

ESTUDO PARA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE NA ESTABILIZAÇÃO DE SOLO

GISLAINE LUVIZÃO¹, GILBERTO REGALIN JÚNIOR², FABIANO ALEXANDRE NIENOV³, LUCAS QUIOCCA ZAMPIERI⁴ e MIGUEL CONTINI⁵.

¹ Me. Professora, Unoesc, Joaçaba-SC, gislaine.luvizao@unoesc.edu.br

² Acadêmico de Engenharia Civil, Unoesc, Joaçaba-SC, junioregalin@gmail.com

³ Dr. Professor, Unoesc, Joaçaba-SC, fabiano.nienov@unoesc.edu.br

⁴ Me. Professor, Unoesc, Joaçaba-SC, lucas.zampieri@unoesc.edu.br

⁵ Acadêmico de Engenharia Civil, Unoesc, Joaçaba-SC, miguelcontini2014@gmail.com

<https://www.unoesc.edu.br>

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
15 a 17 de setembro de 2021

RESUMO: O presente trabalho avalia o comportamento de misturas formadas por solo argiloso, carbonato de cálcio (resíduo proveniente da indústria de papel e celulose) e agentes aglomerantes (Cimento Portland CPV-ARI RS e Cal Hidratada CH-III), tencionando sua utilização em obras geotécnicas. Os teores de substituição de solo adotados para as misturas, em massa, foram de 30% para resíduo, 5%, 8%, 10%, 12% e 14% para cimento e 8%, 10%, 12% e 14% para cal. Foram moldados um total de 108 corpos de prova compactados, os quais foram rompidos em prensa hidráulica, visando a obtenção da resistência à compressão simples. Os períodos de cura estudados foram de 7, 14 e 28 dias, havendo saturação da amostra nas últimas 24 horas. Os resultados indicam que a utilização do carbonato de cálcio, aliado a agentes aglomerantes, propicia o ganho de resistência à compressão simples, a qual atingiu, aos 28 dias de cura, 812,38 kPa para mistura que contém 14% de cal e 7,06 MPa para a composição com 14% de cimento.

PALAVRAS-CHAVE: Carbonato de Cálcio, Lama de Cal, Solo-Cal, Solo-Cimento.

STUDY OF THE UTILIZATION OF RESIDUE FROM THE PAPER AND CELLULOSE INDUSTRY IN SOIL STABILIZATION

ABSTRACT: This study evaluates the behavior of mixtures with clay soil, calcium carbonate (residue from the paper and cellulose industry) and binding agents (hydrated lime CH-III and Portland Cement CPV-ARI RS), aiming their utilization in geotechnical engineering. The soil substitution percentages adopted, in weight, were 30% for residue, 5%, 8%, 10%, 12% and 14% for cement and 8%, 10%, 12% and 14% for hydrated lime. A total of 108 compacted specimens were molded, which were broken in a hydraulic press, in order to obtain simple compression strength. The cure times were of 7, 14 and 28 days, and the samples were submitted to water immersion in the last 24 hours of cure time. The results have demonstrated that the utilization of the calcium carbonate with binding agents bring an increase in the compressive strength, which at 28 day of curing is 812,38 kPa for the mixture containing 14% of lime and 7,06 MPa to the combination with 14% of cement.

KEYWORDS: Calcium Carbonate, Lime Mud, Soil-Lime, Soil-Cement.

INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como objetivo a reutilização da lama de cal (carbonato de cálcio), resíduo amplamente gerado pela indústria de papel e celulose, em misturas de solo argiloso e agentes aglomerantes (Cal Hidratada CH-III e Cimento Portland CPV-ARI RS). Com isso, pretende-se aprimorar a resistência à compressão simples do solo, além de reduzir a disposição do resíduo no meio ambiente.

Machado *et al* (2007) realizou estudo utilizando carbonato de cálcio em misturas com cascalho, aplicadas em trechos experimentais de pavimentos. Os resultados demonstraram que a composição de 70% de cascalho e 30% de lama de cal apresentou maior durabilidade com o tempo e com os carregamentos impostos pelo tráfego de veículos.

Souza (2011) utilizou carbonato de cal em teores de 10%, 20% e 30% juntamente com cal, em quantia de 5%, 10% e 15% respectivamente. Os resultados de seu estudo demonstram que a composição com 30% de resíduo e 15% de cal expressou maior valor de resistência à compressão, que atingiu 966 kPa. Misturas compostas por solo e resíduo não apresentaram variações significativas de resistência.

Rauschkolb (2018) definiu, em seu estudo, que a adição do carbonato de cálcio, juntamente com a cal, provoca aumento da resistência à compressão simples. Essa, para a mistura composta por 50% de solo, 40% de carbonato de cálcio, demonstrou 339,6 kPa aos 150 dias de cura.

MATERIAIS E MÉTODOS

As misturas foram definidas conforme a Tabela 1. Os caracteres “s”, “r”, “ca” e “ci” representam, respectivamente, “solo”, “resíduo”, “cal” e “cimento”. Os números que antecedem cada letra indicam o percentual do respectivo material na mistura.

Tabela 1 - Composição das Misturas

Misturas	Solo (%)	Resíduo (%)	Cal (%)	Cimento (%)
100s-0r-0ca-0ci	100	0	0	0
62s-30r-8ca-0ci	62	30	8	0
60s-30r-10ca-0ci	60	30	10	0
58s-30r-12ca-0ci	58	30	12	0
56s-30r-14ca-0ci	56	30	14	0
65s-30r-0ca-5ci	65	30	0	5
62s-30r-0ca-8ci	62	30	0	8
60s-30r-0ca-10ci	60	30	0	10
58s-30r-0ca-12ci	58	30	0	12
56s-30r-0ca-14ci	56	30	0	14

O percentual de resíduo (carbonato de cálcio) foi fixado em 30% pois pretende-se analisar a interferência causada na resistência à compressão simples somente pela a variação do teor e tipo de aglomerante. Para todas as misturas, o percentual de solo corresponde ao restante da fração.

A amostra de solo foi coletada de modo deformada, na cidade de Joaçaba-SC, seguindo os parâmetros expostos pela PRO 003 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, 1994). Após, o material foi preparado conforme a NBR 6457 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016).

Para caracterização da amostra de solo realizou-se ensaio de granulometria, de acordo com NBR 7181 (ABNT, 2018), peso específico real dos grãos, conforme ME 093 (DNER, 1994) e determinação do limite de plasticidade e liquidez, como expresso nas normas NBR 7180 (ABNT, 2016) e NBR 6459 (ABNT, 2017).

O carbonato de cálcio, também conhecido por lama de cal, é um resíduo proveniente da indústria de papel e celulose. Ao chegar em laboratório, o material apresentava leve teor de umidade e pequenos aglomerados. Desse modo, realizou-se a secagem em estufa, seguido da desagregação dos grãos.

Como agentes aglomerantes foram utilizados o Cimento Portland CPV-ARI RS e a Cal Hidratada CH-III.

A partir disso, realizou-se ensaio de compactação para todos as misturas, conforme NBR 7182 (ABNT, 2016), utilizando a energia de compactação normal. Previamente a realização do ensaio, os materiais foram secos em estufa a 100 ° C, de modo a facilitar a sua homogeneização.

Com os resultados dos ensaios de compactação, foi possível determinar a quantia de material necessária para modelagem dos corpos de prova, os quais apresentam 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura. Nessa etapa, considerou-se parte do material para posterior determinação da umidade.

Foram moldados corpos de prova para todas as misturas, com exceção da que contém somente solo argiloso. Para cada uma das composições elaborou-se 12 amostras, das quais 4 foram rompidas aos 7 dias de cura, 4 aos 14 dias de cura e 4 aos 28 dias de cura, totalizando 108 corpos de prova.

Durante o procedimento de moldagem, todos os materiais foram previamente secos em estufa, a 100 ° C, de modo a facilitar a sua homogeneização. Essa, ocorreu primeiramente sem a adição da água. Após, a quantia de água calculada foi adicionada e realizou-se novamente a mistura. Por fim retirou-se amostra para determinação da umidade.

Como os corpos de prova são formados por 3 camadas equivalente, tornou-se necessário pesar individualmente o material de cada uma, de modo a manter um maior controle de qualidade na hora da compactação. Esse material foi armazenado em potes plásticos fechados, de forma que não houve perda de umidade para o ambiente, e posteriormente foi encaminhado para a moldagem.

A compactação (moldagem) dos corpos de prova ocorreu em presa manual, onde realizou-se a escarificação entre as camadas. Também, realizou-se o emprego de desmoldante, o qual facilitou a retirada da amostra do molde.

A desmoldagem ocorreu logo após o término da compactação, e então foram aferidas as dimensões e a massa dos corpos de prova. Em seguida, eles foram armazenados com suas respectivas identificações, individualmente, em sacos plásticos fechados, prevenindo contra a perda de umidade para o ambiente.

O rompimento ocorreu, como já mencionado, aos 7, 14 e 28 dias seguidos da modelagem. Além disso, nas últimas 24 horas do período de cura, os corpos de prova foram submergidos em água, visando proporcionar uma condição mais desfavorável para resistência.

A aplicação de carga nas amostras foi realizada por prensa hidráulica padronizada. A resistência à compressão simples proveu do quociente entre a carga de ruptura e a área da seção transversal dos corpos de prova.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio dos ensaios de caracterização do solo obteve-se o Limite de Liquidez como 53%, o Limite de Plasticidade como 37% e, conseqüentemente, o Índice de Plasticidade como 16%. O peso específico real dos grãos foi de 2,91 g/cm³, e o solo foi classificado como Argila (Textural) pertencente ao grupo A7-5 (H.R.B ou A.A.S.H.T.O.).

Os resultados do Ensaio de Compactação podem ser observados na Tabela 2.

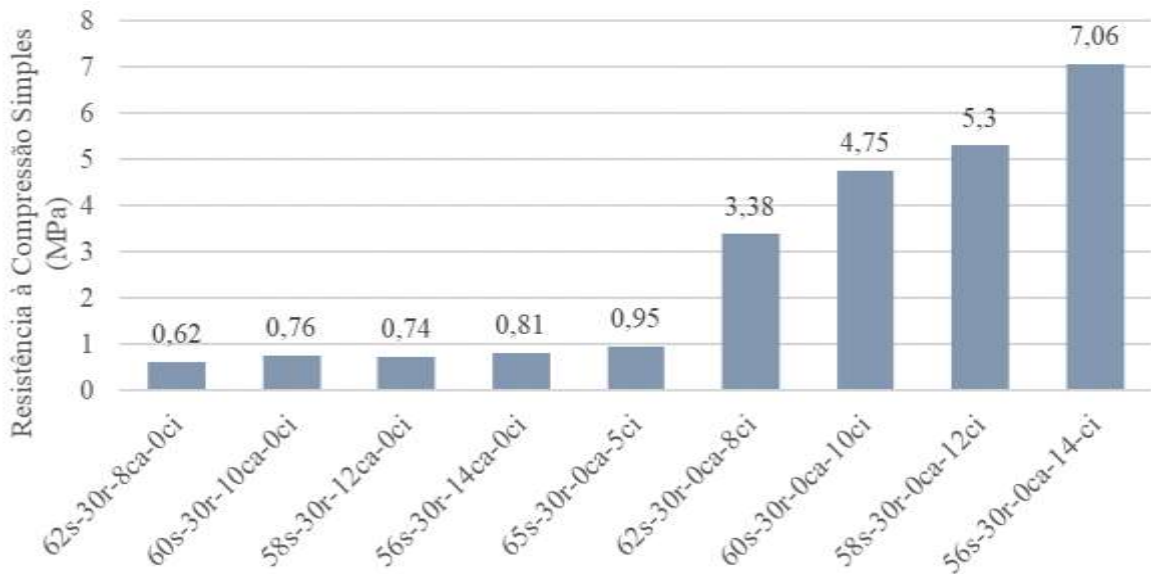
Tabela 2 - Ensaio de Compactação

Misturas	$\gamma_{d_{m\acute{a}x}}$ (kg/m ³)	W _{ótima} (%)
100s-0r-0ca-0ci	1409,4	33,0
62s-30r-8ca-0ci	1419,9	30,2
60s-30r-10ca-0ci	1425,7	30,5
58s-30r-12ca-0ci	1402,8	31,4
56s-30r-14ca-0ci	1398,8	31,8
65s-30r-0ca-5ci	1446,0	29,8
62s-30r-0ca-8ci	1467,7	29,4
60s-30r-0ca-10ci	1472,7	29,7
58s-30r-0ca-12ci	1452,5	28,8
56s-30r-0ca-14ci	1471,4	28,9

Quanto a resistência à compressão simples, o valor adotado corresponde à média de 4 amostras, excluindo aquelas que se diferenciam em 10% da respectiva média. Além disso, verificou-se o grau de compactação dos corpos de prova, o qual foi superior a 95% para todos os casos.

No Gráfico 1 é possível observar a resistência à compressão simples para período de cura de 28 dias.

Gráfico 1 – Resistência à Compressão Simples aos 28 dias



Ao analisar o Gráfico 1, infere-se que o aumento do teor de cal ou de cimento proporcionam ganho de resistência à compressão simples. Esse, foi de 31,48% ao comparar a mistura 62s-30r-8ca-0ci com a 56s-30r-14ca-0ci. Já ao relacionar o traço que há 5% de cimento em sua composição com o que há 14% de cimento, o ganho foi de 645%, o que equivale a 6,11 MPa de aumento na resistência à compressão simples.

Além disso, percebe-se que a substituição de 5% de cimento proporciona resistências mais elevadas que a substituição de 14% de cal. Desse modo, o cimento demonstra ser mais efetivo em relação à cal como agente aglomerante.

Por fim, o traço que demonstrou maior valor de resistência à compressão simples foi o composto por 56% de solo, 30% de resíduo e 14% de cimento. Essa mistura apresentou 7,06 MPa aos 28 dias de cura.

Já ao analisar a influência do período de cura, como visto no Gráfico 2 e no Gráfico 3, é notável o comportamento linear do ganho de resistência com o passar do tempo. Tal fato testemunha aumento da resistência para períodos de cura mais longos.

Gráfico 2 - RCS x Período de Cura (Cal)

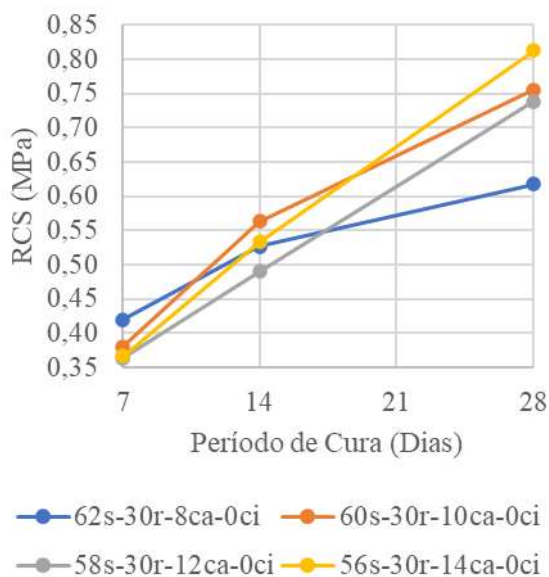
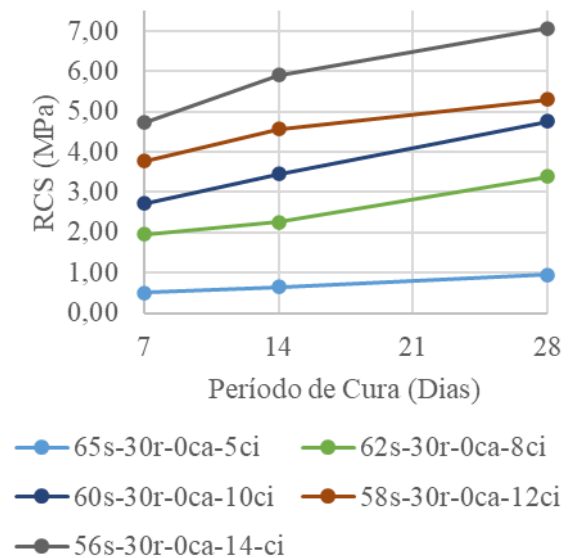


Gráfico 3 - RCS x Período de Cura (Cimento)



A análise dos gráficos acima expõe que, para misturas contendo cal, foi possível atingir de 45% a 68% da resistência final aos 7 dias de cura. Já as que contêm cimento alcançaram de 55% a 71% da resistência final aos 7 dias de cura.

Com 14 dias de cura obteve-se de 66% a 85% da resistência final para misturas com cal em sua composição, e de 67% a 85% para as que contêm cimento.

CONCLUSÃO

Ao fim do estudo realizado conclui-se que, tanto o aumento do teor de cal como o de cimento proporcionam ganhos de resistência à compressão simples. Além disso, todas as misturas apresentaram valores significativos de resistência aos 7 dias de cura, sendo esses superiores a 45% da resistência final, aos 28 dias de cura.

Ademais, o cimento demonstrou ser preferível à cal como agente aglomerante, de modo que 5% da sua presença na mistura promoveu valores superiores de resistência se comparado a substituição de 14% de cal.

Desse modo, o carbonato de cálcio, juntamente à agentes aglomerantes, demonstra sua aplicabilidade quando em mistura com solo argiloso. Tais matérias, quando empregues em teores ideais, proporcionam melhoras físicas e mecânicas, o que torna o procedimento de reutilização da lama de cal viável. Além disso, a remoção de tal detrito do meio ambiente por si só traz benefícios ao reduzir o impacto ambiental que seria causado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço pelo apoio financeiro fornecido por meio da bolsa de pesquisa do Programa de Bolsas Universitárias de Santa Catarina – UNIEDU (Art. 171 – FUMDES).

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6457 – Amostra 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, 2017.
- 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, 2018.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7182 – Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2016.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. ME 093 – Solos – determinação da densidade real. Rio de Janeiro, 1994.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. PRO 003 – Coleta de amostras deformadas de solo. Rio de Janeiro, 1994.
- Machado, Carlos Cardoso *et al.* Análise técnica e avaliação de trechos experimentais de mistura solo-lama de cal com vistas a aplicações em estradas florestais. Revista *Árvore*, Viçosa, v.31, n.2, p.265-274, 2007.
- Rauschkolb, Guilherme. Estudo para utilização de resíduo gerado pela fabricação de celulose e papel no melhoramento de solo. Relatório de Estágio Supervisionado II, Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Oeste de Santa Catarina, Joaçaba, 2018.
- Souza, Guilherme de. Comportamento mecânico de misturas de resíduos da fabricação de papel e solo da região de Joaçaba/SC para utilização na construção rodoviária. Projeto de Pesquisa, Curso de Engenharia Civil, Universidade do Oeste de Santa Catarina, Joaçaba, 2018.