

CORRELAÇÃO ENTRE O SISTEMA USCS ACRESCIDO DO ÍNDICE L DE CLASSIFICAÇÃO E ALGUMAS PROPRIEDADES DE ENGENHARIA DOS SOLOS TROPICAIS

Marina Correa Pirolo¹; Scandar Gasperazzo Ignatius²

1. Estudante do curso de Engenharia Civil; e-mail: marinacorpi@outlook.com
2. Professor da Universidade de Mogi das Cruzes; e-mail: ignatius@ipt.br

INTRODUÇÃO

Os engenheiros brasileiros Nogami e Villibor observaram que alguns solos tropicais com elevado Limite de Liquidez – LL, e elevado Índice de Plasticidade – IP, dentro de limites estipulados na época para esta finalidade, não se expandiam quando compactados e imersos em água, ou se expandiam muito pouco, e alguns solos com baixo LL, e baixo IP se expandiam bastante, comportamento contrário ao apresentado por solos não tropicais. Para pavimentação isto não servia, pois tanto o LL como o IP eram utilizados para prever as variações indesejadas de volume das camadas de pavimentos (NOGAMI, 1995). Esses problemas foram resolvidos no sistema de classificação Miniatura Compactado Tropical (MCT) para solo tropical por eles desenvolvida, que se baseia nas propriedades mecânicas e hídricas de corpos de prova compactados de dimensões reduzidas (VAZ 1996). Os solos tropicais se caracterizam por possuir horizontes lateríticos e saprolíticos de grandes espessuras, ocorrendo em regiões normalmente elevadas, e geralmente acima do nível d'água do subsolo (NOGAMI, 1995). Os solos saprolíticos, são solos residuais intemperizados que mantem herança estrutural da rocha mãe. Solos com comportamento geotécnico laterítico são classificados assim pela Metodologia MCT, e constituem uma variedade de solos superficiais intemperizados, formando maciços mais homogêneos e podendo apresentar coloração vermelha, amarela ou marrom, devido à presença de óxidos de ferro ou alumínio na sua composição mineralógica (NOGAMI 1995; VAZ 1996). Ressalta-se que a definição de “comportamento laterítico” para a geotecnia é diferente da definição pedológica de solos lateríticos para geologia, podendo então, um solo pedologicamente agrupado como laterítico não ser classificado com comportamento geotécnico laterítico (PASTORE, et al.1990). O Sistema MCT, de comprovada eficácia, entretanto não é de fácil aplicação, devido à sua complexidade, grande número de parâmetros envolvidos e uma relação entre eles não muito fácil de perceber. Além disso, esse Sistema recusa a utilização de granulometria e plasticidade dos finos (NOGAMI, 1995), adotadas no Sistema USCS, que são propriedades índice de grande eficácia quando se trata de prever comportamento de solos não tropicais. (IGNATIUS 1988). Por outro lado, apesar de sua notória inadequação aos solos tropicais, o Sistema USCS é de louvável simplicidade, objetividade e lógica interna que o tornam merecedor de esforços para adequá-lo aos solos tropicais (VARGAS, 1982). Essa foi a ideia norteadora de Ignatius (1988), que, ensaiando 17 amostras de solos de diferentes regiões de São Paulo, verificou que existe uma variação nos resultados dos ensaios de granulometria e limites de Atterberg para solos tropicais, em função das condições de secagem e manipulação das amostras. Os ensaios foram realizados com variações de tempo de manipulação de 5 minutos, 15 minutos e 60 minutos, concluindo que o tempo de 30 minutos é suficiente para a completa desagregação das concreções de partículas de solo. Em artigos subsequentes Ignatius (1990, 1991) propôs o Índice de Laterização, L, definido pela Equação 1, a ser adicionado ao Sistema USCS a partir de um estudo detalhado do Sistema MCT e de aproveitamento do que considerou a essência deste último, a inclinação do ramo seco da curva de compactação Proctor Normal com reuso, d' , definido pela Equação 2.

O Índice de Laterização, L, é assim definido:

$$L = d' \left(\frac{w_{ot}}{\gamma_{dm\acute{a}x}} \right) \quad (\text{Eq. 1})$$

$$d' = \frac{\Delta\gamma_d}{\Delta w} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

d': inclinação do ramo seco da curva de compactação;

Δw : variação de umidade de compactação;

wot: umidade ótima no ensaio de compactação;

$\Delta\gamma_d$: variação de peso específico aparente seco;

$\gamma_{dm\acute{a}x}$ = peso específico aparente seco máximo.

Em artigo publicado em 1991, Ignatius indicou a forma de cálculo do Índice L e mostrou sua grande correlação com o Sistema MCT em 90% dos solos analisados, com a vantagem de ser muito mais simples sua determinação do que a metodologia empregada no Sistema MCT. Este novo método considera como solo de comportamento laterítico aquele que apresenta L maior que 0,3 e solos de comportamento não laterítico aqueles que apresentam L menor que 0,3. (IGNATIUS, 1991; SERRANO, et al. 2017). Um sistema classificatório de solos em engenharia deve identificar os objetos a que se aplica e agrupa-los em classes de acordo com as suas propriedades, e também deve associar estas classes a comportamentos de interesse (PINTO 2006). O presente trabalho de pesquisa tem como objetivo verificar a eficácia do Sistema USCS de classificação de solos, acrescentado do índice L de laterização, na previsão da capacidade de carga do solo medida pelo parâmetro Índice de Suporte Califórnia - ISC (Califórnia Bearing Ratio - CBR). Este último ensaio é o mais comumente utilizado para fins de pavimentação, onde os corpos de prova moldados, compactados são posteriormente penetrados através de prensa mecânica com pistão automático durante um determinado tempo, permitindo a avaliação do comportamento do solo sob o ponto de vista da resistência e deformabilidade, por meio de um único índice em porcentagem (BUFFON, 2014).

METODOLOGIA

Foram coletadas dez amostras de solo, alguns com comportamento supostamente laterítico e outros com comportamento não laterítico de regiões distintas para a realização de ensaios de caracterização, compactação e CBR. Foram realizados ensaios de Granulometria com alteração no tempo de dispersão para sedimentação, em todas as amostras. A Norma ABNT NBR 7181:2016 estabelece um tempo de dispersão de 15 minutos, porém, para realização destes ensaios, o material foi dispersado por 30 minutos. Os outros procedimentos seguiram conforme a Norma. A Norma ABNT NBR 6459:2016 estabelece que, para se obter o LL, o material deve ser espatulado na capsula de porcelana com tempo de homogeneização entre 15 minutos e 30 minutos, porém, para este trabalho, o material foi dispersado em aparelho de dispersão (o mesmo aparelho utilizado no ensaio de granulometria ABNT NBR 7181:2016), por exatos 30 minutos. Para isto, foi necessário acrescentar água até que o material chegasse ao ponto líquido, caso contrário, ele ficaria pastoso e a dispersão não ocorreria conforme o esperado. O ensaio também foi realizado por secagem tomando-se cuidado com a quantidade de água acrescida, pois quanto mais água, mais o material demoraria a secar. Após a dispersão, o material foi despejado e espalhado em fôrmas retangulares de alumínio e deixado secar à sombra e ao ar, retirando-se os excessos de água com uma pipeta de borracha, após sedimentação, com cuidado para não retirar solo junto

com a água. Quando o material passava a apresentar uma consistência mais pastosa, era possível espalha-lo com uma espátula em placa de vidro (a mesma placa de vidro utilizada no ensaio de Limite de Plasticidade - LP ABNT NBR 7180:2016), secando-o até obter uma consistência mais próxima do primeiro ponto de ensaio. Para acelerar a secagem foi utilizado um ventilador comum incidindo sobre a amostra durante a espatulação. Parte do material foi transferida para a concha do Aparelho de Casagrande com a intenção de obter o primeiro ponto de ensaio. O primeiro ponto foi considerado aquele com consistência tal que fossem necessários da ordem de 8 a 10 golpes para fechar a ranhura. O material voltou a ser espatulado para que secasse mais um pouco a fim de obter os outros pontos do ensaio, repetindo os procedimentos até obter 35 golpes. Os outros procedimentos, além dessas alterações, foram realizados seguindo a Norma ABNT NBR 6459:2016.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A execução dos ensaios conforme a Norma correu de maneira esperada, porém, no ensaio de Limite de Liquidez com alteração do tempo de dispersão e feito por secagem, a execução foi mais lenta do que o esperado, tornando o ensaio extenso e trabalhoso. Devido à necessidade de acrescentar quantidade significativa de água no momento da dispersão em aparelho dispersor, mesmo tomando-se cuidado com a quantidade de água acrescentada, o material demorou a secar. O tempo de secagem do material variou de acordo com o tipo da amostra ensaiada, sendo um tempo maior para solos mais argilosos, e um tempo menor para solos mais arenosos.

Os resultados obtidos nos ensaios estão apresentados na tabela a seguir.

Tabela 1: Resultados dos ensaios e cálculos realizados.

| Amostra número | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
|---|---|------------|------------|---------------|------------|----------|----------|--------------|------------|---------------|---------------|-------|
| | Origem | Peruíbe I | Peruíbe II | Caraguatatuba | IPT | USP I | USP II | Bandeirantes | Paulista | Florianópolis | Florianópolis | |
| Índice L | Valor | 0,37 | 0,16 | 0,19 | 0,76 | 0,20 | 0,20 | 1,23 | 1,62 | 0,14 | 0,17 | |
| | Comportamento | Laterítico | Não Lat. | Não Lat. | Laterítico | Não Lat. | Não Lat. | Laterítico | Laterítico | Não Lat. | Não Lat. | |
| | Grupo MCT | LG' | LG' | NA' | LG' | NG' | NS' | LG' | LG' | NA' | NS' | |
| Coeficientes e índices para classificação MCT | c' | 1,56 | 1,68 | 1,08 | 1,86 | 1,76 | 1,36 | 1,72 | 2,20 | 1,30 | 0,84 | |
| | d' | 31,50 | 11,42 | 20,00 | 73,68 | 18,68 | 18,89 | 114,21 | 65,45 | 16,00 | 22,22 | |
| | e' | 0,97 | 0,82 | 1,24 | 0,60 | 1,47 | 1,51 | 0,93 | 1,09 | 1,23 | 1,72 | |
| | Pi | 0,44 | 0,00 | 1,02 | 0,00 | 2,05 | 2,60 | 0,60 | 0,94 | 1,10 | 3,20 | |
| | Massa específica aparente máx. (kg/m ³) | 1690 | 1586 | 1715 | 1701 | 1723 | 1684 | 1719 | 1379 | 1760 | 1585 | |
| | Umidade ótima (%) | 20,10 | 22,59 | 16,34 | 17,71 | 18,86 | 18,10 | 18,54 | 34,07 | 16,08 | 12,27 | |
| | Mini-CBR com imersão (%) | 12,80 | 15,20 | 12,60 | 7,20 | 9,30 | 4,50 | 15,50 | 10,70 | 18,00 | 12,60 | |
| Conforme a Norma | % que passa, peneiras de | 2,00 | 95,56 | 95,96 | 96,85 | 100,00 | 99,70 | 100,00 | 99,66 | 99,89 | 81,82 | 99,98 |
| | abertura em mm | 0,42 | 76,76 | 81,93 | 75,84 | 88,59 | 97,86 | 88,19 | 96,01 | 99,12 | 59,61 | 88,60 |
| Com 30min de dispersão | % que passa, peneiras de | 0,075 | 55,57 | 56,23 | 38,07 | 66,67 | 72,46 | 61,70 | 71,10 | 96,02 | 34,48 | 62,77 |
| | abertura em mm | 2,00 | 95,56 | 95,96 | 96,85 | 100,00 | 99,70 | 100,00 | 99,66 | 99,89 | 81,82 | 99,98 |
| Conforme a Norma | Limite de Liquidez (%) | 0,42 | 76,61 | 85,29 | 79,94 | 88,62 | 98,11 | 90,02 | 97,30 | 98,70 | 59,78 | 98,45 |
| | Índice de Plasticidade (%) | 52,98 | 66,23 | 44,97 | 62,37 | 72,76 | 64,28 | 70,73 | 95,00 | 44,84 | 57,99 | |
| Com 30min | Limite de Plasticidade (%) | 63,00 | 59,00 | 43,00 | 56,00 | 54,00 | 46,00 | 42,00 | 78,00 | 42,00 | 21,00 | |
| | Índice de Plasticidade (%) | 33,00 | 23,00 | 15,00 | 28,00 | 32,00 | 12,00 | 18,00 | 36,00 | 16,00 | 5,00 | |
| Com 30min | Limite de Liquidez (%) | 67,00 | 63,00 | 47,00 | 98,00 | 48,00 | 52,00 | 63,00 | 109,00 | 46,00 | 22,00 | |
| | Índice de Plasticidade (%) | 37,00 | 27,00 | 19,00 | 70,00 | 26,00 | 18,00 | 39,00 | 67,00 | 20,00 | 6,00 | |

Houve variação nos resultados de plasticidade dos finos com o tempo de manipulação em todas as amostras ensaiadas, sendo que em solos lateríticos essa variação foi mais significativa. Isto se deve ao fato de que as concreções de partículas finas do solo foram desagregadas permitindo que os ensaios feitos medissem as propriedades de natureza do solo, conforme já observado por Ignatius (1988). Já nos ensaios de granulometria essa variação não foi tão grande. Cabe salientar que, não se espera quebra de partículas de finos para esta energia de manipulação das amostras, conforme demonstrado no trabalho de Ignatius (1988), sendo provavelmente necessária uma energia muito maior para que isto ocorra. Pôde-se observar que o comportamento geotécnico indicado pelo índice L teve

concordância com a Metodologia MCT em nove das dez amostras ensaiadas. Não houve correlação direta entre os valores do índice L e o parâmetro CBR devido ao fato de que para adequada caracterização do solo tropical, as três propriedades índice: granulometria, plasticidade e L devem ser consideradas. A Tabela 1 mostra de maneira evidente que quanto maior o valor do Índice L, maior é a variação do IP.

CONCLUSÕES

Pelo fato de ser trabalhosa e demorada, a metodologia de execução do ensaio de Limite de Liquidez, LL, com 30 minutos de dispersão deve ser revista. Houve correlação de 90% entre o índice L e a Metodologia MCT, confirmando a conclusão obtida por Ignatius (1988). Quanto maior o Índice L, maior é a variação do Índice de Plasticidade, IP. Não foi observada relação direta entre o índice L e o CBR dos solos ensaiados, provavelmente devido ao fato de que para adequada caracterização do solo tropical, as três propriedades índice: granulometria, plasticidade e L devem ser consideradas conjuntamente.

REFERÊNCIAS

BUFFON, C. A. **Ensaio de solos para pavimentação**. Relatório, Universidade do Planalto Catarinense/ UNIPLAC. Lages, 2014.

IGNATIUS, S. G. **Solos Tropicais: Proposta de Índice Classificatório**. Solos e Rochas. São Paulo, 14, (2), p. 89, 93, 1991.

IGNATIUS, S.G. **Limites de Atterberg, Granulometria e Classificação MCT de Solos Tropicais**, 6º CBGE, IX COBRAMSEF. Bahia, p. 271, 280, 1990.

IGNATIUS, S. G. **Uso dos Limites de Atterberg e da Análise Granulométrica na identificação e classificação de Solos Tropicais para fins de Engenharia Civil**, Dissertação de mestrado, POLI/ USP. São Paulo, 1988.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. **Pavimento de baixo custo com solos lateríticos**. Editora Villibor. São Paulo, p. 240. 1995.

PASTORE, E. L.; IGNATIUS, S.G.; SALOMÃO, F. X. T.; CAMPOS, J. O.; BONGIOVANI, S. **Correlação entre as classificações pedológicas e geotécnicas de alguns solos do interior do estado de São Paulo**, 6º CBGE, IX COBRAMSEF. Bahia, p. 261, 270, 1990.

PINTO, C.S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**, 3ª Ed. Oficina de Textos. São Paulo, p. 363, 2006.

SERRANO, E. A.; OLIVEIRA, L. A.; IGNATIUS, S. G. **Índice para Classificação Geotécnica de Solos Tropicais**. Trabalho de conclusão de curso, Universidade de Mogi das Cruzes Campus - Vila Lobos. São Paulo, 2017.

VARGAS, M. **O uso dos limites de Atterberg na classificação de solos tropicais.** Anais do 7º Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, Olinda, Recife, vol. V, ABMS. São Paulo, p. 262, 278, 1982.

VAZ, L. A. **Classificação genética dos solos e dos horizontes de alteração de rocha em regiões tropicais.** Solos e Rochas. São Paulo, 19, (2), p. 117, 136, 1996.