

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

AVALIAÇÃO LABORATORIAL DO EFEITO DA ADIÇÃO DE CIMENTO PORTLAND EM TERMOS DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES (RCS) EM SOLO DA REGIÃO DE SANTA ROSA-RS¹
LABORATORY EVALUATION OF THE EFFECT OF THE PORTLAND CEMENT ADDITION ON TERMS OF SIMPLE COMPRESSION RESISTANCE (RCS) OF SANTA ROSA-RS REGION

**Marina Angela De Souza Ciprandi², José Antônio Santana Echeverria³,
Gabriela Meller⁴, Rodrigo Carazzo De Camargo⁵, Fernanda Dresch⁶**

¹ Trabalho de Conclusão de Curso da Unijuí

² Egressa do curso de Engenharia Civil da UNIJUI, marinaadesouza@yahoo.com.br;

³ Professor Mestre do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da UNIJUI, jose.echeverria@unijui.edu.br;

⁴ Professora Mestra do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da UNIJUI, gabriela.meller@unijui.edu.br;

⁵ Acadêmico do curso de Engenharia Civil da UNIJUI, rodrigocarazzo@hotmail.com;

⁶ Mestra em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria, fernandadresch.eng@gmail.com.

Resumo

O objetivo principal do presente trabalho é analisar o comportamento de um solo (basalto decomposto) oriundo da região de Santa Rosa, após adição de cimento, verificando a provável melhoria em termos de resistência, para sua possível utilização como camadas do pavimento. A metodologia envolveu análises laboratoriais de amostras de solo da cidade de Santa Rosa. Os resultados indicam que o solo em questão poderá ser estabilizado com adição de no mínimo 7% de cimento Portland, pois verificou-se em duas combinações de mistura (solo+ teor de umidade + teor de cimento) resultados positivos, ou seja, acima do valor mínimo exigidos por norma. Sendo que na primeira combinação foi utilizado a umidade ótima do solo (18,78%), mais 7% de cimento, chegando a um valor de RCS de:2,24Mpa e o resultado mais significativo deste estudo, que foi de: 2,74MPa, obteve-se da adição de 15,78% de umidade e novamente 7% de cimento Portland.

Abstract

The main objective of the present work is to analyze the behavior of a soil (decomposed basalt) from the Santa Rosa region, after cement addition, verifying the probable improvement in terms of resistance, for its possible use as layers of the pavement. The methodology involved laboratory analyzes of soil samples from the city of Santa Rosa. The results indicate that the soil in question could be stabilized with the addition of at least 7% of Portland cement, since there were positive results in two mixtures (soil + moisture content + cement content), that is, above the value

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

minimum required by standard. In the first combination, the optimum soil moisture (18.78%) and 7% cement were used, reaching a value of RCS of 2.24MPa and the most significant result of this study was: 2,74MPa, was obtained from the addition of 15.78% moisture and again 7% Portland cement.

Palavras-chave: Estabilização. Solo-cimento. Resistência a compressão simples.

Keywords: Stabilization. Soil-cement. Simple compression strength.

1 INTRODUÇÃO

Tendo em vista que no Brasil os modais aquaviários e ferroviários não tem seu potencial de transporte amplamente aproveitados e utilizados, o modal rodoviário está cada vez mais sobrecarregado, com sérias carências de infraestrutura e baixa qualidade nas condições do pavimento (PADULA, 2008). Sendo assim, a procura de novas tecnologias, que objetivam soluções ambientalmente corretas, executadas com menor custo e maior velocidade se fazem cada vez mais necessárias (PADULA, 2008).

Utilizam-se nas camadas estruturais de um pavimento, materiais constituídos por solos, agregados e, eventualmente, aditivos como cal, cimento, emulsão asfáltica, entre outros, os quais podem ser classificados como granulares e solos estabilizados quimicamente ou cimentados ou ainda materiais asfálticos, de acordo com seu comportamento frente aos esforços (BERNUCCI et al. 2008).

Segundo Medina (1987), o solo é o material de construção civil de maior quantidade encontrado na natureza, do ponto de vista da terraplanagem e pavimentação, fazendo parte do subleito, sub-base e por vezes até da base e do revestimento primário. Logo, quando as características do solo natural não apresentam adequadamente os requisitos exigidos, é necessária a adoção de atitudes ou escolhas que substituem este solo de má qualidade, utilizando técnicas que melhorem suas propriedades mecânicas de acordo com o esperado em projeto, utilizando para este fim, estabilizações mecânica, granulométrica, física ou química.

Aspectos como o aumento dos preços dos materiais de construção, diminuição da disponibilidade de materiais naturais bem como a crescente exigência e o balizamento impostos na execução de pavimentos rodoviários, exige dos engenheiros, novos estudos e pesquisas visando bom desempenho versus melhor custo (SPECHT, 2000).

Sabe-se que a estabilização de solos é uma técnica construtiva bastante utilizada em pavimentação pois viabiliza a utilização de solos locais, melhorando suas propriedades, principalmente capacidade de suporte. Para o alcance de bons resultados, a constituição química e mineralógica do solo, bem como granulometria e rugosidade das partículas devem ser observadas (OLIVEIRA, 2010).

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

Mesmo que, teoricamente qualquer tipo de solo possa ser estabilizado com cimento, o adequado é que este solo seja tratado com uma quantidade de cimento que o torne competitivo economicamente em comparação com outros tipos de estabilizantes e visto por este aspecto, os solos granulares têm se mostrado bastante eficientes em relação aos argilosos, pois atinge resistências maiores utilizando percentagens menores de cimento (BASSO et al., 2003).

Para França (2003), a estabilização de um solo consiste na modificação, ou seja, no melhoramento de suas condições para que resistam às variações climáticas, aos desgastes e esforços oriundos do tráfego, levando em conta adversidades consideradas em projeto.

São Paulo foi um dos estados pioneiros no Brasil a lançar-se em pesquisas sobre solo estabilizado com cimento, com pesquisas feitas através de sua Assistência de Pesquisa- SP e do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo, juntamente com o laboratório regional de Bauru onde se verificou grande facilidade neste tipo de estabilização com o uso de teores de cimento relativamente baixos (SENÇO, 2001).

Experiências satisfatórias como o acesso ao aeroporto de Bauru com 500 metros que utilizou 11% de cimento em volume e o acesso ao aeroporto de Presidente Prudente, com extensão de 14km e teor de cimento utilizado entre 12% a 14%, tornaram a opção de bases e sub-bases de solo-cimento a mais construída no Estado de São Paulo, com mais de 50% da extensão de sua rede pavimentada e com teor de cimento médio usado de 8% (SENÇO, 2001).

Cruz (2004) afirma que existe uma busca cada vez maior por estruturas construídas sobre fundações com solos estáveis, mas que em frequentemente encontrando solos naturais sem as condições necessárias que assegurem a função a que estão destinados, a solução deste problema se transforma em uma decisão importante ao engenheiro civil, tendo este que saber escolher a melhor alternativa, tais como: modificar o projeto adaptando-o ao solo existente, optando por fundações indiretas ou aumentando as dimensões da fundação, compensando a baixa capacidade do solo; optar por outro local onde o solo tenha as características desejadas; substituir o solo do local por outro de melhor qualidade; modificar as características do solo existente no local, melhorando seu comportamento para que este responda de forma satisfatória às solicitações previstas, designado por estabilização ou melhoramento de solos.

Para Cruz (2004), a estabilização de solos pode ser dividida em três grupos, de acordo com os meios que serão utilizados, sendo eles:

- a) Estabilização mecânica: onde se procuram melhorar as características dos solos através da arrumação das suas partículas sólidas e/ou recorrendo a correções da sua composição granulométrica;
- b) Estabilização física: onde as propriedades dos solos são modificadas através do uso do calor e da eletricidade;
- c) Estabilização química: onde as características dos solos são modificadas através de aditivos.

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

Mais de 25.000 Km de base ou sub-base de pavimentos já foram executados no Brasil desde 1939, com a solução solo-cimento, que é uma mistura homogênea compactada, curada e endurecida de solo, cimento e água, podendo ser utilizados solos do próprio local da futura base ou solos vindos de outras jazidas e misturados em usina central ou no próprio campo (ABCP, 2009).

O produto resultante deste processo tem demonstrado aumento significativo de resistência e rigidez quando comparado com o solo natural, baixa permeabilidade, baixa retração e boa durabilidade o que o torna um material de construção com potencial para várias aplicações, como fundações superficiais, proteção de taludes, barragens, e, como base e sub-base de pavimentos rodoviários (SPECHT, 2000).

Apesar da mistura solo-cimento promover o aumento da capacidade estrutural do pavimento e reduzir as tensões transmitidas ao terreno de fundação o que melhora o desempenho estrutural do mesmo, deve-se levar em conta que a adição do cimento gera uma coesão química muito elevada no solo e dependendo do teor de cimento utilizado poderá resultar num material demasiadamente duro e de elevada rigidez à flexão, propenso a quebrar sob as cargas do tráfego. Sendo assim, as aplicações de teores elevados de cimento podem propiciar o aparecimento de trincas por retração e outras falhas que causam a degradação acelerada da camada cimentada o que diminui a vida útil do pavimento (PAIVA; OLIVEIRA, 2013).

As principais vantagens da estabilização de solos com aditivos químicos estão relacionadas com a redução do índice de plasticidade, bem como com o aumento da trabalhabilidade resultante de evoluções granulométricas, o que torna o material mais granular e garante aumento de rigidez a médio e longo prazo (FERNANDES; SANTOS; PINTO, 2010).

O uso de cimento para estabilização de solos é um método que permite obter consideráveis melhorias nas características do solo, quer do ponto de vista mecânico quer da durabilidade (CRUZ, 2004).

A mistura de solo e cimento teve grande aceitação na execução de obras rodoviárias, aeroportos, barragens, canais de irrigação, pavimentação de pátios e estacionamento, dentre outras aplicações, por meio de seu uso em proporções adequadas (SEGANTINI, 2000).

As principais variáveis que controlam as propriedades e características das misturas de solo-cimento são o tipo de solo ou material agregado, a proporção de cimento utilizada na mistura, as condições de umidade e o grau de compactação (CRUZ, 2004).

O solo do local da obra é o mais indicado para pavimento com base de solo-cimento, porque diminui os custos com transporte, viabilizando a execução, com exceção de solos orgânicos, pois estes não podem ser utilizados (LOPES, 2002).

Dessa forma, busca-se através do embasamento teórico e pesquisas com a análise em termos laboratoriais, o comportamento da mistura solo-cimento para possíveis camadas de pavimento, e

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

mais especificamente a avaliação dos efeitos da adição quanto a RCS.

2 METODOLOGIA

2.1 Materiais utilizados

O planejamento desta pesquisa contemplou as etapas de coleta das amostras de solo e sua devida caracterização, definição das dosagens de cimento Portland e umidades, seguindo com a confecção dos corpos de prova para realização do ensaio de RCS, analisando após o rompimento dos mesmos, se houve melhora ou não no desempenho da resistência do solo e qual conjunto de adições obteve melhores resultados. O solo objeto desta pesquisa foi do tipo basalto decomposto com grande fração de agregado graúdo, retirado de uma jazida que está localizada na cidade de Porto Vera Cruz, região noroeste de Santa Rosa /RS.

Já o cimento utilizado foi do tipo cimento Portland tipo CP II Z 32, com adição de composto com pozolana e resistência aos 28 dias de 32 Mpa. A escolha por este tipo de cimento foi pelo fato da grande disponibilidade na região. Ainda, para a produção dos traços foi utilizada água proveniente de poço artesiano que abastece o Laboratório de Engenharia Civil (LEC) da UNIJUI, campus Santa Rosa.

2.2 Caracterização e classificação física do material

Para a caracterização e classificação da amostra foram realizados os seguintes ensaios: preparação da amostra conforme a norma DNIT 164/2013 - ME (Solos - Compactação utilizando amostras não trabalhadas), que leva em conta no método B para preparação de amostra; análise granulométrica conforme método de ensaio DNER-ME 080/94; limite de liquidez conforme método NBR 6459/84; limite de plasticidade conforme método NBR 7180/84; cálculo do índice de plasticidade; ensaio de compactação (Proctor) conforme norma DNIT 164/2013- ME; ensaio CBR conforme método NBR 9985/1987; cálculo da expansão e classificação Transportation Research Board - TRB, antigo (*Highway Research Board -HRB*).

2.3 Ensaio de resistência a compressão simples

Para o ensaio de RCS, primeiramente foi escolhido o método de dosagem, que se baseou na NBR 12253/2012 - Solo-cimento - Dosagem para emprego como camada de pavimento, com o auxílio do método DNIT, foram estimadas três relações de teor de umidade e cimento que foram misturados ao solo, sendo os teores de cimento: 5%, 6% e 7% e umidades 18,78% (umidade ótima), 15,78% (três pontos percentuais a menos que a umidade ótima) e 21,78% (três pontos percentuais a mais que a umidade ótima).

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

O critério mais importante levado em conta, para o ensaio de resistência à compressão simples, foi que para possíveis camadas do pavimento de solo-cimento esta resistência deverá ser de no mínimo 2,1Mpa para resistência à compressão aos 7 dias, segundo (Norma DNIT 143/2010 - ES). Foram moldados para cada teor de cimento e umidade, dois corpos de prova (CPs) iguais, em cilindro de aço com 150 mm de diâmetro e 115 mm de altura e volume de 2086 cm³ sendo que ao rompê-los foi utilizado o maior valor de RCS dos dois CPs, utilizados como base. Por fim, a norma DNER 202/94 descreve que as umidades de moldagem e após rompimento dos corpos de prova, não devem diferir mais que 1% da umidade utilizada na moldagem, nem a massa específica aparente seca do corpo de prova diferir da massa aparente seca máxima mais que 30 g/cm³, caso isso ocorra este corpo de prova deverá ser descartado.

Para a moldagem dos corpos de prova conforme NBR 12023/1992 - Solo-cimento- Moldagem e cura de corpos-de-prova Cilíndricos, foram pesadas e mantidas separadas as amostras representativas do material, passando na peneira de 4,8 mm e do retido entre a peneira 4,8 mm e a de 19 mm, e feita a adição do teor de cimento Portland primeiramente no solo de granulometria mais fina, ou seja, no passante da peneira 4,8 mm e misturado o solo e o cimento completamente até que a cloração seja uniforme em toda a massa, compondo a mistura seca.

Após a adição do cimento Portland na parcela fina da amostra de solo, foi adicionada à mistura a parte do agregado graúdo, ou seja, o material retido entre a peneira 4,8 mm e 19 mm, a quantidade de água (esta, calculada para o total de solo seco da amostra descontando a umidade higroscópica). Logo após, foi feita a adição da quantidade de água e compactada a amostra no interior do molde cilíndrico conforme NBR 12025 MB 3361/1990- Solo-cimento- Ensaio de Compressão Simples de corpos-de-prova cilíndricos, firmemente afixado à sua base e com o colarinho ou cilindro complementar ajustado, em cinco camadas sucessivas de 26 golpes do soquete metálico maior, em queda livre, sendo os golpes distribuídos uniformemente sobre a superfície desta. As compactações e moldagens dos corpos de prova para o ensaio foram executadas com as seguintes combinações: primeira combinação de mistura, utilizando a umidade ótima, obtida no ensaio de compactação (18,78%) e moldados sempre um par de corpos de prova com os teores de 5%, 6% e 7% de cimento. Segunda combinação de mistura, utilizou-se uma umidade três pontos percentuais a menos que a umidade ótima (15,78%), e também foram moldados pares de corpos de prova com 5%, 6% e 7% de cimento. Terceira combinação de mistura, utilizou umidade com três pontos percentuais a mais que a umidade ótima (21,78%) e novamente foram moldados pares de corpos de prova com adição de 5%, 6% e 7% de cimento.

Após a compactação, cada molde era retirado do interior do cilindro e bem embalado, de forma que não pudesse entrar água do exterior no corpo de prova e identificado com seu respectivo teor de cimento e umidade usados na moldagem. Logo após serem moldados, os corpos-de-prova, estes foram colocados na câmara úmida, à temperatura de 23 ° C com tolerância de 2 ° C e umidade relativa do ar não inferior a 95% e como este estudo destina-se para fins exclusivos de dosagem de solo-cimento em provável camada de pavimento, o período de cura foi de sete dias completos.

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

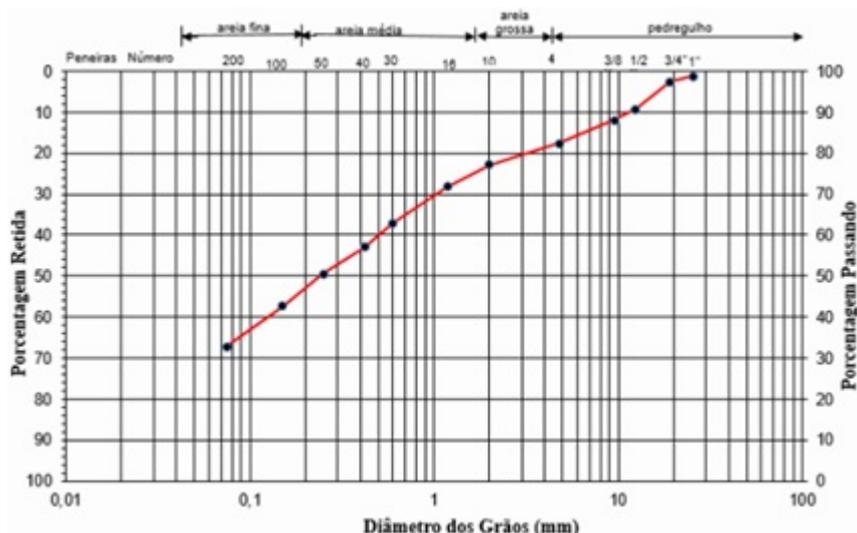
Para a etapa de rompimento que foi executada conforme método DNER-ME 201/94, colou-se o corpo-de-prova na prensa, sobre o prato fixo de carga da máquina de ensaio, de tal maneira que o eixo vertical do cilindro alinhou-se com o centro de carga do prato rotulado móvel, fazendo com que este encostasse suavemente no corpo-de-prova, ajustando-o manualmente até que o contato entre o prato de carga e a base do corpo-de-prova estivesse uniforme. O carregamento então foi iniciado, continuamente e sem choques, durante todo o decorrer do ensaio. O carregamento, em qualquer caso, só deve cessar quando o recuo do ponteiro de carregamento for aproximadamente 10% do valor da carga máxima alcançada. Os resultados foram calculados através da resistência à compressão axial do corpo-de-prova dividindo a carga de ruptura pela seção transversal do corpo-de-prova, sendo o resultado expresso com a aproximação de 10 kPa.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização e classificação física do material

O resultado do ensaio de granulometria por peneiramento apresentou a curva granulométrica demonstrada na Figura 1.

Figura 1. Curva Granulométrica



A Tabela 1 apresenta os resultados dos limites de consistência do solo.

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

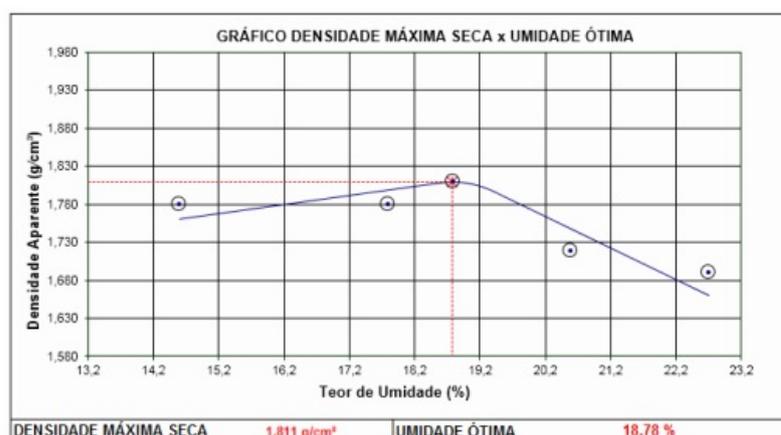
Tabela 1. Limites de consistência do solo

DESCRIÇÃO DO ENSAIO	(%)
Limite de Liquidez (%)	29,2
Limite de Plasticidade (%)	18,6
Índice de Plasticidade (%)	10,6

Com os valores do limite de plasticidade, 18,6 %, e do limite de liquidez, 29,2 %, foi possível calcular o índice de plasticidade ($IP = LL - LP$) de 10,6 %, sendo possível afirmar que o solo utilizado tem plasticidade mediana.

O ensaio de compactação do solo, feito com energia intermediária (5 camadas de 26 golpes cada), gerou uma curva característica que indicou a umidade ótima deste solo e forneceu o principal resultado para o prosseguimento dos experimentos desta pesquisa, que foram: teor de umidade ótima ($w_{ót}$): 18,78% e massa específica aparente seca máxima: 1,811 g/cm³, valores estes considerados usuais para a região onde se encontra (Figura 2). Com o valor da umidade ótima encontrada neste ensaio de compactação foi moldado o corpo de prova do ensaio CBR e encontrado o valor de sua resistência.

Figura 2. Curva de compactação



O ensaio CBR ou índice ISC, executado conforme o método NBR 9985/1987, onde foi realizada a compactação dos corpos de prova, utilizando o teor de umidade ótima encontrado no ensaio de compactação (18,78%).

Por fim, após a realização dos ensaios de caracterização do solo, verificou-se que o mesmo atende aos requisitos do DNIT e que possui um razoável índice de suporte (I.S.C: 25,3%), com pouca

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

expansão (0,57%). A Tabela 2 demonstra os valores indicados aos solos pela norma DNIT 143/2010 - ES para misturas solo-cimento, correlacionados com os resultados deste estudo.

Tabela 2. Características do solo

Peneiras	Porcentagem	Tolerância	Resultados
2"	100 %	-	OK passou 100%
Nº 4	50 a 100 %	± 5%	OK passou 82,28%
Nº 40	15 a 100 %	± 2%	OK passou 57,01%
Nº 200	5 a 35 %	± 2%	OK passou 32,86%
Limite de liquidez	máximo 40%		OK LL: 29,2%
Índice de plasticidade	máximo 18%		OK IP: 10,6%

Usando os dados sobre as características do solo através da granulometria e dos limites de consistência (Tabela 3), foi possível classificar o solo segundo o sistema *Transportation Research Board* - TRB, como segue: o percentual passando na peneira nº 200 (32,86 %) indicou que o material é granular; o percentual passando na peneira nº 10 (77,18 %) e nº 40 (57,01 %) e na peneira nº 200 (32,86 %) indicou que o material pertence à família A 2; o limite de liquidez (29,2 %) e o índice de plasticidade (10,76 = 11 %) indicam que o solo pode ser classificado como sendo um material granular do grupo A-2-6.

Tabela 3. Características do solo basalto decomposto

LIMITE DE LIQUIDEZ (%)	29,2
LIMITE DE PLASTICIDADE (%)	18,6
ÍNDICE DE PLASTICIDADE (%)	10,76
% passando # N4 (4,76mm)	82,28
% passando # N 10 (2,00mm)	77,18
% passando # N 40 (0,42mm)	57,01
% passando # N 200 (0,075mm)	32,86
CLASSIFICAÇÃO T.R.B	A2-6
ÍNDICE DE GRUPO	2

3.2 Ensaio de Resistência a Compressão Simples (RCS)

A Tabela 4 demonstra as umidades de moldagem e após romper dos corpos de prova em cada combinação entre teor de cimento e água adicionados ao solo. O gráfico a seguir (Figura 3)

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

demonstra a variação de resistência a compressão simples em relação aos diferentes teores de umidade (15,78%, 18,78% e 21,78%) utilizados nas três combinações, todas com adição de 7% de cimento.

Tabela 4. Valor das umidades após rompimento

COMBINAÇÃO 01	UMIDADE MOLDAGEM	UMIDADE APÓS ROMPER
(1CP) cim: 5% e umidade: 15,78%	16,88	16,77
(2CP) cim: 5% e umidade: 15,78%	16,38	16,6
(1CP) cim: 6% e umidade: 15,78%	16,96	16,52
(2CP) cim: 6% e umidade: 15,78%	17,62	16,39
(1CP) cim: 7% e umidade: 15,78%	17,77	16,21
(2CP) cim: 7% e umidade: 15,78%	16,72	16,8

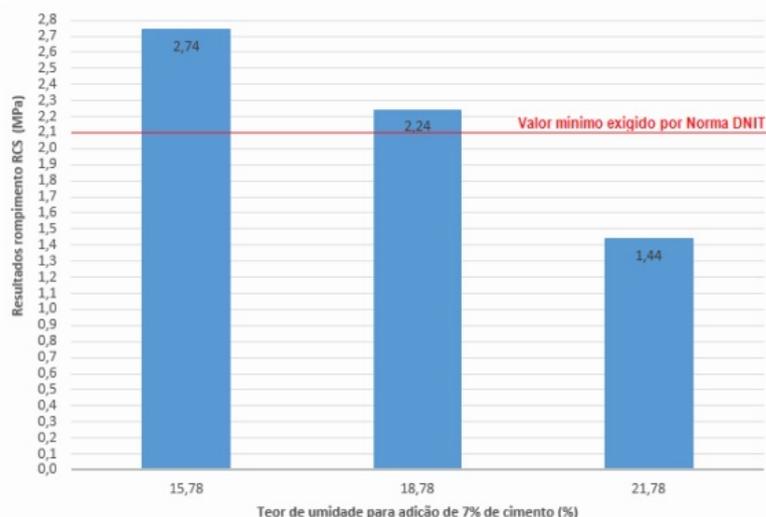
COMBINAÇÃO 02	UMIDADE MOLDAGEM	UMIDADE APÓS ROMPER
(1CP) cim: 5% e wótima: 18,78%	20,31	21,06
(2CP) cim: 5% e wótima: 18,78%	20,03	19,06
(1CP) cim: 6% e wótima: 18,78%	19,74	19,3
(2CP) cim: 6% e wótima: 18,78%	20,57	20,26
(1CP) cim: 7% e wótima: 18,78%	19,86	19,49
(2CP) cim: 7% e wótima: 18,78%	19,72	18,26

COMBINAÇÃO 03	UMIDADE MOLDAGEM	UMIDADE APÓS ROMPER
(1CP) cim: 5% e umidade: 21,78%	21,54	22,77
(2CP) cim: 5% e umidade: 21,78%	21,44	22,87
(1CP) cim: 6% e umidade: 21,78%	20,45	22,49
(2CP) cim: 6% e umidade: 21,78%	21,05	22,86
(1CP) cim: 7% e umidade: 21,78%	22,25	22,73
(2CP) cim: 7% e umidade: 21,78%	21,47	22,77

01 a 04 de outubro de 2018

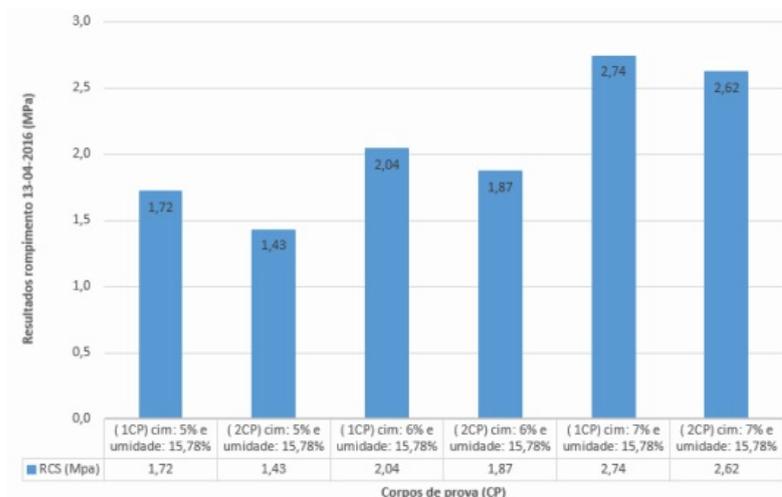
Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

Figura 3. Resultado da variação de RCS versus diferentes teores de umidade



A Figura 4 demonstra os resultados obtidos no rompimento da combinação 01: teor de umidade (15,78%) mais adição de 5%, 6% e 7% de cimento Portland. Verificou-se que na adição de 7% de cimento em ambos os corpos de prova 1CP: 2,74MPa e 2 CP: 2,62MPa, obteve-se valor maior que o mínimo exigido para solo-cimento que é de 2,1MPa. Utilizou-se como base o maior resultado dos moldes pares, ou seja, 2,74 MPa (1CP).

Figura 4. Resultados de RCS para a combinação 01



A Figura 5 demonstra os resultados obtidos no rompimento da combinação 02: teor de umidade

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

ótima (18,78%) + 5%, 6% e 7% de cimento Portland. Nesta combinação novamente os corpos de prova moldados com 7% de cimento obtiveram os melhores resultados, sendo que o valor base desta combinação foi o 2CP: 2,24 Mpa.

Figura 5. Resultados de RCS para a combinação 02

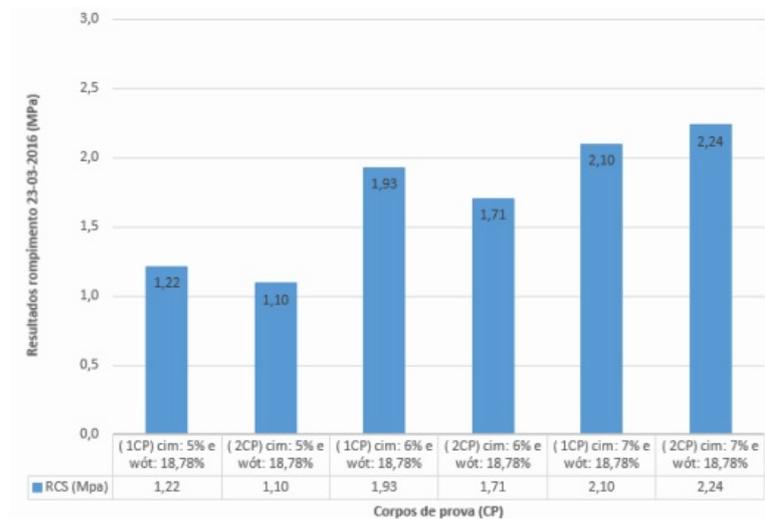
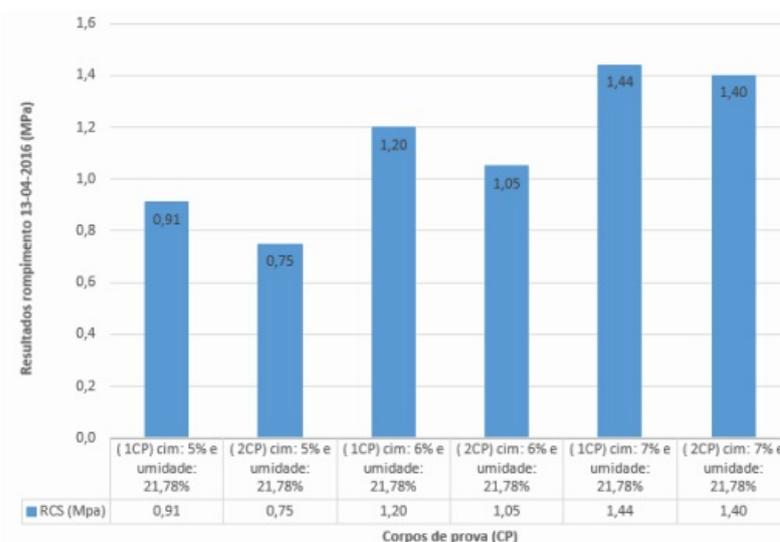


Figura 6. Resultados de RCS para a combinação 03



E por fim, a Figura 6 demonstra os resultados obtidos no rompimento da combinação 03: teor de

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

umidade (21,78%) + 5%, 6% e 7% de cimento Portland. Esta combinação com a maior umidade utilizada, não obteve resultados satisfatórios para mistura solo-cimento, pois todos os resultados ficaram abaixo do mínimo exigido pelo DNIT.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considera-se que o objetivo principal e maior deste estudo experimental, que foi de contribuir para o melhor conhecimento das propriedades de um solo tipo basalto decomposto e sua estabilização química, com adição de cimento Portland, bem como a tomada de decisões explorando as possibilidades apresentadas pelo método de dimensionamento mecanístico-empírico, foi atingido. O solo, objeto deste estudo, foi classificado segundo método T.R.B como pedregulho ou areia siltosa ou argilosa, pertencente ao grupo A-2-6. Apresentou umidade ótima de 18,78% utilizando Energia Intermediária de compactação, com massa específica aparente de 1,811 g/cm³ e seus limites de consistência foram de: 29,2% (limite de liquidez), 18,6% (limite de plasticidade), resultando em um índice de plasticidade de 10,6%. O ensaio CBR demonstrou um I.S.C de 25,3% com expansão de 0,57%.

Após diversos ensaios laboratoriais anteriormente citados, pôde-se concluir que o solo em questão poderá ser estabilizado, no âmbito de estudo desta pesquisa, se adicionado a ele um mínimo de 7% de cimento Portland, visto que em duas combinações de mistura, sendo combinação 01: (solo + 15,78% de umidade, esta sendo 3% menor que a w_{ót} + 7% de cimento) e combinação 02: (solo + 18,78% (w_{ót}) + 7% de cimento), obteve-se valores de RCS respectivamente de: 2,74MPa e 2,24Mpa, ambos maiores que o valor mínimo exigido por norma (2,1MPa aos 7 dias). Em relação aos valores alcançados de RCS versus teor de umidade, pôde ser verificado que a relação água /cimento tem grande influência nos ganhos de resistência dos corpos de prova no âmbito desta pesquisa e demonstraram que os maiores valores de RCS, com teor de cimento de 7%, foram obtidos utilizando umidade ótima de 18,78% e 15,78% de umidade.

REFERÊNCIAS

ABCP. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. São Paulo, 2002. 28p. (BT-106). 7ª Edição.

ABCP. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Solo-cimento**. 2009.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12253**: Solo-cimento - Dosagem para emprego como camada de pavimento: Procedimento. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2012.

_____. **NBR 12023**: Solo-cimento - Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 1992.

_____. **NBR 12025 MB 3361**: Solo-cimento - Ensaio de Compressão Simples de Corpos-de-prova Cilíndricos. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 1990.

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

____. **NBR 6459:** Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 1984.

____. **NBR 7180:** Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 1984.

____. **NBR 9985:** Solo - Índice de Suporte Califórnia. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 1987.

BASSO, R. V. et al. Aplicação do método físico-químico de dosagem de misturas solo-cimento aos solos típicos no noroeste do Paraná. In: **IV Encontro Tecnológico da Engenharia Civil e Arquitetura de Maringá** / PR - ENTECA 2003, Maringá. v.2.p.348-357.

BERNUCCI, L.; MOTTA, L. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. In: **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobrás: ABEDA, 2008. 504 p. Incluindo Bibliografia. Patrocínio Petrobrás.

CRUZ, M. **Novas tecnologias da aplicação de solo cimento**. 2004. 240p. Dissertação de Mestrado - Universidade do Minho, Guimarães.

DNER. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Manual de pavimentação**. 1996. 320p.

____. **DNER-ME 080/1994:** Solo - análise granulométrica por peneiramento. Rio de Janeiro, 1994.

____. **DNER-ME 201/1994:** Solo cimento - compressão axial de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.

____. **DNER-ME 202/1994:** Solo cimento - moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.

DNIT. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 142/2010:** Pavimentação - Base de solo melhorado com cimento - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2010.

____. **DNIT 143/2010** - ES. Pavimentação - Base de solo cimento - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2010.

____. **DNIT 164/2013** - ME. Solos- Compactação utilizando amostras não trabalhadas - Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

FERNANDES, J.; SANTOS, J.; PINTO, N. **Contribuição para o estudo da combinação de cal com cimento no tratamento de solos**. 2010. 397-406 p. 12^o Congresso Nacional de Geotecnia, Guimarães Portugal.

LOPES, W. G. R. **Solo-cimento reforçado com bambu: Características físico- mecânicas**. 2002. 165p. Tese de Doutorado - Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, São Paulo.

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

MEDINA, J. **Apostila de estabilização de solos** - COPPE/UFRJ. 1987.

OLIVEIRA, E. **Emprego de cal na estabilização de solos finos de baixa resistência e alta expansão: estudo de caso no município de Ribeirão das Neves**. 2010. 174p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

PADULA, R. **Transportes - fundamentos e propostas para o Brasil**. Brasília: Ed. Confea, 2008. 1ª Edição.

PAIVA, C. E. L.; OLIVEIRA, P.C.A. DE. **Análise das propriedades da base de solo cimento deteriorada para fins de reciclagem profunda de pavimentos**. In: 7º Congresso Rodoviário Português, 2013, Lisboa. Novos desafios para a atividades rodoviárias. Lisboa: Centro Rodoviário Português, 2013. v. único. p. 01-10.

SEGANTINI, A. A. S. **Utilização de solo-cimento plástico em estacas escavadas com trado mecânico em Ilha Solteira-SP**. 2000. 206p. Tese de Doutorado - Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, São Paulo.

SENÇO, W. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. São Paulo: Ed. Pini, 2001. 1ª Edição: v. 2.

SPECHT, L. P. **Comportamento de misturas solo-cimento-fibra submetidas a carregamentos estáticos e dinâmicos visando a pavimentação**. 2000. 151p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.