

Marcia Regina Werner Schneider Abdala  
(Organizadora)



# Engenharia Civil: Vetor de Transformação do Brasil

**Atena**  
Editora  
Ano 2019

Marcia Regina Werner Schneider Abdala  
(Organizadora)

# Engenharia Civil: Vetor de Transformação do Brasil

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora  
Copyright © Atena Editora  
Copyright do Texto © 2019 Os Autores  
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora  
Editora Executiva: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Antonella Carvalho de Oliveira  
Diagramação: Natália Sandrini  
Edição de Arte: Lorena Prestes  
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

#### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
E57	Engenharia civil [recurso eletrônico] : vetor de transformação do Brasil / Organizadora Marcia Regina Werner Schneider Abdala. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019.  Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader. Modo de acesso: World Wide Web. Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-657-7 DOI 10.22533/at.ed.577192709  1. Construção civil – Aspectos econômicos – Brasil. I. Abdala, Marcia Regina Werner Schneider.  CDD 338.4769
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

Atena Editora  
Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

## **APRESENTAÇÃO**

A Engenharia Civil é uma área bastante abrangente, que permite o desenvolvimento de estudos nas mais variadas vertentes os quais contribuem significativamente para o desenvolvimento do Brasil.

Ao longo de toda a sua história a Engenharia Civil passou por muitas transformações, em especial nos processos construtivos empregados, no cuidado com o meio ambiente e na aplicação de técnicas e métodos de trabalho mais eficientes. Todas as mudanças ocorridas ao longo desse processo beneficiam toda a cadeia produtiva do setor, impulsionando a economia do país e gerando benefícios para a sociedade.

Neste e-book é apresentada uma coletânea de trabalhos que evidenciam essa importância e os impactos positivos advindos do desenvolvimento da Engenharia Civil.

Boa e proveitosa leitura!

Marcia Regina Werner Schneider Abdala

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
APLICAÇÃO DE FERRAMENTA DE ANÁLISE DOS PRINCÍPIOS DA CONSTRUÇÃO ENXUTA EM UMA FÁBRICA DE BLOCOS DE CONCRETO E PISOS INTERTRAVADOS	
Lívia Regueira Fortunato Benitez Leandro Henrique Benitez Camila Aparecida Pires Bueno Sheyla Mara Baptista Serra	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5771927091</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>15</b>
ORÇAMENTAÇÃO DE OBRAS DA CONSTRUÇÃO CIVIL BRASILEIRA: CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE OS CUSTOS DE MERCADO E REFERENCIAL	
Thiago de Oliveira Ribeiro Victor Hugo de Oliveira Pereira Orlando Celso Longo Luciane Ferreira Alcoforado	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5771927092</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>28</b>
IMPACTO NO ESPAÇO URBANO	
Edgard Ribeiro Junior	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5771927093</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>43</b>
AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO AMBIENTAL APLICADO NAS INDÚSTRIAS METAL-MECÂNICA EM UM MUNICÍPIO DE MÉDIO PORTE	
Naira Elizabete Barbacovi Albino Moura Guterres Débora Regina Schneider Locatelli	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5771927094</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>53</b>
LIMITES DO AUTOLICENCIAMENTO AMBIENTAL: CASO DE UMA UNIDADE MILITAR PARA ABASTECIMENTO DE COMBUSTÍVEIS	
Breno da Silva Ramalho André Nagalli	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5771927095</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>65</b>
ESTUDO DA CAPACIDADE DE ESTABILIZAÇÃO QUÍMICA DE UM NEOSSOLO LITÓLICO COM USO DE CAL DOLOMÍTICA PARA FINS DE PAVIMENTAÇÃO	
Mateus Arlindo da Cruz Thaís Aquino dos Santos Fábio Dischkaln do Amaral	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5771927096</b>	
<b>SOBRE A ORGANIZADORA</b> .....	<b>75</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>76</b>

## ESTUDO DA CAPACIDADE DE ESTABILIZAÇÃO QUÍMICA DE UM NEOSSOLO LITÓLICO COM USO DE CAL DOLOMÍTICA PARA FINS DE PAVIMENTAÇÃO

### **Mateus Arlindo da Cruz**

Instituto Meridional de Educação - Campus de  
Passo Fundo - RS  
mateusarlindo@hotmail.com

### **Thaís Aquino dos Santos**

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM –  
Campus de Santa Maria - RS  
thaiis\_as@hotmail.com

### **Fábio Dischkaln do Amaral**

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai  
e das Missões - Campus de Frederico Westphalen  
amaral@uri.edu.br

**RESUMO:** O presente trabalho tem por objetivo estudar o uso de cal dolomítica por meio de adição de 3%, 7% e 10%, na capacidade de estabilização química de um neossolo litólico para fins de pavimentação. O solo de origem do município de Ametista do Sul, região norte do estado do Rio Grande do Sul, é composto por este tipo de solo, diferente do restante da região do Alto Uruguai (compostos por solos argilosos). No geral, neossolos litólicos apresentam baixos valores de capacidade de suporte. Para realizar a verificação da ocorrência de melhoria nas propriedades do solo in natura, foram realizados ensaios de resistências a compressão simples no mesmo e nas misturas de solo-cal. Constatou-se que ocorreram melhorias na capacidade de suporte

do solo presente no município, entretanto não foram alcançados valores mínimos conforme especificados nas normas brasileiras para sua aplicação na camada de sub-base de pavimentos flexíveis. As possíveis causas da estabilização não ter demonstrado grandes ganhos nas propriedades do solo podem se dar ao tipo do solo em análise, pois o mesmo se trata de um solo com baixo teor de argila, dificultando a ocorrência das reações pozolânicas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estabilização Química, Cal Dolomítica, Solo.

### STUDY OF THE CHEMICAL STABILIZATION CAPACITY OF A LITOLIC NEOSSOL WITH DOLOMIC PAIN USE FOR PAVING

**ABSTRACT:** The present work has the objective of studying the use of dolomitic lime by adding 3%, 7% and 10%, in the chemical stabilization capacity of a litholic neosol for paving purposes. The soil of the municipality of Ametista do Sul, in the northern region of the state of Rio Grande do Sul, is composed of this type of soil, different from the rest of the Alto Uruguai region (composed of clayey soils). In general, litolic neosols present low values of carrying capacity. In order to verify the occurrence of improvement in the properties of the soil in natura, tests of resistance to simple compression in the same and in the mixtures

of soil-lime were carried out. It was verified that there were improvements in the soil support capacity present in the municipality, however, no minimum values were reached as specified in the Brazilian standards for their application in the sub-base layer of flexible pavements. The possible causes of the stabilization have not demonstrated great gains in the soil properties can be given to the soil type under analysis, because it is a soil with a low clay content, making it difficult for the pozzolanic reactions to occur.

**ABSTRACT:** Chemical Stabilization, Dolomite Lime, Soil.

## 1 | INTRODUÇÃO

O solo é um dos materiais mais utilizados no âmbito da construção civil e na engenharia rodoviária, devido à grande abundância no planeta, e ainda ser um material superficial e de fácil remoção. Nem sempre as condições e propriedades do solo *in situ* se encontram de forma satisfatória para os projetos de engenharia, fazendo-se necessário o conhecimento de técnicas para melhoramento ou estabilização dos mesmos. De acordo com Souza (2014), a estabilização de um solo pode ocorrer por processos mecânicos, químicos, biológicos ou ainda pela combinação destes. Contudo, é de suma importância ressaltar que devido ao solo apresentar grandes variabilidades no que diz respeito às suas propriedades, uma única técnica não será bem sucedida em todos os tipos de solos existentes no planeta.

O uso da adição de cal no solo é um meio de conseguir o melhoramento/estabilização do mesmo por meio da estabilização química, garantindo melhores características de suporte às cargas dinâmicas. Cristelo (2001) descreve que as alterações químicas decorrentes do contato da cal com os minerais do solo podem ser divididas em duas principais categorias: permuta iônica e reações pozolânicas.

Na permuta iônica, as partículas finas do solo aglomeram-se em flocos estáveis. Este processo é o principal fator das alterações das características geotécnicas do solo como granulometria, compactação, plasticidade, trabalhabilidade e resistência mecânica. As reações pozolânicas da adição da cal no solo podem ser descritas como o processo de cimentação do solo, dando origem a compostos de silicatos e alumínio hidratados de cálcio. Azevêdo (2010) ressalta que em solos que não possuem certo teor de argila (por exemplo, areias), a estabilização química com cal pode ser empregada. Contudo, deve-se adicionar uma pozolana natural ou artificial, como por exemplo cinza volante, para que as reações pozolânicas ocorram.

A cal é obtida através do processo de calcinação do calcário, em temperaturas superiores a 900°C, no qual ocorre a transformação dos carbonatos de cálcio em óxidos de cálcio. De acordo com Guimarães (2002), o óxido de cálcio (CaO) e cálcio-magnésio (CaO – MgO), geralmente chamado de cal virgem ou cal viva, é o resultado da calcinação dos carbonatos de cálcio e de cálcio magnésio. A cal pode ser classificada como calcítica e dolomítica. Segundo Marinho e Boschi (2000), entre as principais diferenças entre a cal calcítica e a dolomítica pode-se citar a

diferente porcentagem presente de magnésio e óxido de cálcio (CaO) na composição das mesmas. Na cal calcítica a porcentagem de CaO é de 56%, enquanto que na cal dolomítica essa porcentagem baixa para 30,4%, possuindo ainda 21,95% de magnésio em sua composição.

Em várias regiões do Brasil existem estudos sobre o uso de cal para estabilização de solos (AZEVEDO, 2010; SOUZA, 2014). No entanto, no município de Ametista do Sul, situado na região do Alto Uruguai, norte do estado do Rio Grande do Sul, ainda não foram realizadas pesquisas sobre o assunto com amostras representativas de solo do município.

Neste contexto, o presente trabalho visa estudar a estabilização química, através da adição de cal de origem dolomítica ao solo natural do município de Ametista do Sul, situado na região norte do estado do Rio Grande do Sul, para fins de aplicação em pavimentação. A região do Alto Uruguai (região em que está situado o município) é formada predominantemente por solos argiloso, de origem geológica basáltica, partindo desta premissa tende a realizar a estabilização química solo a fim de modificar e melhorar as propriedades do mesmo, e analisar o comportamento do solo frente a adição de cal.

## 2 | PROCESSOS METODOLÓGICOS

O principal objetivo da presente pesquisa foi verificar o comportamento de um solo de origem do município de Ametista do Sul, estabilizado com diferentes teores de cal de origem dolomítica. Para realizar essa verificação, a pesquisa se desenvolveu com os seguintes procedimentos em ordem cronológica: coleta do solo, preparação das amostras, análise granulométrica, ensaio de limites de consistência, análise química, ensaio de compactação do solo *in natura*, ensaio de compactação da mistura solo-cal e ensaio de resistência a compressão simples.

### 2.1 Materiais

Para a realização dos ensaios laboratoriais, as amostras deformadas de solo foram coletadas no município de Ametista do Sul, noroeste do estado do Rio Grande do Sul, nas margens da RS 591. Na Fig. 1 é apresentado o ponto de onde a amostra foi retirada, situada nas seguintes coordenadas geográficas: latitude 27°21'31.8"S e longitude 53°13'10.9"W. A cal a ser utilizada na pesquisa para realizar a estabilização química é classificada como dolomítica. A escolha pelo uso deste tipo de cal se faz pelo fato de que no Rio Grande do Sul, a maioria das jazidas de cal são dolomíticas, sendo a cal calcítica dificilmente é encontrada no estado.

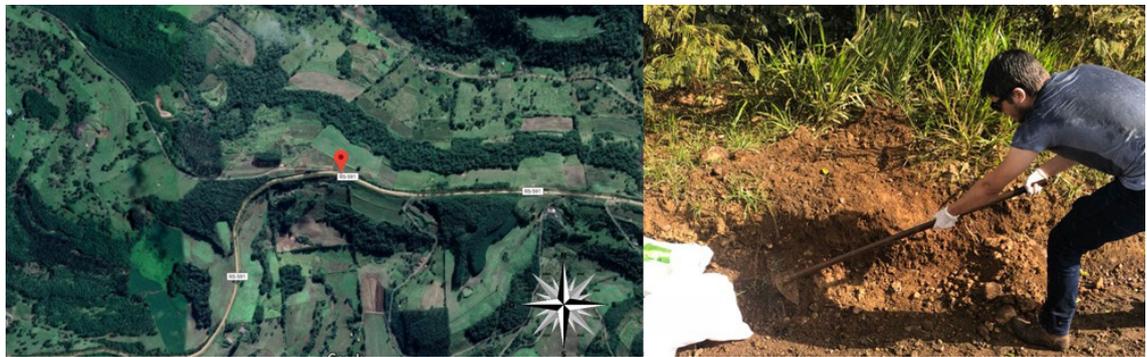


Figura 1. Local de coleta das amostras de solo

## 2.2 Metodologia dos ensaios

Para a realização dos ensaios no solo, afim de determinar as suas propriedades e características, e posteriormente realizar a verificação da estabilização química no mesmo, foram realizados diversos ensaios laboratoriais. Estes foram seguidos conforme a sua regulamentação por normas técnicas citadas na Tab. 1. A quantidade de solo preparada para a realização dos ensaios, seguiu o prescrito pela ABNT NBR 6457/2016 Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Ressalta-se que o Brasil não possui normas específicas para a mistura solo-cal, por esse motivo para viabilizar a pesquisa, adotou-se as normas de solo-cimento nos ensaios das misturas solo-cal.

Ensaio	Normas ABNT
Preparação das Amostras de Solo	NBR 6457/2016
Limite de Liquidez	NBR 6459/2016
Limite de Plasticidade	NBR 7180/2016
Granulometria	NBR 7181/2016
Compactação	NBR 7182/2016
Índice de Suporte Califórnia - ISC	NBR 9895/2016
Solo-cimento: Ensaio de compactação	NBR 12023/2012
Solo-cimento: Moldagem e cura dos corpos de prova	NBR 12024/2012

Tabela 1. Normas referentes aos ensaios

O programa experimental foi dividido em duas etapas, contemplando os ensaios realizados no solo *in natura* e os ensaios realizados na mistura solo-cal. Para o solo *in natura* foram realizados: Compactação com reuso de material para as três energias Proctor; Resistência à Compressão Simples (RCS); Análise Química; Análise Granulométrica, Índice de Suporte Califórnia e Limites de Consistência. Para as misturas de solo-cal foram realizados apenas os ensaios de compactação na energia Proctor normal, sem reuso de material e os ensaios de RCS. As composições das misturas solo-cal, podem ser observadas na Tab. 2.

Mistura	Porcentagem de solo	Porcentagem de cal (adição)	Tipo de cal
S3D	100%	3%	Dolomítica
S7D	100%	7%	Dolomítica
S10D	100%	10%	Dolomítica

Tabela 2. Composição das misturas solo-cal

### 3 | RESULTADOS

#### 3.1 Caracterização física e química do solo

A fim de se conhecer a distribuição granulométrica do solo e as frações que o compõe, realizou-se a análise granulométrica. Na Fig. 2 é possível identificar as dimensões dos grãos do solo com e sem a adição de defloculante (hexametáfosfato de sódio). Cinquenta por cento do solo se encontra na faixa de entre areia fina à argila, o que permite classificá-lo como um solo fino, com ocorrência de pedregulhos.

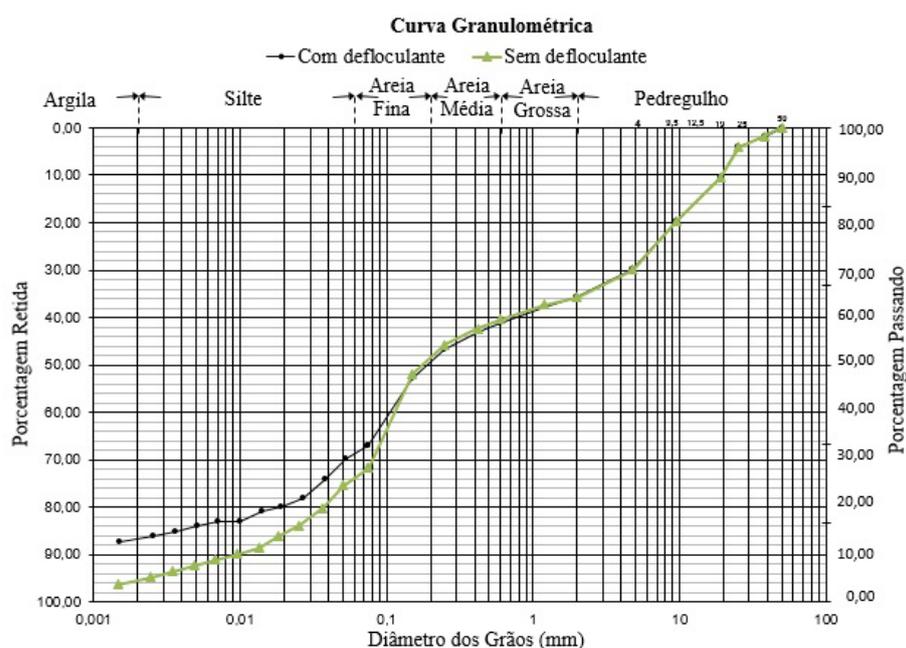


Figura 2. Curva Granulométrica

Através dos ensaios de limites de liquidez e plasticidade se determinam os limites de consistência do solo, analisando o comportamento do solo na presença de água. O resultado obtido no ensaio de limite de liquidez (LL) do solo foi de 28% de umidade aos 25 golpes e no ensaio de limite de plasticidade (LP) a umidade média de 5 amostras foi de 26%. De posse dos resultados obtidos do LL e do LP, foi possível determinar que o índice de plasticidade do solo é de 2%. Conforme especificado por Craig (2013), o solo em análise é considerado ligeiramente plástico.

Segundo o sistema de classificação Transportation Research Board (TBR), o

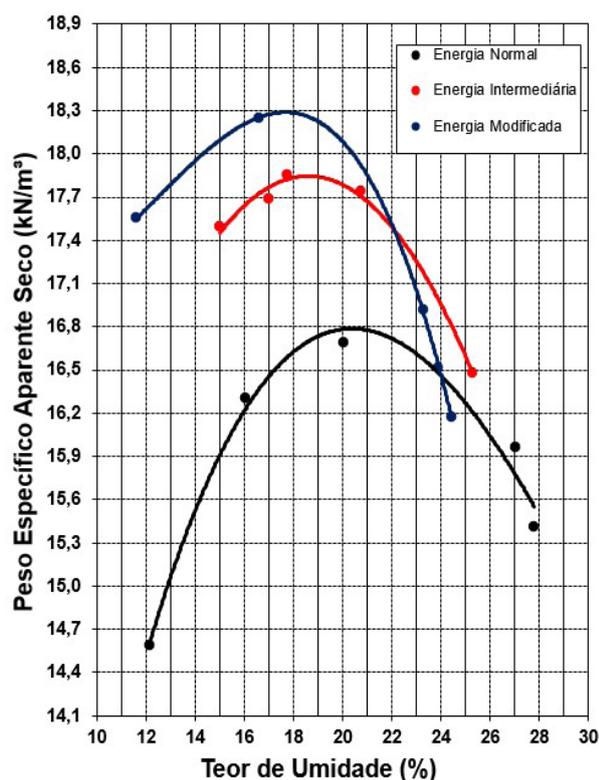
solo em análise se enquadra no grupo A-2-4, que são pedregulhos ou areias siltosas. O mesmo solo de acordo com o Sistema Unificado de Classificação do Solo (SUCS), se enquadra como material siltoso, areias finas siltosas ou silte argilosos com baixa plasticidade denominado como SM.

A análise química do solo apresentou um valor de capacidade de troca catiônica de  $24 \text{ cmolc/kg}^1$ , o que significa, de acordo com os valores usuais de Chesworth (2008), que há presença de illita no solo, que é um argilomineral com tendência a ter média expansibilidade.

Com base nos resultados da caracterização física e química do solo, e conforme especificado por Cunha (2010), é possível determinar que o solo em análise, de origem do município de Ametista do Sul, é classificado como um neossolo litólico, de profundidade rasa e com frequente ocorrência de cascalho e pedregulhos.

### 3.2 Compactação do solo *in natura*, misturas de solo-cal e Índice de Suporte Califórnia

A compactação do solo *in natura* foi realizada nas energias Proctor normal, intermediária e modificada, já para as misturas de solo-cal, a compactação foi realizada somente para a energia Proctor normal, conforme prevê a norma supracitada na Tab. 1. Ainda, é de suma importância ressaltar que este último foi realizado seguindo o método B da norma, visto o solo não ser 100% passante na peneira 4,75 mm. Na Fig. 3 estão representadas as curvas de compactação do solo *in natura*, nas três energias citadas e as curvas de compactação das misturas solo-cal na energia Proctor normal.



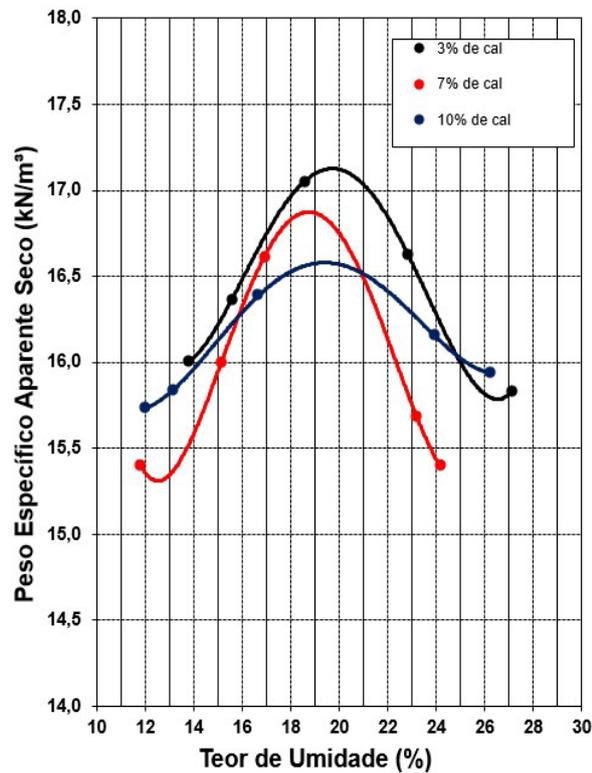


Figura 3. Curvas de compactação do solo *in natura* e das misturas solo-cal

Ainda ao analisar a Fig. 3, é possível visualizar que conforme a energia de compactação foi acrescida, o peso específico aparente seco do solo foi aumentando, enquanto o teor de umidade sofreu leve queda. Para a compactação da mistura solo-cal, conforme o aumento do teor de cal adicionado no solo, o peso específico aparente foi reduzindo, sendo que o teor de umidade sofreu algumas variações. Na Tab. 3 são apresentados os valores de peso específico aparente seco máximo e o teor de umidade ótima do solo natural nas três energias Proctor e das misturas S3D, S7D e S10D na energia Proctor normal.

Solo/Mistura	Energia de Compactação	Peso específico aparente seco máximo (kN/m³)	Teor de umidade ótima (%)	RCS (MPa)
SD3	Proctor Normal	17,2	19,8	0,22
SD7	Proctor Normal	16,8	19,0	0,35
SD10	Proctor Normal	16,6	19,3	0,44
Solo Natural	Proctor Normal	16,8	20,5	-
Solo Natural	Proctor Intermediária	17,8	18,9	-
Solo Natural	Proctor Modificada	18,3	17,6	-

Tabela 3. Resultados da compactação

De posse dos dados das compactações realizadas no solo *in natura*, foi realizado o ensaio de Índice de Suporte Califórnia – ISC, nas três energias Proctor, no qual foi possível obter os valores de ISC e de expansão. Na Tab. 4. São demonstrados

os valores obtidos para o ensaio supracitado. Com os resultados do ISC, é possível observar que conforme a energia de compactação Proctor aumenta, a expansão diminui e o Índice de Suporte Califórnia aumenta.

<b>Energia de Compactação</b>	<b>Expansão (%)</b>	<b>ISC (%)</b>
Normal	1,07	8,00
Intermediária	0,88	10,00
Modificada	0,79	23,00

Tabela 4. Valores do ensaio de ISC

### 3.3 Resistência à Compressão Simples

As dimensões dos corpos de prova moldados foram de 10x20cm, sendo compactados no teor ótimo na energia normal, conforme apurado nos ensaios de compactação supracitados, seguindo ainda o especificado na NBR 12024/2012 - Solo – Cimento- Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos- procedimento. Após a compactação, os corpos de provas foram embalados em sacos plásticos vedados, a fim de preservar a umidade ótima de compactação, sendo retirado o ar presente nos mesmos, e em seguida colocados em uma cura úmida, por um período de sete dias.

Foram moldados dois corpos de provas para cada mistura solo-cal e duas amostras de solo natural, totalizando 8 corpos de prova. Após o período de cura, os corpos de prova foram rompidos em uma prensa mecânica, no laboratório de matérias de Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus de Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul. Vale salientar que para a retificação dos corpos de prova foram usados anéis de neoprene.

Para determinação dos valores referentes ao ensaio de resistência à compressão simples, adotou-se a média aritmética entre os valores encontrados para os dois corpos de prova moldados para a mesma mistura. Na Tab. 5 são apresentados os valores obtidos por meio do ensaio.

<b>Solo/Mistura</b>	<b>RCS (MPa)</b>
Solo <i>in natura</i>	0,16
SD3	0,22
SD7	0,35
SD10	0,44

Tabela 5. Resultados dos ensaios de RSC

Em uma primeira análise aos valores obtidos no ensaio de resistência à compressão, e ao observar a norma do DNIT 143/2010 – ES: Pavimentação de Base de solo-cimento – Especificação de serviço, que diz que para a mistura solo-

cimento-cal poder ser utilizada como camada de uma estrutura de um pavimento (base e sub-base), o mesmo deve obter valor superior ou igual à 2,1 MPa, constata-se que o solo estabilizado com cal não poderia ser empregado. Contudo, pode-se verificar que houve um acréscimo da resistência à compressão do solo *in natura*, conforme há um aumento da adição de cal na mistura.

#### 4 | CONCLUSÕES

O solo analisado e estudado na presente pesquisa é um material siltoso, formado por areias siltosas, com baixa plasticidade, conforme especificado pelos sistemas da SUCS e TBR. Ressalta-se que o solo em análise apresenta características diferentes dos solos encontrados na região do Alto Uruguai (solos oriundos de derrames basálticos). Isto ocorre, segundo Cunha (2010), em regiões íngremes, suscetíveis a erosão e intemperismo da rocha sã, descrição compatível com o local de coleta das amostras. Os valores de RCS da mistura S3D, aos sete dias, foram superiores aos do solo *in natura*, apresentando uma melhoria nessa propriedade do solo de 37,5%. Já para a mistura S7D houve um aumento de 118,75% da resistência em relação ao solo *in natura*. Quando analisado a mistura S10D, o aumento foi de 175% ao se comparar aos valores de resistência a compressão simples do solo não estabilizado. Apesar das misturas solo-cal não apresentarem valores compatíveis para a aplicação em uma camada de um pavimento rodoviário, é possível constatar que ocorreu melhoria nas propriedades do solo *in natura*.

De acordo com Corteleti (2013), o principal fator de avaliação para o uso da cal como forma de estabilização de um solo, é a sua plasticidade. Quanto mais plástico for o solo, maiores serão os benefícios da estabilização. Ainda, Ingles e Metcalf (1972) dizem que a cal apresenta maiores capacidades de estabilização com solos argilosos. Com base nos autores supracitados, pode-se definir que ocorreu melhoria com a estabilização química com cal para o neossolo litólico em análise, contudo a estabilização não foi significativa, devido à baixa porcentagem de argila presente nestes solos, ocasionando na dificuldade de ocorrência das reações pozolânicas.

#### AVISO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso neste artigo.

#### REFERÊNCIAS

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

\_\_\_\_\_. **Solo – Análise granulométrica. NBR 7180.** Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. **Solo-cimento- Dosagem para emprego como camada de pavimento. NBR 12253.**

\_\_\_\_\_. **Solo- cimento – Ensaio de compactação. NBR 12023.** Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. **Solo – Cimento- Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos- procedimento. NBR 12024.** Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. **Solo – Determinação do limite de liquidez. NBR 6459.** Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. **Solo – Determinação do limite de plasticidade. NBR 7180.** Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. **Solo – Ensaio de compactação. NBR 7182.** Rio de Janeiro, 2016.

AZEVEDO, A. L. C. **Estabilização de solos com adição de cal:** Um estudo a respeito da reversibilidade das reações que acontecem no solo após a adição de cal. 2010. 178 f. Dissertação (Mestrado) – Geotecnia de pavimentos, UFOP, Ouro Preto – Mg, 2010.

CHESWORTH. W. (Coord.) **Encyclopedia of Soil Science.** New York: Springer, 2008.

CRISTELO, N. M. C. **Estabilização de solos residuais graníticos através da adição de cal.** 2001. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Guimarães – Pt, 2001. Cap. 2.

CUNHA, N. G. **Estudo de solos do município de Ametista do Sul, RS.** 2. Edição. Pelotas. Editora: Embrapa, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Norma DNIT 143/2010 - ES:** Pavimentação: Base de solo-cimento - Especificação de serviço. Rio de Janeiro: 2010.

GUIMARÃES, J. E. P. **A cal – fundamentos e aplicações na Engenharia Civil.** 2. Edição. São Paulo. Editora: Pini, 2002.

INGLES, Owen Graeme; METCALF, John B. **Soil stabilization principles and practice.** 1972.

SOUZA, A. N. de S. **Estudo de mistura solo-cal para base de pavimento rodoviário.** 2014. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Brasília – Df, 2014.

## **SOBRE A ORGANIZADORA**

**MARCIA REGINA WERNER SCHNEIDER ABDALA:** Mestre em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, Graduada em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Possui experiência na área de Educação a mais de 06 anos, atuando na área de gestão acadêmica como coordenadora de curso de Engenharia e Tecnologia. Das diferentes atividades desenvolvidas destaca-se a atuação como professora de ensino superior atuando em várias áreas de graduações; professora de pós-graduação lato sensu; avaliadora de artigos e projetos; revisora de revistas científicas; membro de bancas examinadoras de trabalhos de conclusão de cursos de graduação. Atuou como inspetora de Aviação Civil, nas áreas de infraestrutura aeroportuária e segurança operacional em uma instituição federal.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Administrative Process Environmental Military 54

### C

Cal Dolomítica 6, 65, 67

Chemical Stabilization 65, 66

Civil Construction 15, 16

Commercial project 29

Compliance 54

Construção Civil 6, 2, 3, 15, 16, 17, 20, 24, 26, 27, 66

Continuous improvement 1, 2

Correlação Linear 6, 15, 16, 23, 24, 26

Custo de Mercado 15

### D

Dolomite Lime 66

### E

Efeito Cotação 15, 18, 19, 20, 21

Environmental indicators 44

Environmental management 44, 64

Estabilização Química 6, 65, 66, 67, 68, 73

Evaluation tool 2

### F

Ferramenta de avaliação 1

### G

Gestão ambiental 43, 48, 52, 63

### I

Impacto urbano 28

Indicadores ambientais 43, 45, 46, 47, 49, 52

Industrial waste 44

### L

Lean principles 2

Lean production 1, 2  
Lei Complementar nº 140/2011 53  
Linear Correlation 15, 16

## **M**

Market Cost 16  
Melhoria contínua 1, 4, 9, 45  
Military Environmental Responsibility 54

## **P**

Princípios enxutos 1, 2, 9  
Procedimento 18, 53, 57, 58, 60, 61, 62, 72, 74  
Processo Administrativo Ambiental Militar 53, 59, 60, 62, 63  
Produção enxuta 1, 2, 8  
Projeto comercial 28

## **Q**

Quotation Effect 16

## **R**

Resíduos industriais 43, 44  
Responsabilidade Ambiental Militar 53

## **S**

Shopping 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42  
SINAPI 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 26, 27  
Soil 65, 66, 74  
Solo 29, 37, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74

## **U**

Urban impact 29

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-657-7

