

Análise de Perfis de Conteúdo de Matéria Orgânica em Depósito de Solos Moles no Vale do Rio Curimataú com Ocorrência em Obra Rodoviária na Duplicação da BR-101/RN

Alexandre da Costa Pereira¹

(1) IFRN / Unifacex, Natal/RN, Brasil, alexandre.pereira@ifrn.edu.br

Raymison Rodrigues Cardoso²

(2) DNIT/RN, Natal/RN, Brasil, raymison.cardoso@dnit.gov.br

Laílson de Araújo Nicácio³, Erikênia Medeiros Assunção³

(3) Unifacex, Natal/RN, Brasil

RESUMO: Este artigo apresenta os resultados das investigações geotécnicas do depósito de argila mole em quatro áreas dentro do aterro da estrada situado no cruzamento da rodovia federal BR-101 sobre os depósitos de solo mole que se estende na região do vale do rio Curimataú, localizada no estado do Rio Grande do Norte (Brasil). O plano de pesquisa foi feito por causa da necessidade de proposição de solução definitiva para o problema das deformações excessivas no pavimento da rodovia em quatro pontes no Vale do Curimataú, especificamente a ponte para atravessar o rio Curimataú, consistindo as informações das condições estruturais como essencial no desenho para a recuperação definitiva do trecho em questão. Em relação ao programa de perfuração geotécnica contratado, além de 150 furos SPT, procedeu-se ao exame do teor de umidade, $w(\%)$, e teor de matéria orgânica, TMO (%), mediante amostras coletadas em amostrador padrão, coletadas em furos SPT, com o objetivo de adicionar informações obtidas a partir de vários ensaios geotécnicos in situ (CPTU, Vane e dados de instrumentação). Foram obtidas amostras a cada 2m de profundidade para a determinação de perfis para $w(\%)$ e TMO (%), tendo sido utilizados dois métodos para determinar a TMO (%): métodos de ignição a 250°C e Walkley Black. Os perfis obtidos para teor de umidade e matéria orgânica, associado à definição da estratigrafia de depósito, consistiu em trabalho importante para a compreensão do problema geotécnico na travessia rodoviária sobre solos moles no vale do Curimataú. Este estudo confirma que depósitos de argila orgânicos exigem estudos adicionais para ajudar na compreensão do comportamento de obras geotécnicas, considerando-se os ensaios para a matéria orgânica e teor de umidade importantes para a análise e projeto de reforço de aterros sobre solos moles.

PALAVRAS-CHAVE: Matéria Orgânica, Depósito de Argila Mole, Argila Orgânica, Aterro Rodoviário, Projeto de Reforço de Solos.

1 INTRODUÇÃO

Com o objetivo de auxiliar na definição da solução final para o problema da alta deformação registrada em pavimento rodoviário, sondagens SPT foram realizados

com a coleta de amostras em amostrador padrão, para a análise do teor de umidade e da matéria orgânica, com especial atenção para os aterros de encontro das pontes sobre os rios Espinho, Curimataú, Outeiro e Levada, observando-se, como critério para a conclusão

em cada furo, a penetração de 5m na camada de areia abaixo da camada de argila mole. Em relação ao programa de sondagem geotécnica executado, além da realização de 150 furos SPT, procedeu-se ao exame do teor de umidade, $w(\%)$, e do teor de matéria orgânica, TMO(%), com o objetivo de adicionar informações geotécnicas às já disponíveis, complementando o diagnóstico e melhor subsidiando o processo de decisão em relação à solução técnica a ser adotada para a estabilização do aterro. A obtenção de amostras para determinação $w(\%)$ e TMO(%) foi realizada a cada 2m de profundidade. Foram utilizados dois métodos para a determinação da TMO(%): Walkley-Black e métodos de ignição a 250 °C.

Quanto à relevância em relação ao tema da presença de solos orgânicos no processo de definição dos parâmetros de dimensionamento a considerar em técnicas de reforço de solos, convém destacar que, segundo Ruver, Bristot e Machado (2014), “sabe-se que o tratamento de solos contendo matéria orgânica requer maiores teores de cimento, ou, dependendo do teor de matéria orgânica e o tipo, a estabilização torna-se ineficiente”. Já Clare e Sherwood (1954) citam que certos solos podem conter matéria orgânica que impede o endurecimento do cimento.

Como exemplo desta influência, podemos observar na figura 1 a variação de resistência a compressão simples da coluna de jet grouting que depende principalmente da granulometria do solo, da natureza geomorfológica, consumo e tipo de cimento e tipos de aditivo (Novatecna, 2006 apud Koshima *et al.*, 2012).



Figura 1. Faixa de variação da resistência (Novatecna, 2006 apud Koshima *et al.*, 2012).

O *jet grouting* (JG) se aplica ao solo de quase toda a faixa granulométrica, embora exija cuidado especial em solo de origem

orgânico/turfoso com pH ácido e acidez Baumann Gully elevada, sendo considerado como especialmente suscetível a apresentar problemas na execução relacionados à dificuldade de endurecimento da pasta de cimento utilizada (Koshima *et al.*, 2012). Segundo Falcão Bauer (1979) a acidez Baumann Gully maior que 20 é considerado muito agressivo.

Conforme Koshima *et al.* (2012), em solos com acidez elevada, o consumo de cimento pode até exceder o dobro em relação ao caso do material inorgânico/sem contaminação e, se necessário, até a reinjeção da coluna. A água a ser utilizada na formulação da calda deve ser tratada para evitar a presença de agentes químicos que possam eventualmente afetar, desfavoravelmente, as propriedades da calda e dificultar o seu endurecimento (Rodrigues, 2009).

Importante ressaltar o cuidado que se deve ter em relação à água a ser utilizada no processo para o preparo da pasta e execução do *jet grouting* que deverá ser isenta de matéria orgânica (Giménez, 2004 apud Rodrigues, 2009).

Considera-se, portanto, como premissa nos estudos que os perfis obtidos para o teor de umidade e para matéria orgânica, associado com a definição da estratigrafia de depósito, representarão um importante recurso para a compreensão do problema geotécnico ocorrido com o aterro rodoviário no vale do rio Curimataú.

Quanto à questão da importância do planejamento adequado da campanha de ensaios de campo a ser desenvolvida para projetos geotécnicos seguros e econômicos, convém que se ressalte a relação existente entre as sondagens de reconhecimento, que no Brasil representam um custo variando de 0,2% a 0,5% do custo total das obras convencionais, e a natureza dos solos com ocorrência no local, implicando na necessidade de dedicar ensaios especiais para subsidiar o projeto de engenharia, objetivando a obtenção de informações geotécnicas indispensáveis à previsão dos custos fixos associados ao projeto e sua solução. Investimentos suficientes devem ser, portanto, alocados para garantir um programa

geotécnico extensivo, destinado a reduzir custos e minimizar riscos, restringindo a possibilidade de confrontar o engenheiro com condições geotécnicas imprevistas que, frequentemente, resultam em atrasos no contrato. Esses atrasos podem resultar em custos elevados, muito superiores aos valores que deveriam ter sido alocados no programa de investigação (Schnaid, 2000).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Localização do Depósito

O aterro sobre depósito de solos moles está localizado no nordeste do Brasil, com coordenadas UTM N 9.290.853 e E 264.407 (Fuso 25) como mostrado na figura 2, ao sul do Rio Grande do Norte, próximo à cidade de Canguaretama, a cerca de 100km da cidade de Natal, capital do estado.

Encontra-se em uma região caracterizada geologicamente como planície aluvial recente (Pleistocênica) em ambiente caracterizado pela ocorrência de manguezais e áreas inundadas, com importante presença de depósitos de argila com espessuras superiores a 20m.

O depósito foi identificado em projetos para a duplicação da rodovia federal (BR-101/RN), sendo observado um comportamento diferente do que o esperado para executar aterros rodoviários, que sofreram níveis de deformações excessivas e registraram a ocorrência de processo de ruptura em 29/09/2009 no aterro do solo perto da ponte sobre o rio Curimataú (figura 3). Após a ocorrência da ruptura de aterro foram realizados testes de campo adicionais e a retroanálise para procurar explicar o acidente, observando que o processo foi influenciado por fatores relacionados às características geotécnicas do solo referentes à irregularidade na seção estratigráfica transversal do depósito no lugar que sofreu ruptura.

Como mostrado na Figura 4, foi realizada a retroanálise para a constatação do coeficiente de segurança para a obra, não suficiente para proporcionar níveis aceitáveis de minimização do risco, considerando que o valor mínimo aceitável para o factor de segurança seria de 1,4

para o aterro (Classe 1: Aterro sobre Solos Moles em Encontro com Estruturas Rígidas - DNER-PRO 381/98), tendo sido encontrado valor de 0,84 para as condições consideradas na análise.

Conforme indicam os parâmetros de resistência obtidos pelos testes CPTu, observou-se que o perfil apresenta parâmetros de resistência ao cisalhamento típicos de solos argilosos muito moles, com espessura de cerca de 18m, consideravelmente maior do que a espessura previamente identificada para o depósito do solo.

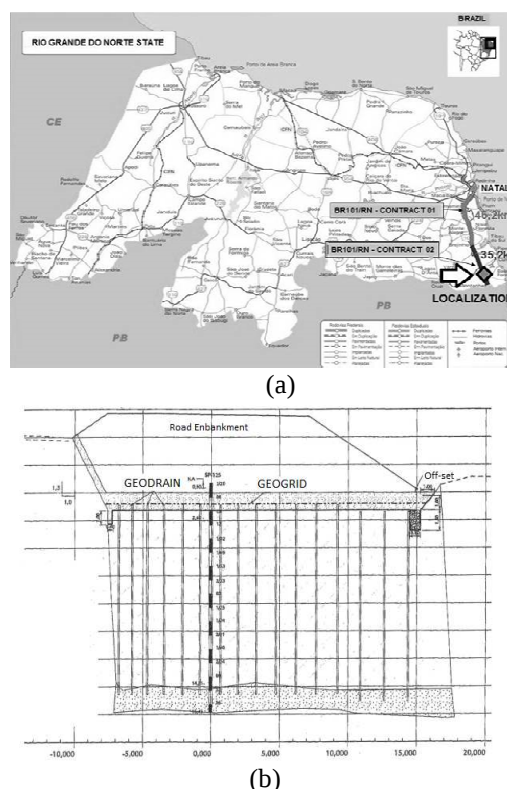


Figura 2. Localização do depósito (a) e seção transversal típica de projeto (b).



Figura 3. Aparência do local logo após a ruptura.

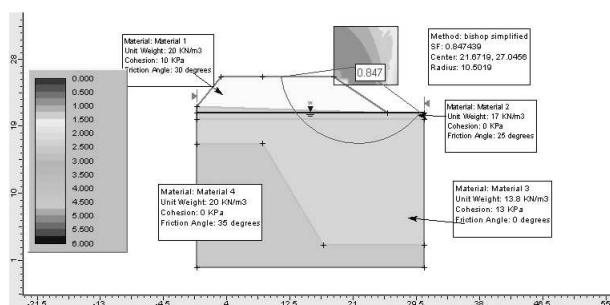


Figura 4. Retroanálise do fenômeno da ruptura.

A figura 5 mostra os perfis CPTu do depósito solo estudado e a figura 6 os registros para a pressão piezométrica no depósito de solos moles durante a obra.

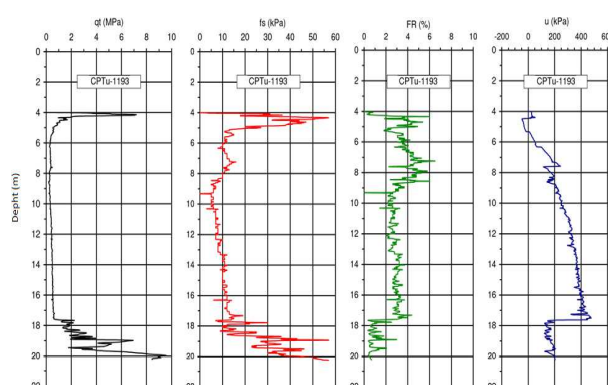


Figura 5. Perfis CPTu para o depósito.

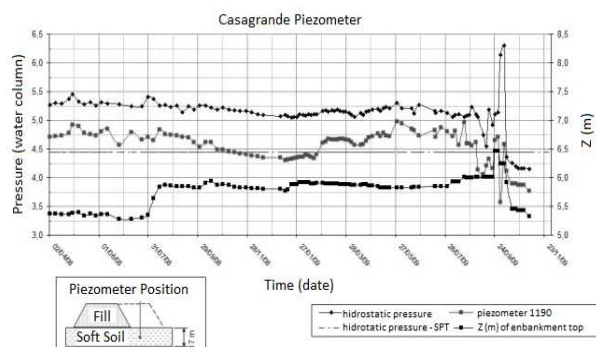


Figura 6. Leituras de pressão piezométrica.

2.2. Procedimento de Amostragem

Em estudos realizados inicialmente para o aterro da estrada do projeto, que foi gravado para o estudo de valores de depósito objeto para a atividade do mineral de argila ($0,72 \leq A_c \leq 1,75$), em média, mais elevados do que os valores representativos para os depósitos de comparação ($A_c \approx 1,2$), que poderia ser atribuída ao valor mais alto para o conteúdo de matéria orgânica ($7,4\% \leq TMO \leq 12,2\%$) no depósito estudado, o que já indicavam a necessidade de

especial atenção à solução de projeto compatível com as características do depósito de solos moles em estudo.

Também os valores para a resistência não drenada (teste de UU) de 18kPa ordem e os valores do teor de umidade (mais de 120%), índice de vazios até 1,64 e coeficiente de consolidação em ordem de 1,15 indicam a necessidade para o controle do risco de altas deformações e segurança adequada frente ao risco de ruptura.

Com o objetivo de explicar melhor o comportamento impróprio da obra e subsidiar o processo de definição da solução do processo de configuração para fortalecer o solo da fundação do aterro rodoviário, foi realizado planejamento de experimento para realizar testes para confirmar a estratigrafia do lugar, bem como definir perfis para o teor de matéria orgânica e perfis de umidade.

O planejamento amostral foi desenvolvido através de ampla campanha de ensaios SPT, mediante amostras colhidas na ponta dos cilindros amostradores utilizados (modelo Terzaghi-Peck) (figura 7), para a determinação dos perfis de umidade e teor de matéria orgânica.



Figura 7. Procedimento de amostragem.

2.3. Determinação do Conteúdo de Matéria Orgânica

A matéria orgânica do solo pode ser amplamente definida como vestígios de organismos vivos, resíduos de plantas e animais decompostos, que variam consideravelmente em termos de estabilidade, a susceptibilidade ou estágio de alteração. Este estudo fez uso de dois métodos na quantificação da matéria orgânica do solo argiloso orgânico.

Os métodos utilizados foram o Walkley-Black modificado e calcinação a 250°C. O método de calcinação "perda por ignição" se fundamenta no ensaio de 4g de amostra,

previamente seca a 105°C, preparada e aquecida no forno a 250°C durante 5h. Subsequentemente, a amostra é pesada e a diferença entre o peso inicial (4g) de amostra de solo e a massa final após a calcinação corresponde ao conteúdo orgânico (Davies, 1974).

O método Walkley-Black modificado é levado a cabo através da utilização de 250 ml, com amostra de 0,5g, o qual passou através do crivo de 0,2mm, agitando o frasco durante um minuto, para assegurar uma mistura íntima do solo com os reagentes e adicionou-se 10ml em solução de 1N, misturando a solução com o solo. Em seguida, adicionou-se 20ml de H₂SO₄ concentrado à amostra, deixando-a repousar durante 20 a 30 minutos para provar em branco, com o ponto de teste mediante o titulador à base de sulfato de amónio ferroso (Silva, A.S., 1999).

2.4. Granulometria

A figura 8 apresenta a curva de textura obtida com o estudo da textura do solo, e a tabela 1 mostra a faixa para distribuição de tamanho de grãos, obtido em duas profundidades: 7,8m e 14,8m.

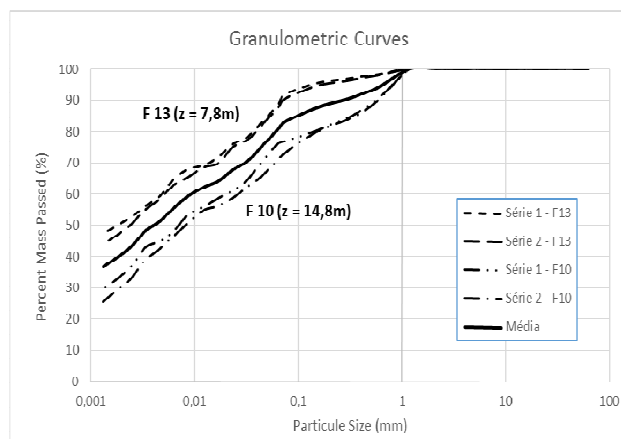


Figura 8. Curvas granulométricas para o solo.

Tabela 1: Distribuição do tamanho de partículas.

Diâmetro das Partículas	% (massa)		
	F13 (Z = 7,8m)	F10 (Z = 14,8m)	Média
$\phi > 2\text{mm}$	0%	0%	0%
$2\text{mm} > \phi > 0,6\text{mm}$	5%	9%	7%
$0,6\text{mm} > \phi > 0,2\text{mm}$	6%	10%	8%
$0,2\text{mm} > \phi > 0,06\text{mm}$	7%	9%	8%
$0,06\text{mm} > \phi > 0,002\text{mm}$	36%	40%	38%
$2\mu\text{m} > \phi$	48%	32%	40%

Por conseguinte, temos de solo estudado uma porcentagem em massa de cerca de 78% de finos (silte e argila), com 22% de areia (fina, média e grossa).

Quanto ao valor encontrado para a massa específica dos grãos do solo, determinada mediante o método do picnômetro, foi encontrado o valor médio de 2,61g/cm³ característico.

Os limites de Atterberg foram determinados considerando as características específicas do solo orgânico, mediante a execução dos ensaios sem secagem prévia, fazendo-se uso de amostras com umidade inicial próximas às que apresentam na natureza, verificando-se como valores característicos de limite de liquidez (w_L) índices superiores a 50% para amostras na profundidade de 14,8m, bem como valores de w_L para o material superiores a 60% para a profundidade de 7,8m.

Em relação ao valor do limite plástico, foram encontrados os valores característicos de 30% para a profundidade de 7,8m, menores do que aqueles encontrados para a profundidade de 14,8m, onde a característica w_p foi de aproximadamente 42%, registrando-se, por conseguinte, maior os valores para o índice de plasticidade para a profundidade de 7,8m, onde registou valores de aproximadamente 24% para o índice.

Interessante destacar que no Gráfico de Plasticidade (figura 9) pode-se observar que os solos são mostrados posicionados em áreas que apresentam solos com elevada plasticidade, e indicam alguma influência do teor de matéria orgânica na amostra, coerente com a natureza argilosa do solo identificada na granulometria, denotando a natureza orgânica do solos, principalmente para as amostras com ocorrência à profundidade de 14,8m, em conformidade com os resultados encontrados nas campanhas para determinação do teor de matéria orgânica, classificando-se o solo como OH para a profundidade de 14,8, e obtida a classificação como CH para solos com ocorrência na profundidade de 7,8m.

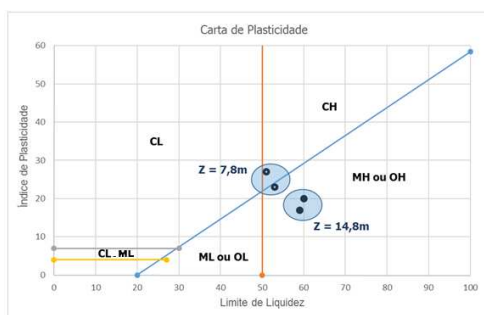


Figura 9. Solo estudado na Carta de Casagrande.

2.5. Determinação do conteúdo de matéria orgânica.

Em relação ao programa de sondagem geotécnica executado, além da realização de ensaios SPT em 150 furos, procedeu-se ao exame do teor de água, $w(\%)$, e o teor de matéria orgânica, $TMO(\%)$, por amostras coletadas em amostrador padrão, recolhidos em perfurações SPT, com o objetivo de adicionar informações obtidas a partir de várias geotécnicas ensaios *in situ* (CPTu, Vane e instrumentação).

A obtenção de amostras propiciou a elaboração de perfis de $w(\%)$ e $TMO(\%)$, com valores a cada 2 metros de profundidade. Foram utilizados dois métodos para determinar a $TMO(\%)$: Walkley-Black e ignição 250°C .

3 ANÁLISE DE RESULTADOS

3.1. Perfis de umidade e para o N_{SPT} .

As figuras 10 e 11 mostram os perfis para os valores de números de golpes em ensaio SPT e os correspondentes valores para o teor de umidade obtido mediante amostras tomadas no bico do cilindro amostrador.

Importante ressaltar que a ocorrência de valores menores para o número de golpes no ensaio SPT, ainda que o ensaio em comento possua restrições à sua utilização para a caracterização geotécnica de depósitos de solos muito moles ($N < 2$ golpes), coincidiu de forma bastante coerente com os estratos em que foram observados elevados valores para o teor de umidade (50 a 90%) e conteúdo de matéria orgânica no depósito, conduzindo a valores para índice de vazios da ordem de 1,83, variando de 1,05 a 2,35 entre as profundidades de 12 e 15m.

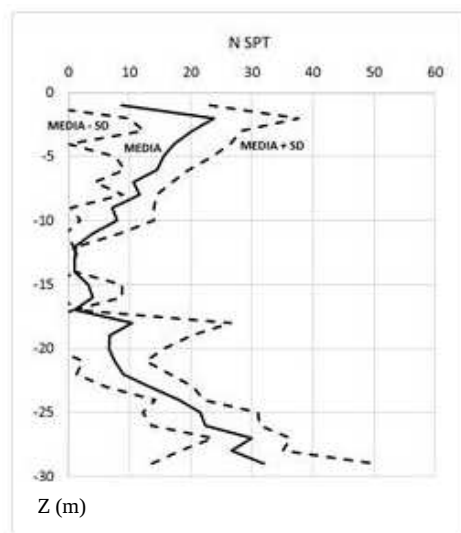


Figura 10. Perfil para N_{SPT} .

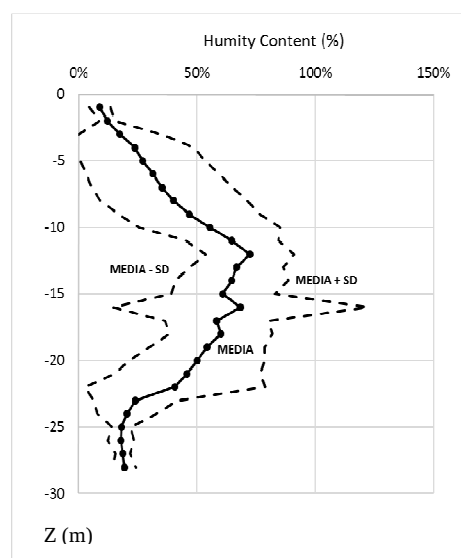


Figura 11. Perfil para umidade do solo.

Como mostrado nas figuras 9 e 10, perfis de teor de umidade indicados espessura significativa com os valores do parâmetro de cima de 50%, entre as profundidades de 10 a 20m, indicando a presença da camada de solo com uma consistência muito mole na espessura 10m, resultados consistentes com os perfis apresentado para CPTu e N_{SPT} a camada com muito baixos valores médios de parâmetros de resistência.

3.2. Perfis para o teor de matéria orgânica.

Observa-se nos perfis de conteúdo de matéria orgânica (figura 12) que o registro mais importante ocorre entre 14 a 18m profundidade, coincidindo com a ocorrência em profundidades

de menores valores para o N_{STP} e com valores mais elevados para o teor de umidade do solo, coincidindo com as profundidades das amostras estudadas para a determinação dos limites de Atterberg, considerando-se os valores limite de liquidez (w_L) maior do que 50%, com as amostras que têm a profundidade de 14,8m, e os valores do limite de plasticidade onde o w_p característica foi de aproximadamente 42%, indicando potencial importante da utilização de informações da determinação de matéria orgânica para aplicação em estudos geotécnicos para projeto de engenharia geotécnica.

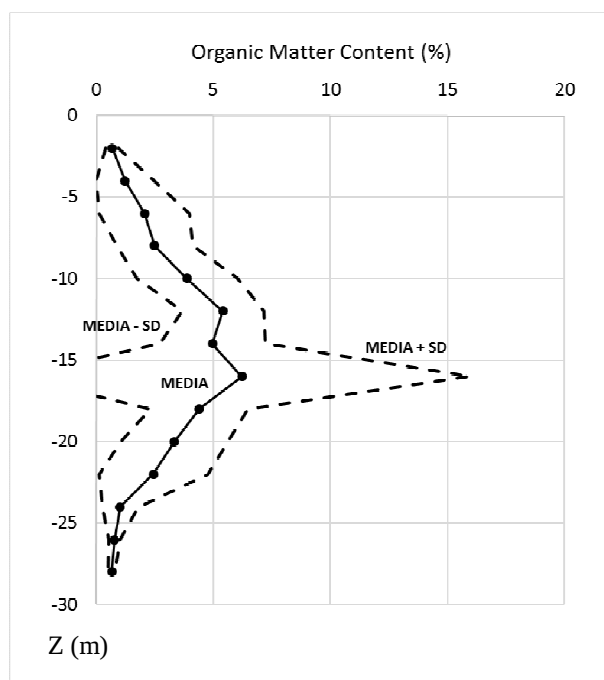


Figura 12. Perfil para o teor de matéria orgânica.

4 CONCLUSÕES

Os perfis obtidos para o teor de umidade e matéria orgânica, associados à definição da estratigrafia de depósito, constituíram um trabalho importante para a compreensão do problema geotécnico ocorrido no aterro rodoviário sobre solos moles no vale do rio Curimataú.

As amostras coletadas no bico do amostrador padrão em ensaios SPT, propiciaram a definição dos parâmetros de umidade e de conteúdo de matéria orgânica no solos, um importante recurso para acrescentar informações obtidas mediante os ensaios in situ realizados (CPTu,

Vane e instrumentações de dados).

A análise das informações contidas nos perfis de umidade e de matéria orgânica, associada à definição da estratigrafia de depósito, consiste, portanto, em importante contribuição para a avaliação da solução de engenharia a ser adotada para a estabilização do solo de fundação do aterro rodoviário sobre solos moles no vale do Curimataú.

Tendo em vista, portanto, a importância da ocorrência de conteúdo de matéria orgânica registrado nos perfis geotécnicos do depósito, caso seja decidido pela utilização de técnicas de reforço de solos mediante jet grouting ou técnicas assemelhadas, deverá ser observada adequadamente a acidez do solo, tendo em vista que valores para acidez Baumann Gully elevados o consumo de cimento pode até exceder o dobro em relação ao caso do material inorgânico/sem contaminação, bem como a água a utilizar na formulação da calda deve ser tratada para evitar a presença de agentes químicos que possam eventualmente afetar, desfavoravelmente, as propriedades da calda e dificultar o seu endurecimento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio ao Instituto Federal de Educação Tecnológica do Rio Grande do Norte e ao Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes pelo apoio, pela viabilização e autorização para divulgação concedida, bem como ao Centro Universitário Unifacex, pelas bolsas de pesquisa disponibilizadas.

REFERÊNCIAS

- Coutinho, R.Q. e Oliveira, J.R.T. (1997). *Geotechnical Characterization of a Recife Soft Clay - Laboratory and In Situ Tests*. Proc. XIV ICSMFE, Hamburg, Vol. 1, pp 69-72.
- Koshima, A., Guatteri, G., Lopes, J. R., e Pieroni, M. R. Consolidação de Solo Mole com Jet Grouting em Obras de Estabilização, Escavação e Fundações de Grandes Estruturas. XVI COBRAMSEG, 2012.
- MEC-3075-1252-PTG: Estudo Geotécnico Preliminar para Prosseguimento dos Aterros 4, 5 e 6 do Lote 2 – BR101, Moretti Engenharia Consultiva, 2009.

- Moretti Engenharia Consultiva / Consórcio CONSTRAN/GALVÃO/CONTRUCAP, 2009.
- Moraes C.M. Aterros Reforçados sobre Solos Moles – Análise Numérica e Analítica (Dissertação de Mestrado), Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2002.
- Norma DNER-PRO 381/98: Projeto de Aterro sobre Solos Moles para Obras Viárias, 1998, 34p.
- Schnaid, F. Ensaios de Campo e suas Aplicações à Engenharia de Fundações. São Paulo: Ed. Oficina de Textos, 2000, 198p.
- Ministério dos Transportes: BR-101/RN Projeto Executivo. DNIT: DPP, Setembro/2004.
- Rodrigues, D. S. N. (2009) -- jet grouting – controlo de qualidade em terrenos do miocénico de Lisboa. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geológica) – Universidade Nova de Lisboa. P. 43-44.
- Ruver, C. A., Bristot, A. e Machado, C. R. (2014) – Influência da Matéria Orgânica na Estabilização de Solos Tratados com Cimento -Goiânia- XVII COBRAMSEG.
- Silva, A.C., Torrado, P.V. e Abreu Júnior, J.S. Revista da Universidade Alfenas, Vol. 5, pp. 21-26, 1999.