo da CCA na mistura Solo+Cimento+CCA levou à diminuição da RCS. Muito embora a CCA tenha contribuído para o ganho de resistência observado, o índice de atividade pozolânica foi baixo. Assim, pode-se inferir que uma moagem mais eficiente da CCA pode fazer com que sua contribuição no melhoramento de solos seja mais efetiva.

Na mistura de cal e cimento, pode-se afirmar que o incremento da resistência se deu prioritariamente pelo cimento, e em menor escala pela cal combinada com os argilominerais presentes no solo. Quando ocorre o acréscimo de CCA e diminuição dos teores de cimento e cal, fica evidente que o cimento continua sendo o maior responsável pelo incremento da resistência, porém, a CCA quando combinada com a cal, produz reações pozolânicas que por serem lentas, continuarão a ocorrer por um maior período.

CONCLUSÕES

Comparando o solo natural com as demais misturas, observou-se que todas apresentaram resistência à compressão simples superior ao mesmo. As misturas Solo+Cimento, Solo+Cimento+CCA e Solo+Cal+Cimento, foram as únicas que atingiram, aos 7 dias, a resistência mínima prescrita na NBR 12253:1992, de 2,1 MPa. A mistura Solo+Cal+Cimento+CCA, aos 7 dias, não atingiu a resistência mínima, o que não exclui a possibilidade de sua utilização, tendo em vista que a construção da estrutura do pavimento se dará em um período de tempo superior a 28 dias, e a carga plena de uso será requerida posterior à execução da última camada.

A mistura Solo+Cimento foi a que melhor atendeu ao requisito de resistência, contudo, a norma ES 304:1997 do DNIT afirma que, para solos melhorados com cimento, o intervalo de teor a ser utilizado é de 2 a 4%, sendo que, no presente estudo o teor utilizado foi de 13%, gerando uma mistura sustentável, porém, economicamente inviável.

A mistura escolhida para a etapa de dimensionamento do pavimento seria a de Solo+Cal+Cimento+CCA, considerada a melhor segundo os parâmetros definidos no estudo. Entretanto, como não existe correlação entre RCS e ISC e a norma IPR-719:2006 prevê um CBR na faixa de 2 a 20% (o valor obtido para a mistura selecionada foi superior à 100%), não foi possível dimensionar o pavimento para uma real aplicação dos materiais cal, cimento e CCA, em camadas de reforço de subleito.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. 1.ed. Rio de Janeiro, 1986. 9 p.
- _____. NBR 7175: Cal hidratada para argamassas - Requisitos. 1. ed. Rio de Janeiro, 2003. 4 p.
- _____. NBR 7182: Solo - Ensaio de Compactação. 2. ed. Rio de Janeiro, 1988. 10 p.
- _____. NBR 9895: Solo - Índice de Suporte Califórnia - Método de Ensaio. 1. ed. Rio de Janeiro, 1987. 14 p.
- _____. NBR 12024: Solo-cimento - Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos. 1. ed. Rio de Janeiro, 1992. 5 p.
- _____. NBR 12253: Solo-Cimento - Dosagem para emprego como camada de pavimento. 1. ed. Rio de Janeiro, 1992. 4 p.
- _____. NBR 12653: Materiais pozolânicos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2014. 6 p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. DNER-ES 304/97: Pavimentação – Base de solo melhorado com cimento. 1. ed. Brasília, 1997. 9 p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. Manual de Pavimentação, IPR-719. 3. ed. Rio de Janeiro, 2006. 274 p. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual_de_Pavimentacao_Versao_Final.pdf>. Acesso em: 29 maio 2015.
- Inglês, O. G.; Metcalf, J. B. Soil Stabilization. Principles and Practice. Butterworths, Melbourne, 1972.
- Klamt, R. A. Utilização da cal e da cinza de casca de arroz no melhoramento das propriedades geotécnicas de solos. 2012. 105 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2012.
- Lovato, R. S. Estudo do comportamento mecânico de um solo laterítico estabilizado com cal, aplicado à pavimentação. 2004. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
- Rodrigues, R. E. Caracterização e estabilização de um solo na cidade de Alegrete/RS com cimento Portland e cinza de casca de arroz. 2012. 121 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2012.
- Vendruscolo, M. A. Estudo do comportamento de materiais compostos fibrosos para a aplicação como reforço de base de fundações superficiais. 2003. 248 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Curso de Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, PPGEC, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.