

ESTABILIZAÇÃO MECÂNICA DE UM SOLO DA FORMAÇÃO PALERMO COM ADITIVO RES 298®.

Sara Cristine Denoni Ghedin (1), Pedro Arns (2);

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1)saracristinedg@hotmail.com, (2)par@unesc.net

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar as características mecânicas de um solo, da Formação Palermo, estabilizado com um aditivo químico. Para isto, foram coletadas amostras na Rodovia Alexandre Belolli, Bairro Primeira Linha, em Criciúma/SC. As mesmas foram submetidas aos ensaios de caracterização química, física (Granulometria por Peneiramento, Limite de Liquidez – LL e Limite de Plasticidade – LP) e mecânica (Índice de Suporte Califórnia – ISC e Expansão), no Laboratório de Mecânica dos Solos (LMS), do Instituto de Engenharia e Tecnologia (IDT), da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC) e, no Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais (LDCM), do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI). Inicialmente, ensaiou-se o solo em seu estado natural, para caracterizá-lo química, física e mecanicamente. De posse dos dados, ensaiou-se o solo mecanicamente, adicionando-se o aditivo nos teores de 0,004%, 0,006% e 0,008%, na energia de compactação Proctor Normal (PN). Pelos resultados obtidos, foi possível analisar o comportamento do solo em seu estado natural em relação ao aditivado. Percebeu-se que, quando aditivado, no período de 2 (dois) e 7 (sete) dias de cura, respectivamente, o mesmo não apresentou melhoras nas suas propriedades mecânicas. Aos 2 (dois) dias de cura, o resultado negativo não foi significativo, apesar de uma queda tanto no Índice de Suporte Califórnia (ISC), quanto na sua expansão. Já aos 7 (sete) dias, o resultado negativo foi expressivo, pois apresentou redução significativa no valor do ISC e aumento da expansão. Analisou-se que nos dois tempos de cura, a melhor opção de adição química no solo foi de 0,008%, pois foi onde apresentou os melhores resultados.

Palavras-Chave: Solo. Formação Palermo. Estabilização Química. RES 298®.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Pinto (2006), o solo que serve de fundação para um pavimento rodoviário denomina-se subleito, sendo o mesmo limitado superiormente pelo leito da estrada. Tal solo, utilizado no subleito do pavimento, deve obedecer às propriedades físicas (Granulometria por Peneiramento, Limite de Liquidez – LL e Limite de Plasticidade - LP) e mecânicas (Índice de Suporte Califórnia – ISC e Expansão), exigidas pelo Departamento Nacional de Infra Estrutura de Transportes (DNIT). Porém, quando



nos deparamos com solos, que não atendem as características mecânicas ($ISC \geq 2\%$ e expansão $\leq 2\%$), os mesmos devem ser substituídos, em uma espessura mínima de 0,60m, por outro que as atendam.

O processo de substituição de um solo por outro, resulta em um acréscimo no custo da obra e no tempo de execução. Para evitar atrasos na obra e aumento no custo final, uma das alternativas existentes é a estabilização do solo por processos químicos.

Os solos argilosos são suscetíveis a variação de suas propriedades na presença de água, diminuindo a resistência e, inviabilizando, dessa forma, seu uso em obras rodoviárias. Em face disso, deverá ser escolhido o melhor estabilizante, que proporcionará as características desejadas, dando ao pavimento maior qualidade e durabilidade. Logo, a estabilização do solo, deve-lhe conferir uma maior capacidade para suportar as cargas e esforços oriundos do tráfego, transmitidos ao pavimento, bem como resistir às ações erosivas provocadas por agentes naturais, e para as piores condições de solicitações previstas em projeto.

O domínio das técnicas de estabilização de um solo, como fundação de um pavimento rodoviário, poderá reduzir consideravelmente o tempo de execução, bem como, gerar uma economia significativa na obra.

No mercado, para estabilização de um solo quimicamente, há vários produtos como Permazine®, PZ Solution®, Con-Aid®, DS 328®, entre outros.

O presente artigo visa melhorar as propriedades mecânicas (ISC e expansão) de um solo da Formação Palermo, através da adição do aditivo RES 298®.

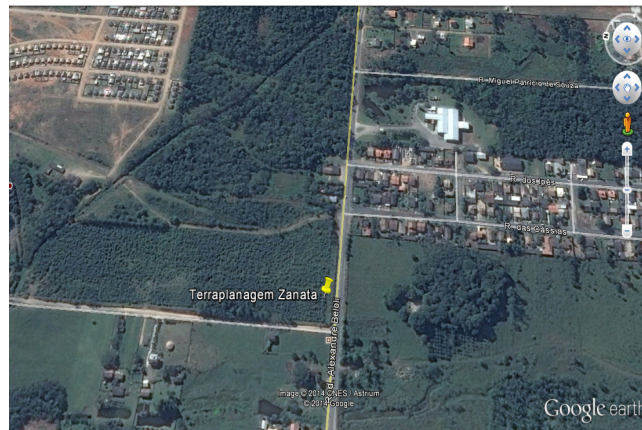
2. MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras foram coletadas na jazida Zanatta, situada no município de Criciúma/SC, e transportadas para o Laboratório de Mecânica dos Solos (LMS), do Instituto de Engenharia e Tecnologia (IDT), do Parque Científico e Tecnológico (IPARQUE), da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). Parte deste material foi encaminhada ao Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização dos Materiais (LDCM) do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), para caracterizá-lo quimicamente.

2.1 LOCALIZAÇÃO

O solo em estudo (Figuras 1 e 2) foi coletado na jazida Zanatta, localizada na Rodovia Alexandre Belolli, na localidade da Primeira Linha, no município de Criciúma/SC.

Figura 1 – Localização: Retirada das amostras



Fonte: Google Maps®.

Figura 2 – Coleta do solo



Fonte: LMS-IDT (2014).

Foram coletados 4 (quatro) furos, nos pontos de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM) representados na tabela 1.

Tabela 1 – Coordenadas UTM dos furos coletados

Furo	Norte	Leste
1	68.221.236.528,00	6.597.839.822,00
2	68.221.222.788,00	6.598.671.933,00
3	68.221.100.995,00	6.598.260.483,00
4	68.220.963.397,00	6.597.844.088,00

Fonte: Levantamento topográfico planialtimétrico cadastral - ESTRE (2014).

2.2 FORMAÇÃO GEOLÓGICA

Analisando-se através do Mapa Geológico e trabalhos de campo, observou-se a presença de sedimentos argilosos e argilo-siltosos, produtos estes de alteração das rochas sedimentares pertencentes à Formação Palermo. O local em estudo é representado predominantemente por folhelhos, que ao se decomporem formam os solos do tipo argilo-siltosos, pouco a medianamente plásticos e argilosos muito plásticos, com coloração variando entre o cinza, o amarelo e o roxo (Figura 3).

Figura 3 – Variação na coloração do solo



Fonte: LMS-IDT (2014).

2.3 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

Inicialmente foram realizados ensaios de caracterização no solo sem o aditivo. A caracterização física teve como objetivo a classificação do solo pelo sistema Transportation Research Board (TRB). A caracterização mecânica teve como finalidade encontrar os valores do ISC e expansão, para a energia de compactação

Proctor Normal (PN). As normas estabelecidas para cada ensaio e utilizadas no estudo encontram-se na tabela 2.

Tabela 2 – Normas Técnicas para os ensaios de caracterização

Ensaio	Norma ABNT
Granulometria	NBR 7181/84 – Versão Corrigida: 1988
Limite de Liquidez	NBR 6459/84
Limite de Plasticidade	NBR 7180/84 – Versão Corrigida: 1988
Compactação	NBR 7182/1986 – Versão Corrigida: 1988
ISC	NBR 9895/87

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA

Pelo ensaio de eflorescência de raios-X, obteve-se a composição química do solo, que encontra-se na tabela 3.

Tabela 3 – Composição química

Elementos	Teor (%)
Al ₂ O ₃	14,52
CaO	< 0,05
Fe ₂ O ₃	10,12
K ₂ O	1,66
MgO	0,80
MnO	0,38
Na ₂ O	0,07
P ₂ O ₅	< 0,05
SiO ₂	65,74
TiO ₂	0,69
Perda Fogo	5,92

Fonte: LDCM-SENAI (2014).

Analisando-se a tabela acima, conclui-se que o solo em estudo é composto, predominantemente, por Sílica (65,74%), Óxido de Alumínio (14,52%) e Hematita (10,12%). Esses componentes foram encontrados também no solo da Formação Palermo, estudado por Scarmagnani (2013), onde a Sílica representa 60,55%, o Óxido de Alumínio 20,15% e a Hematita 8,82%.

3.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA SEM A ADIÇÃO DO ADITIVO RES 298®

Para a caracterização física do solo da Formação Palermo, foram realizados os ensaios de Granulometria por Peneiramento, LL e LP. Através da análise dos resultados, determinou-se a classificação TRB e o Índice de Grupo (IG), que estão indicados na tabela 4.

Tabela 4: Propriedades físicas do solo sem adição do aditivo químico.

Características	AM1 - F1	AM1 - F2	AM1 - F3	AM1 - F4
LL (%)	84	59	49	57
LP (%)	63	37	31	40
IP	21	22	18	17
Passante peneira 200(%)	91,9	97,1	93,7	92,9
IG	17	17	13	15
TRB	A7-5	A7-5	A7-5	A7-5

Fonte: Do Autor (2014).

Através da análise da tabela 4, verifica-se que o solo em estudo pertence ao grupo A7-5. Os solos desse grupo apresentam argilas com variações volumétricas elevadas (expansão) e alta plasticidade. Pelo valor do Índice de Plasticidade (IP) e da granulometria do mesmo, verifica-se que o material é predominantemente fino, pois mais de 90% é passante na peneira de número 200.

Para a determinação da densidade seca máxima ($\gamma_{s\text{máx.}}$) e umidade ótima ($h_{\text{ot.}}$), foram moldados quatro (4) corpos de prova, compactados na energia de

compactação PN. Além disso, determinou-se também o ISC e a expansão de cada amostra. Os resultados obtidos constam na tabela 5.

Tabela 5: Propriedades mecânicas do solo sem a adição do aditivo, com relação à energia de compactação PN.

Características	AM1-F1	AM1-F2	AM1-F3	AM1-F4
γ_s máx (g/cm ³)	1,190	1,425	1,478	1,428
h ótima (%)	37,1	26,6	26,3	23,5
ISC (%)	5,2	4,6	5,2	6,8
Expansão (%)	1,29	4,91	2,09	2,43

Fonte: Do Autor (2014).

Analisando os resultados da tabela 5, constatou-se que o solo em estudo não pode ser utilizado como subleito de um pavimento, pois 3 (três) dos 4 (quatro) furos coletados, apresentaram expansão $\geq 2\%$. Sendo assim, procurou-se melhorá-lo através da adição do aditivo RES 298®, para verificar se com o mesmo, atingiria as qualidades mínimas, para uso como solo de fundação.

Pelos resultados da tabela 5, chega-se a conclusão de que o solo em estudo é praticamente homogêneo, pois os parâmetros das amostras possuem pouca variação. Para a adição do aditivo RES 298®, foi escolhida a amostra 1 (um), do furo 2 (dois), levando em consideração que este teve a maior expansão entre as amostras analisadas.

3.3 CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA COM A ADIÇÃO DO ADITIVO RES 298®

Para verificar se a adição do aditivo ao solo melhoraria as suas características mecânicas, adicionaram-se ao mesmo os teores de 0,004%, 0,006% e 0,008%, nas seguintes proporções (para cada 4000,0 g de solo):

- 1 ml de aditivo / 1000 ml de água = 4 ml = 0,004%;
- 1,5 ml de aditivo / 1000 ml de água = 6 ml = 0,006%;
- 2 ml de aditivo / 1000 ml de água = 8 ml = 0,008%.

Pela análise dos resultados dos ensaios, nos 3 (três) teores do aditivo, foi possível comparar e analisar, qual o teor que apresentou o melhor resultado, considerando-se as propriedades mecânicas do solo, além da economia obtida do produto.

Para a realização da análise das propriedades mecânicas do solo, para verificação da eficiência do aditivo, ensaiou-se 3 (três) amostras para cada teor do aditivo, com cura de 2 (dois) dias. O mesmo ensaio repetiu-se em 1 (uma) amostra para cada teor, deixando-as curar pelo período de 7 (sete) dias.

Em todos os ensaios dos teores utilizados, empregou-se a energia de compactação PN, cujos resultados encontram-se nas tabelas 6, 7, 8 e 9.

Tabela 6: Propriedades mecânicas do solo com a adição do aditivo RES 298® no teor de 0,004%, após cura de 2 (dois) dias.

Características	AM1-F2	AM2-F2	AM3-F2	Média
ISC (%)	3,2	3,4	3,7	3,4
Expansão (%)	5,23	4,61	4,63	4,82

Fonte: Do Autor (2014).

Tabela 7: Propriedades mecânicas do solo com a adição do aditivo RES 298® no teor de 0,006%, após cura de 2 (dois) dias.

Características	AM1-F2	AM2-F2	AM3-F2	Média
ISC (%)	4,5	3,2	2,6	3,4
Expansão (%)	4,45	2,50	4,06	3,67

Fonte: Do Autor (2014).

Tabela 8: Propriedades mecânicas do solo com a adição do aditivo RES 298® no teor de 0,008%, após cura de 2 (dois) dias.

Características	AM1-F2	AM2-F2	AM3-F2	Média
ISC (%)	3,8	2,4	4,3	3,5
Expansão (%)	5,12	3,09	2,77	3,66

Fonte: Do Autor (2014).

Tabela 9: Propriedades mecânicas do solo com a adição do aditivo RES 298®, após cura de 7 (sete) dias.

Características	AM1-F2 (0,004%)	AM1-F2 (0,006%)	AM1-F2 (0,008%)
ISC (%)	2,4	2,9	4,3
Expansão (%)	6,07	6,81	3,65

Fonte: Do Autor (2014).

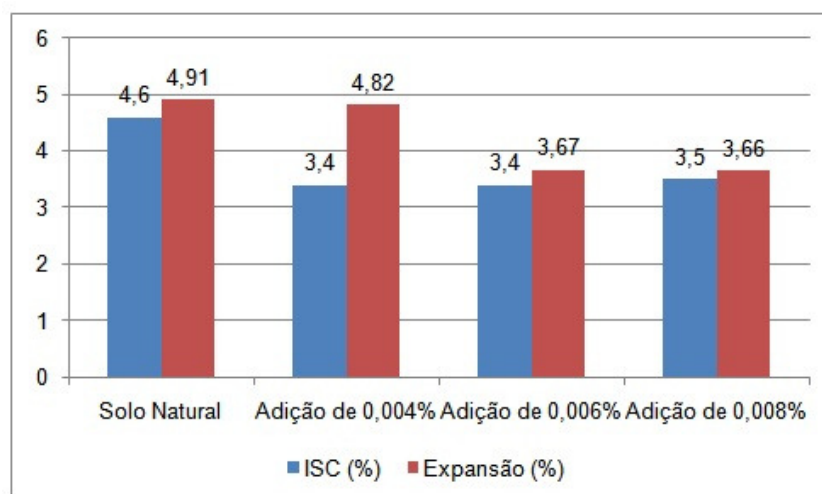
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Através dos resultados obtidos no presente trabalho, podem-se fazer comparações entre o solo no seu estado natural, e com os diferentes teores aditivados.

Pela análise dos parâmetros físicos e mecânicos do solo sem o aditivo, percebe-se que o mesmo não sofreu alterações significativas, podendo-se afirmar a sua manutenção homogênea.

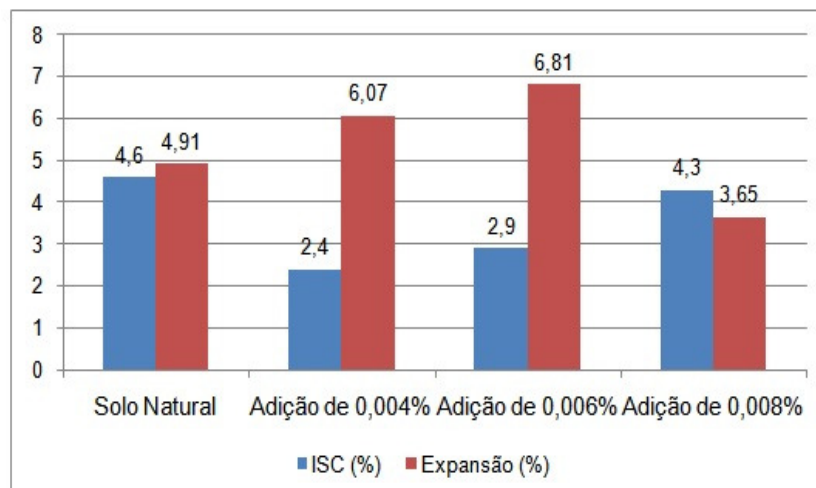
Os gráficos 1 e 2, apresentam os resultados do comportamento do ISC e da expansão do solo natural, em comparação com os teores do produto adicionados ao mesmo, após a cura pelo período de 2 (dois) e 7 (sete) dias, respectivamente.

Gráfico 1: Comportamento do ISC e da expansão em função do solo natural e do teor de aditivo adicionado, após 2 (dois) dias de cura.



Fonte: Do Autor (2014).

Gráfico 2: Comportamento do ISC e da expansão em função do solo natural e do teor de aditivo adicionado, após 7 (sete) dias de cura.



Fonte: Do Autor (2014).

Após a aplicação do aditivo no solo, percebe-se comparando o mesmo no seu estado natural, com os teores adicionados, que não houve uma melhora significativa nas suas propriedades mecânicas.

O gráfico 1, apresenta os resultados do ISC e da expansão do solo com a adição do aditivo, após 2 (dois) dias de cura. Percebe-se que o ISC obtido com os teores adicionados, em relação ao solo no seu estado natural, nos 3 (três) teores: 0,004%, 0,006% e 0,008%, teve uma queda de aproximadamente 26,0%. Pelo gráfico observa-se que a expansão mais expressiva e satisfatória foi a obtida no teor de 0,008%, cujo valor caiu 25,5%, comparado ao do solo no estado natural.

A análise do gráfico 2, apresenta os resultados do ISC e da expansão do solo aditivado, após 7 (sete) dias de cura. Os valores de ISC obtidos resultaram uma queda maior do que os aos 2 (dois) dia, além de um aumento expressivo na expansão, com exceção do teor de 0,008%. Este teor, comparado ao solo natural, reduziu o seu ISC em 6,5% e a expansão em 25,7%. Já no teor de 0,004% o ISC teve uma queda de 47,8% e um aumento da expansão em 23,6%. Enquanto que, no teor de 0,006% houve uma queda do ISC de 36,9% e a expansão aumentou 38,7%. Analisou-se que nos dois tempos de cura, a melhor opção de adição do aditivo no solo foi de 0,008%, pois foi onde apresentou os melhores resultados.

5. CONCLUSÕES

O solo da Formação Palermo em estudo é composto, predominantemente, por Sílica (65,74%), Óxido de Alumínio (14,52%) e Hematita (10,12%).

Observando o solo no seu estado natural, sem a presença do aditivo, percebeu-se que o mesmo apresenta seus parâmetros físicos e mecânicos com valores muito próximos, não variando suas principais características, representando assim ser um solo homogêneo.

Com a adição dos teores de 0,004%, 0,006% e 0,008%, do aditivo RES 298® no solo, os resultados obtidos não foram satisfatórios.

O solo em estudo não apresentou as características mínimas exigidas pelo DNIT, para ser utilizado como subleito, pois sua expansão foi $\geq 2\%$. Sendo assim, o mesmo foi aditivado com os teores acima citados, a fim de melhorar suas características, porém, não atingiu as especificações.

Analisou-se que nos dois tempos de cura, a melhor opção de adição do aditivo no solo foi de 0,008%, pois foi onde apresentou maior queda na sua expansão com relação ao solo natural, apesar de apresentar também queda no valor do ISC, porém, em menor grau comparado aos demais teores.

O teor de 0,008%, comparado ao solo natural, aos 2 (dois) dias de cura, teve uma queda no valor do ISC de aproximadamente 26,0% e também na sua expansão de 25,5%. Já aos 7 (sete) dias de cura, o mesmo teor, reduziu o seu ISC em 6,5% e a expansão em 25,7%.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **Preparação para ensaio de compactação e ensaios de caracterização: NBR 6457**. Rio de Janeiro. ABNT, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **Solo – Ensaio de compactação: NBR 7182**. Rio de Janeiro. ABNT, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **Análise granulométrica: NBR 7181:1984. Versão corrigida 1988**. Rio de Janeiro. ABNT, 1988.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **Solo – Determinação do limite de liquidez: NBR 6459.** Rio de Janeiro. ABNT, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **Solo – Determinação do limite de plasticidade: NBR 7180:1984. Versão corrigida 1988.** Rio de Janeiro. ABNT, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **Índice de Suporte Califórnia: NBR 9895.** Rio de Janeiro. ABNT, 1987.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA ESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de Pavimentação.** Rio de Janeiro (3ª edição), 2006.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações.** Rio de Janeiro, (6ª edição), 2000, 494 p.

PINTO, Carlos de Souza. **Curso Básico de Mecânica dos Solos.** São Paulo, (3ª edição), Editora Oficina de Textos, 2006, 367 p.

SANTOS, Adailton Antônio. **Classificação dos Solos – TRB (HRB) e IG.** Apostila, Mecânica dos Solos I - Universidade do Extremo sul Catarinense. Criciúma, 2012.

KAMMER, Vanessa Jesuino. **Análise das propriedades físicas e mecânicas de um solo estabilizado quimicamente com aditivo Con-Aid®/CBRPLUS para emprego em obras de pavimentação.** 2013. Monografia (Curso de Engenharia Civil) Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

SCARMAGNANI, Jakson Alexandre. **Análise das propriedades mecânicas de um solo da Formação Palermo estabilizado mecanicamente.** 2013. Monografia (Curso de Engenharia Civil) Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

MAURILIO, Liana Hoffmann. **Estabilização de um solo da Formação Palermo com cimento e Perma Zyme® para fins rodoviários.** 2009. Monografia (Curso de Engenharia Civil) Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.