

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Investigações Geotécnicas de Campo para Medição das Resistências de Solos na Rodovia do Contorno Oeste de Boa Vista/RR e Solução aos Aterros sobre Solos Moles

Rideci Farias, D. Sc.

UCB / CEUB, Brasília/DF, Brasil, rideci.farias@gmail.com

Beatriz Lopes, B. Sc.

CEUB, Brasília/DF, Brasil, beatriz.lopes@sempreub.com

Haroldo Paranhos, M. Sc.

CEUB / Reforsolo Engenharia, Brasília/DF, Brasil, reforsolo@gmail.com

RESUMO: Dentre outros desafios, os aterros sobre solos moles têm se mostrado inspiradores aos engenheiros geotécnicos, projetistas e executores, a buscarem soluções desafiadoras. Nessa temática, o professor Márcio Almeida, um dos maiores conhecedores do assunto, cita que esses desafios já resultaram em sucessos e memoráveis rupturas em obras assentes em solos moles. Em geral, são considerados solos moles, materiais de alta plasticidade, em alguns casos ricos em matéria orgânica, com $N_{spt} \leq 4$. Assim, apresenta-se breves considerações sobre solos moles, mas também resultados com análises e discussões de estudos geotécnicos realizados na Rodovia Contorno Oeste de Boa Vista (BR 174), no Estado de Roraima, visando a determinação da resistência de solos por meio de Ensaio de Palheta in situ (Vane Test), de acordo com a ABNT NBR 10905: 1989 (MB-3122). Os estudos consistiram na execução de “Investigações Geotécnicas de Campo” em trechos compreendidos por 11 estacas da referida Rodovia. Em consideração aos resultados, verificou-se que as camadas de solos moles nos trechos estudados têm espessuras “médias” variáveis de trecho para trecho com mínimas próximas de 2,0 metros e máximas que ultrapassam 6,0 metros. Ademais, os aterros existentes da pista antiga, localizados nos trechos estudados, indicam a presença de solos de baixa capacidade de suporte sob o corpo dos aterros. Adicionalmente aos estudos propõe-se soluções aos aterros sobre solos de baixa capacidade de suporte.

PALAVRAS-CHAVE: Rodovia Contorno Oeste da Boa Vista; Aterro; Solo Mole; Resistência.

ABSTRACT: Among other challenges, landfills on soft soils have been inspiring geotechnical engineers, designers and executors to seek challenging solutions. On this context, professor Márcio Almeida, one of the most knowledgeable on the subject, mentions that these challenges have already resulted in successes and memorable ruptures in works based on soft soils. In general, soft soils are considered to be materials of high plasticity, in some cases rich in organic matter, with $N_{spt} \leq 4$. Thus, brief considerations about soft soils are presented, but also results with analyzes and discussions of geotechnical studies carried out in the Contorno Oeste de Boa Vista Highway (BR 174), in the State of Roraima, aiming to determine the resistance of soils through in situ Vane Tests, according to ABNT NBR 10905: 1989 (MB-3122). The studies consisted of carrying out “Field Geotechnical Investigations” in stretches comprising 11 stakes of the aforementioned Highway. Considering the results, it was found that the soft soil layers in the studied stretches have variable “average” thickness from stretch to stretch, with minimums close to 2.0 meters and maximums that exceed 6.0 meters. Furthermore, the existing embankments, from the old lane, located in the studied stretches, indicate the presence of soils with low support capacity below the body of the embankments. In addition to the studies, solutions are proposed for landfills on soils with low carrying capacity.

KEYWORDS: Contorno Oeste da Boa Vista Highway; landfill; soft soils; resistance.



1 Introdução

Este trabalho apresenta os resultados dos estudos geotécnicos realizados na Rodovia do Contorno Oeste de Boa Vista, estado de Roraima (RR), com vistas à determinação da resistência de solos por meio de ensaios de palheta “in situ” (Vane Test), de acordo com a ABNT NBR 10905: 1989 (MB-3122). Adicionalmente, para subsídio às análises dos ensaios de palheta e também melhor compreensão das propriedades geotécnicas dos materiais para o projeto de aterro sobre solos moles, foram executados ensaios com Penetrômetro Dinâmico Leve (PDL) de acordo com recomendações da DIM 4094 e ISSMFE, de 1989, e em atendimento com o procedimento do antigo Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (DNER-PRO 381/98) coleta de amostra Shelby, determinação da espessura da camada, ensaios de caracterização e resistência de solos. Entretanto, neste trabalho são apresentados e analisados os ensaios de palheta “in situ” realizados na área em questão.

2 Considerações Iniciais

No desenvolvimento deste trabalho procurou-se um amplo levantamento bibliográfico de aterros sobre solos moles, mas também informações que pudessem representar mais fielmente o conhecimento geotécnico da região estudada.

São considerados solos moles, os materiais ricos em matéria orgânica, com alta plasticidade e $N_{spt} \leq 4$, depósitos de solos orgânicos, areias muito fofa, turfas ou solos hidromórficos, em geral, passíveis de ocorrerem em zonas baixas alagadiças; mangues e brejos; várzeas de rios de baixo gradiente hidráulico; antigos leitos de cursos d'água; planícies de sedimentação marinha ou lacustre. Têm propriedades físicas que podem variar, resultando em mudanças de comportamentos dentro de um mesmo depósito. Como características há grande compressibilidade, baixa resistência, pequena permeabilidade e baixa consistência. A caracterização dos depósitos de solos moles tem como objetivo orientar e dar subsídio a projetos rodoviários a fim de evitar ônus futuros como deformações excessivas, trincas e rupturas de taludes.

De uma forma geral os aterros sobre solos moles são definidos em três classes: Classe I, II e III (DNER 381, 1998), conforme características específicas.

2.1 Ensaio de Palheta In Situ (Vane Test)

Tem por finalidade medir a resistência não drenada ao cisalhamento dos solos puramente coesivos. No Brasil a norma que rege o ensaio é a ABNT NBR 10905:1998.

Segundo Almeida (1996), o ensaio de palheta “in situ” é o mais utilizado para a determinação da resistência não drenada C_u do solo mole, consistindo na rotação constante de 6° por minuto de uma palheta cruciforme em profundidades pré-definidas. A medida do torque versus rotação permite a determinação dos valores de C_u . A Tabela 1 apresenta os estados de consistência para solos em função do índice de resistência à penetração “N” obtido nos ensaios de SPT, tomando como base o Anexo “A” da NBR 6484/2020.

Tabela 1. Estado de consistência dos solos (ABNT NBR 6484: 2020).

Solo	N	Designação
Argilas e siltes argilosos	≤ 2	Muito mole
	3 a 5	Mole
	6 a 10	Média(o)
	11 a 19	Rija(o)
	20 a 30	Muito rija(o)
	> 30	Dura(o)

Para a determinação da resistência não drenada do solo (C_u), utiliza-se a Equação 1:

$$C_u = \left[\frac{T}{\pi \left(D^3 + \frac{D^3}{6} \right)} \right] \cdot \frac{1}{100} \quad (1)$$

Em que: C_u = Resistência não drenada do solo, em kPa; T = Torque máximo do solo em kgf.m; D = Diâmetro da palheta; $\pi = 3,1416$.



2.2 Sensitividade das Argilas

A resistência das argilas depende do arranjo entre os grãos e do índice de vazios em que se encontra. A consistência após o manuseio (amolgada) pode ser menor do que no estado natural (indeformado). Este fenômeno ocorre de maneira diferente e foi chamado de sensitividade da argila.

A sensitividade pode ser bem visualizada por meio de dois ensaios de compressão simples. O primeiro com a amostra no seu estado natural. O segundo, com um corpo de prova feito com o mesmo solo após completo remoldamento, mas com o mesmo índice de vazios. Para a determinação da sensitividade da argila, utiliza-se a Equação 2:

$$S = \frac{\text{Resistência no estado indeformado}}{\text{Resistência no estado amolgado}} \quad (2)$$

Quanto à sensitividade as argilas são classificadas conforme a Tabela 2. Ressalte-se que quanto maior o grau de sensitividade menor é a capacidade de suporte do solo.

Tabela 2. Classificação das argilas quanto à sensitividade.	
Sensitividade	Classificação
1	Insensitiva
1 a 2	Baixa sensitividade
2 a 4	Média sensitividade
4 a 8	Sensitiva
> 8	Ultra-sensitiva

2.3 Ensaio Penetrômetro Dinâmico Leve (DPL)

O DPL, especificado na Referência Internacional para Procedimentos de Ensaio para Sondagem Dinâmica (DP) (ISSMFE, 1989), é um equipamento de campo manual de pequeno porte, projetado para uso em sondagens com profundidade máxima de 21 m. Sondagem adequada para projetos de pequena a média profundidade, complementando-se e correlacionando-se a outros estudos. É ideal para utilização em locais de difícil acesso como: várzeas, taludes e locais fechados. Com boa penetrabilidade em solos fofos/moles e mediantemente rijos, sendo possível ainda a utilização em camadas de areia e pedregulho mediantemente compactados. O ensaio fornece atrito lateral e resistência de ponta, permitindo uma ligeira avaliação tátil-visual do solo por meio de ranhuras presentes nas hastes e identificação do nível d'água.

O DPL visa caracterizar e determinar a resistência à penetração dos depósitos de solos de baixa capacidade de suporte. Este ensaio auxilia na determinação da resistência dos solos nas áreas onde o ensaio de Palheta torna-se inviável tecnicamente, como por exemplo: em solos granulares, solos não saturados e solos com alta permeabilidade. As Figuras 1 e 2 mostram os componentes do equipamento Penetrômetro Dinâmico Leve (DPL).



Figura 1. Componentes para o ensaio DPL.



Figura 2. Ponta do DPL para penetração no solo.

3 Caracterização do Município de Boa Vista

Boa Vista (Latitude: 2° 49' 10" Norte e Longitude: 60° 40' 17" Oeste) é um município brasileiro, capital do estado de Roraima, região Norte do país. Situa-se na margem direita do Rio Branco e está localizado a 76 metros de altitude. É a capital mais setentrional do Brasil e a única localizada totalmente ao norte da linha do Equador, e a mais distante de Brasília, capital federal. Possui, segundo IBGE, área de 5.687,037 km² e população estimada em 2019 de 399.213 habitantes.



Figura 8. Execução de ensaio DPL.



Figura 9. Preparação para execução do ensaio “vane-test”.

6 Apresentação e Análises de Resultados dos Perfis dos Solos Estudados

No total foram estudados 3 (três) trechos, conforme mostra a Tabela 3, em que são apresentados o comprimento aproximado de cada trecho com as estacas correspondentes.

Tabela 3. Trechos em que foram realizados os ensaios “Vane-Test”.

Trecho	Comprimento Aproximado (m)	Estacas
01	160 m	181, 183, 186 e 188
02	140 m	378, 380, 382 e 384
03	140 m	425, 427, 429+15

As Figuras 10, 11 e 12 apresentam os perfis de resistência não drenada x profundidade medida por meio dos ensaios de palheta para os Trechos 01, 02 e 03. Em seguida, nas Figuras 13, 14 e 15, a resistência não drenada amolgada nas mesmas profundidades. Em complemento, as Figuras 16, 17 e 18, mostram resultados de sensibilidade dos solos x profundidades.

Em consideração a resistência não drenada do Trecho 01 (Figura 10), verifica-se certa variabilidade nos valores medidos, com máxima resistência não drenada próxima a 130 kPa até a profundidade de 4,0 metros nas estacas 181 e 188.

A resistência não drenada para o Trecho 02 (Figura 11), na profundidade de 0,50m apresentou valores de 39 kPa até 76 kPa com decréscimo até próximo a profundidade de 4,5m, para posterior aumento até a profundidade de 6,0 m nas estacas 378; 380 e 384. Entretanto, na estaca 382 o solo apresentou resistência aquém das verificadas nas outras três estacas. É possível que os valores maiores na camada de 0,5m se relacionem a ressecamento da camada superficial, não representado confiabilidade na resistência dessa profundidade, pois, essas camadas se sujeitam a variação de resistência nos períodos de secagem e estiagem.

Em análise ao trecho 03 (Figura 12) verifica-se resistência superior na camada inicial, a exemplo do verificado no trecho 02, com decréscimo nas camadas inferiores. Para as estacas 425 e 429 + 15, percebe-se a elevação da resistência não drenada a partir da profundidade aproximada de 3,5m. Tal fato não verificado na estaca 427, em que a resistência se manteve ou diminuiu até a profundidade de 6,0m.

Em observação à resistência não drenada amolgada para o trecho 01 (Figura 13) verifica-se certa tendência inicial até próximo a profundidade de 2,0 m. Em seguida há um ganho considerável de resistência na estaca 181, com valores próximos a 130 kPa. Para a estaca 183 observa-se uma certa variabilidade com crescente aumento a partir de 4,5 m até a profundidade de 6,5 m. É possível que a grande variabilidade de resistência das estacas 181 e 183 se dê pelo fato de que o solo da área estudada é composta por solo sedimentar, que é um solo transportado, e sujeito bastante a variabilidades na resistência.

Em relação à resistência não drenada amolgada no trecho 02 (Figura 14) há comportamento semelhante para as estacas 380; 382 e 384 até a profundidade 2,5m com resistência máxima inferior a 20 kPa. Verifica-se também ganho de resistências superiores a 70 kPa para as estacas 378 e 384. Esse trecho é caracterizado em geral por um solo considerado mole, já que em sua maioria, as estacas não ultrapassam o valor de 50 kPa de resistência.

Em consideração a resistência não drenada amolgada para o Trecho 03 (Figura 15), verifica-se certa variabilidade nos valores iniciais medidos, porém a partir da profundidade de 1,0 m há certa tendência com resistências chegando ao máximo de aproximadamente 23 kPa, com exceção da estaca 429+15 que tem



considerável ganho de resistência a partir de 4,5 m, chegando próximo a 71 kPa. A média de resistência das três estacas é de 40,67 kPa, sendo caracterizado então como solo mole.

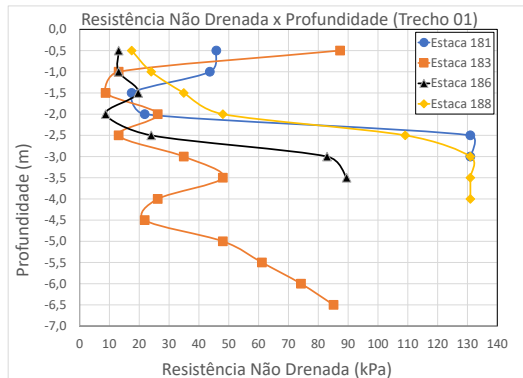


Figura 10. "Vane-Test" para trecho 01.

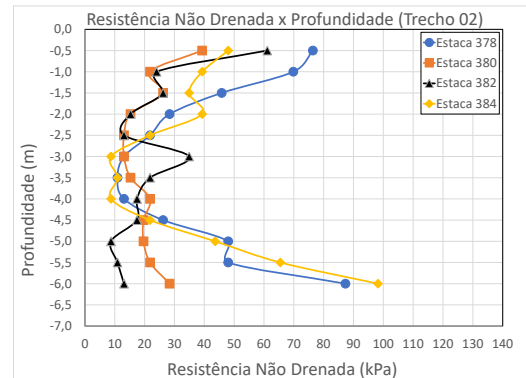


Figura 11. "Vane-Test" para trecho 02.

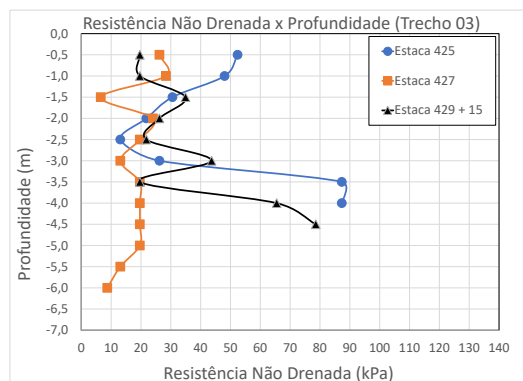


Figura 12. "Vane-Test" para trecho 03.

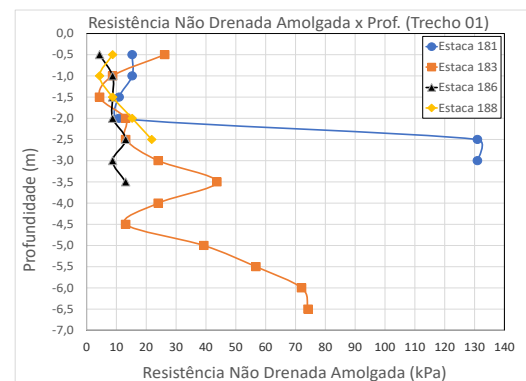


Figura 13. Resistência não drenada amolgada x profundidade para trecho 01.

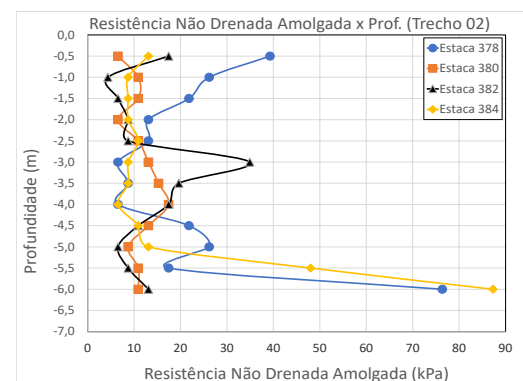


Figura 14. Resistência não drenada amolgada x profundidade para trecho 02.

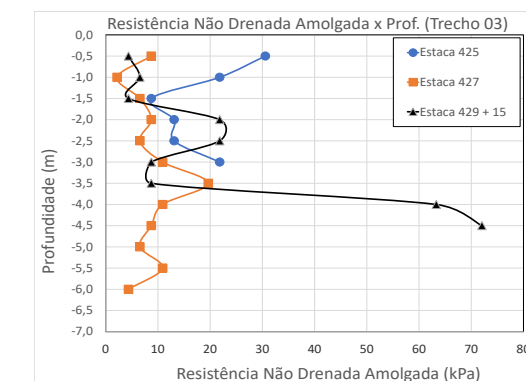


Figura 15. Resistência não drenada amolgada x profundidade para trecho 03.

No Trecho 01 (Figura 16) verifica-se uma certa tendência inicial das estacas 181, 183 e 186 até a profundidade de 2,5 m, com as resistências máximas de 3 kPa, e acréscimo considerável de sensibilidade para a estaca 186, chegando ao valor aproximado de 9,5 kPa, indicando ultra-sensibilidade do solo, com um posterior decréscimo próximo a 7 kPa na profundidade de 3,5 m e comportamento sensível. Já a estaca 188 não segue a mesma disposição das demais, pois tem uma variabilidade de acréscimos e decréscimos de sensibilidade ao longo das profundidades de 0,5 m e 2,5 m.

No Trecho 02 (Figura 17) a sensibilidade apresentou valores entre 3,5 e 5,5 até 1,5 m para as estacas 382 e 384 com comportamento entre média sensibilidade a sensível. Entre 2 a 6 m de profundidade o solo se comportou com valores indicativos até média sensibilidade.

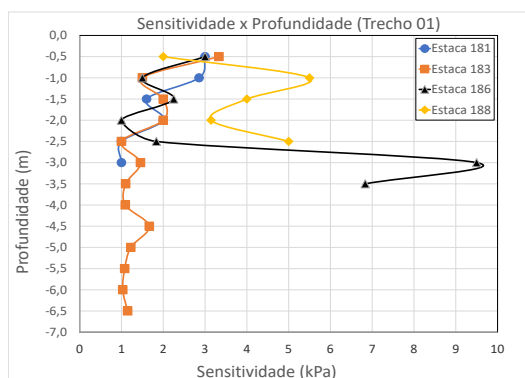


Figura 16. Sensitividade x profundidade trecho 01.

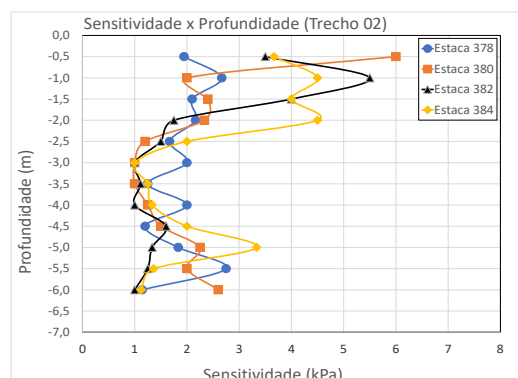


Figura 17. Sensitividade x prof. trecho 02.

Ao se analisar a sensibilidade para o Trecho 03 (Figura 18) verifica-se valor elevado até 1,0 m para a estaca 427, chegando a uma resistência próxima de 5,2 vezes maior que a média das resistências das estacas 425 e 429+15. A partir da profundidade 2m o valor máximo da sensibilidade foi de 5kPa indicando comportamento até sensitivo.

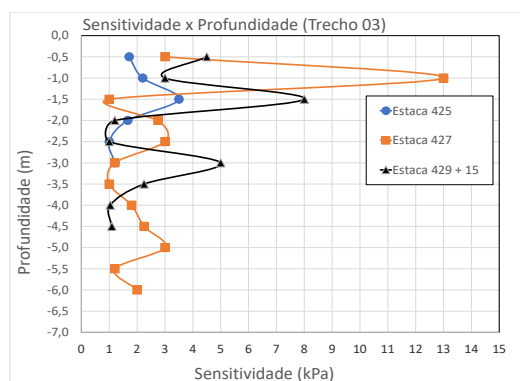


Figura 18. Sensitividade x profundidade trecho 03.

6 Considerações / Recomendações Finais

A NBR 6484 Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio, é considerado solo muito mole a mole quando $NSPT \leq 5$, porém no trabalho em questão, considerou-se solo mole quando $NSPT \leq 4$ e resistências até 50 kPa. Nesse contexto, apresenta-se principais considerações ao estudo realizado.

a) Camada de solo mole com espessuras inferiores a três metros

Com os resultados obtidos conclui-se que os solos estudados, de forma geral, apresentam baixa capacidade de suporte, e que para resolver os problemas no que diz respeito ao adensamento e a estabilidade de aterros a serem construídos nas áreas de ocorrência de solos compressíveis, é necessário que haja a remoção dos mesmos. Recomenda-se a remoção completa, ou seja, a base da remoção deverá se situar sobre o material com boas qualidades de suporte, evitando-se remanescentes de solos compressíveis que podem ocasionar problemas futuros.

Com o objetivo de estabilizar possíveis bolsões de solo mole remanescente, recomenda-se lançar uma camada de pedra rachão (material pétreo de tamanhos variáveis, geralmente com até 20 cm de diâmetro).

Outra importante recomendação é a implementação de um sistema de drenagem do tipo trincheira drenante (1,50m de profundidade x 0,50m de largura) associada ao colchão drenante (0,40 m de espessura), na base do aterro, em que além da principal função (drenar) ele colabora efetivamente com a redução dos recalques diferenciais e aumento da resistência pela eliminação da água. Reduz também a ascensão capilar causada em aterros compactados com solos silto-argilosos.

b) Camada de solo mole com espessuras superiores a três metros

Para os aterros sobre solos de baixa capacidade de suporte e com alturas superiores a três metros, é recomendada uma limpeza e regularização superficial da área, com equipamentos leves ou manualmente.



Sobre a camada regularizada, recomenda-se lançar uma camada de pedra rachão até a estabilização. Sobre a camada já estabilizada é recomendado a execução de um sistema de drenagem composto por um colchão drenante (0,40 m de espessura), usando como filtro um geotêxtil não tecido com resistência à tração mínima de 31 kN/m e trincheira drenante nos perímetros (1,50m de profundidade x 0,50m de largura), associada ao colchão drenante. Sobre este colchão drenante deverá ser colocada outra camada de geotêxtil não tecido com resistência à tração mínima de 31 kN/m antes do lançamento do aterro compactado.

Dependendo da necessidade, com relação ao tempo de execução do aterro compactado, poderão ser executados drenos verticais (geodrenos) com o objetivo de acelerar os recalques e/ou uso de geogrelhas para minimizar os recalques diferenciais. Ademais, ressalte-se a existência de outras soluções que poderão ser analisadas a depender de situações particulares. Tais soluções incluem utilização de aterros leves com poliestireno expandido (EPS), bermas de equilíbrio, sobrecarga temporária, construção em etapas, dentre outras tecnicamente possível e economicamente viável.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Católica de Brasília (UCB), Centro Universitário de Brasília (UniCEUB) e Reforsolo Engenharia, que com contribuições importantes tornaram possível a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Atlas de Vulnerabilidade a Inundações - Roraima. Acesso em 29 abr. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10905: Solo – Ensaio de palheta in situ – Método de ensaio. ABNT, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6484: Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio. ABNT, 2020.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER 381: Projeto de aterros sobre solos moles. DNER, 1998.

CIDADE BRASIL MUNICÍPIO DE BOA VISTA/RR. Disponível em: <https://www.cidade-brasil.com.br/municipio-boavista.html>. Acesso em: 21 abr. 2020.

EMBRAPA. Solos do Brasil. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs/solos-do-brasil>. Acesso em 15 mai. 2020.

FARIAS, Rideci. Investigações geotécnicas de campo para medição das resistências de solos na rodovia do contorno Oeste de Boa Vista. Relatório. Brasília/DF: mar. 2008.

GOVERNO DE RORAIMA. Disponível em: http://www.portal.rr.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=33:empresas-e-profissionais-de-comunicacao&catid=25. Acesso em 21 abr. 2020.

MACHADO, L. V. S. S. Avaliação do deslocamento vertical de aterro sobre solo mole executado no projeto de duplicação da BR-101/PE. 2012. Tese (Pós-Graduação em engenharia civil) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

MUSEU DE SOLOS DE RORAIMA. Solos de Roraima. Disponível em: http://ufr.br/museusolos/index.php?option=com_content&view=article&id=66&Itemid=267. Acesso em: 15 mai. 2020.

[https://pt.wikipedia.org/wiki/Boa_Vista_\(Roraima\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Boa_Vista_(Roraima)). Acesso em: 21 abr. 2020.

VALE JÚNIOR, J.F; LEITÃO SOUSA, M.I. Caracterização e Distribuição dos solos das Savanas de Roraima. In: BARBOSA, R. I.; XAUD, H. A. M.; SOUZA, J. M. C. SAVANAS DE RORAIMA – Etnoecologia, Biodiversidade e Potencialidades Agrossilvipastoris. FEMACT. Boa Vista – Roraima, 2005. 201p