

ANÁLISE DA VIABILIDADE DE USO RODOVIÁRIO DE UM LATOSSOLO DE SÃO LUÍS, MARANHÃO, BRASIL

ANALYSIS OF THE FEASIBILITY OXISOL FOR ROAD PURPOSES IN SÃO LUIS, MARANHÃO, BRAZIL

SEDAN FILIPH GUSMÃO SILVA¹, RODRIGO DA CRUZ DE ARAUJO^{2*}

1. Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Maranhão; 2. Professor Doutor, Área de Geotecnia do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará; anteriormente do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Maranhão de 2015 a 2023.

* Rua Augusto Correa, número 1, Guamá, Belém, Pará, Brasil. CEP: 66075-110. rodrigocruz@ufpa.br

Recebido em 11/03/2025. Aceito para publicação em 19/03/2025

RESUMO

O conhecimento geotécnico é imprescindível para qualquer obra de engenharia civil, trazendo suporte, tranquilidade e segurança. A cidade de São Luís - MA não conta com uma vasta base de dados geotécnicos, o que faz necessário trazer cada vez mais estudos que ofereçam clareza e entendimento do comportamento dos solos locais. Este trabalho busca trazer resultados de uma amostra de solo da formação geológica do Itapecuru submetida a ensaios usuais como granulometria, limites de liquidez e de plasticidade, compactação e CBR (*California Bearing Ratio*). O solo foi classificado no SUCS (Sistema Unificado de Classificação de Solos), HRB (*Highway Reserve Board*) e IG (Índice de Grupo), não apresentando limites de plasticidade e liquidez, obtendo como resultados da compactação para energia modificada, massa específica aparente máxima 2,078 g/cm³ e umidade ótima 9,3%. Quanto ao ensaio CBR o solo apresentou expansão de 0,02% e ISC de 46%. Por esses resultados, conclui-se que o material se enquadra como indicado pelo DNIT para camadas finais de terraplanagem em cortes ou aterros e corpo de aterro, mas não atende requisitos para uso em camadas de pavimento.

PALAVRAS-CHAVE: Latossolo; compactação; ensaio CBR.

ABSTRACT

Geotechnical knowledge is essential for any civil engineering work, bringing support, tranquility and safety. The city of São Luís - MA does not have a vast geotechnical database, which makes it necessary to bring more and more studies that offer clarity and understanding of the behavior of local soils. This work aims to present results of a soil sample from the geological formation of Itapecuru submitted to usual tests such as granulometry, liquidity and plasticity limits, compaction and CBR (*California Bearing Ratio*). The soil was classified in the SUCS (Unified Soil Classification System), HRB (*Highway Reserve Board*) and IG (Group Index), showing no limits of plasticity and liquidity, obtaining as compaction results for modified energy, maximum apparent specific mass 2.078 g/cm³ and optimum moisture 9.3%. As for the CBR assay, the soil showed an expansion of 0.02% and an ISC of 46%. From these results, it is concluded that the material fits as indicated by the DNIT

for final layers of earthwork in cuts or embankments and embankment body, but does not meet requirements for use in pavement layers.

KEYWORDS: Oxisol; compaction; CBR test.

1. INTRODUÇÃO

As propriedades físicas e mecânicas dos solos sempre foram historicamente estudadas pela engenharia, tendo o objetivo de conhecer este meio que muitas vezes se apresenta incerto. A necessidade de prever o comportamento dos solos é essencial para se evitar altos custos e acidentes. A investigação do solo e busca de informações preliminares balizam as definições técnicas para um melhor custo-benefício, pois se entende com os dados a melhor opção ou tipo de solução necessária, reduzindo assim custos e incertezas.

O presente trabalho se justifica, então, pela escassez de trabalhos científicos de caracterização geotécnica dos solos em São Luís, o que ocasiona muitas vezes resultados ineficientes. No Maranhão, especificamente, podem ser citados casos de acidentes geotécnicos, tais como pistas que cederam como observou-se na BR-222 no KM 189 na cidade Buricupu e deslizamentos de terra, como os observados no bairro do Sacavém em São Luís, que causaram perdas materiais e ameaça à integridade física da população.

Nesse contexto, o presente estudo de caso tem como objetivo avaliar por meio de ensaios de caracterização básica (granulometria, limites de liquidez e de plasticidade), compactação e CBR a viabilidade de utilização de um latossolo da cidade de São Luís-MA para terraplanagem e camadas de pavimentos.

Solo

O solo pode ser entendido como um acúmulo de partículas inconsolidadas com diâmetros e composição químicas diferentes incluindo os vazios, preenchidos total ou parcialmente por água e/ou ar, conforme Antunes *et al* (2015)¹. A Embrapa (s.d.)² define o solo

como: “um sistema aberto entre os diversos geocossistemas do nosso Planeta, que está constantemente sob ação de fluxos de matéria e energia”. A formação dos solos ocorre pela desintegração e/ou decomposição de rochas por meio de agentes físicos, químicos e biológicos, tais como temperatura, água e a presença de fauna e flora^{3,4}.

Os solos lateríticos são típicos de regiões tropicais, descritos desde as primeiras décadas do século passado tanto no continente africano quanto no sul-americano (bacia amazônica) são associados a solos bem desenvolvidos. Resultantes de um processo geoquímico conhecido como laterização, estes tipos de solo apresentam normalmente tons que variam entre vermelho e amarelo sendo as frações finas do solo representadas por argilominerais do grupo caulinita^{1,5}.

Compactação

Entende-se por compactação o processo que busca melhorar algumas propriedades do solo mediante da redução do volume de vazios, que pode ser feito por equipamento mecânico ou manualmente^{6,7}. Conforme explicam Knappett & Craig (2014)⁸, em termos gerais, quanto maior a compactação maior é a resistência ao cisalhamento. Dentre os principais benefícios geotécnicos da compactação podem-se citar o aumento da densidade, da resistência ao cisalhamento e da capacidade de suporte.

Para Pinto (2013)⁴, a compactação tem em vista dois aspectos básicos: aumentar o contato entre os grãos e tornar o aterro (solo) mais homogêneo. Santos (2008)⁹ considera a compactação um processo no qual ocorre o aumento da resistência do solo, diminuindo sua deformabilidade, ocorrendo a diminuição da permeabilidade. Brito (2006)⁶ considera que este fato é muito importante, pois a compactação dificulta o arraste de partículas finas do solo, contribuindo para afastar um possível colapso da obra.

Na Engenharia Civil, a compactação é utilizada em diversas obras, como aterros rodoviários e ferroviários, camadas constitutivas dos pavimentos, construção de barragens, aeroportos, preenchimento do espaço atrás de muros de arrimo e obras que necessitem de terraplenos. Para cada tipo de obra e tipo de solo disponível será necessário obter a maior densidade possível do solo para uma maior segurança e estabilidade⁷.

Índice de Suporte Califórnia (ISC)

Índice de Suporte Califórnia (ISC), popularmente referido como CBR (*California Bearing Ratio*) é o ensaio formulado por O. J. Potter, que consiste em medir a resistência à penetração de uma amostra compactada saturada (submersa por 4 dias) em relação a uma pressão-padrão em pedra britada. Por meio do ensaio CBR é possível conhecer a expansão de um solo saturado sob um pavimento e ainda obter dados que indicam a perda de resistência do solo quando se chega próximo à saturação¹⁰. Apesar de seu caráter empírico, o ensaio CBR é mundialmente difundido e serve de

base para vários métodos de dimensionamento de pavimentos¹⁰. O CBR, segundo Senço (2007)⁷, é uma das características mais bem aceitas para avaliar o comportamento do solo para uso de pavimentação, seja para fundação do pavimento ou para suas outras camadas. Entretanto, esse ensaio recebe algumas críticas quanto à sua confiabilidade quando se trata de solos granulares, pois a imersão dos corpos de prova não parece ter grande efeito sobre o resultado dos ensaios. Em oposição, os solos argílicos ou com alto teor de finos são bastante afetados pelas pressões devido ao fenômeno de expansão. Para estes, os ensaios são realizados variando as condições de umidade e densidade, usando três formas de energia: normal, intermediária e modificada.

Correlações do CBR

Existem muitas pesquisas que buscaram correlacionar o CBR a alguns parâmetros do solo, porém há divergências quanto aplicabilidade destas correlações, devido a uma série de fatores tais como, variabilidade do material, condições de controle e execução de ensaios e padrões de ensaios diferentes¹⁰.

Tabela 1. CBR x IG

CBR	IG
2	20
3	16
4	13
5	11
7	8
10	5
15	2
20	0

Fonte: Senço (2007)⁷.

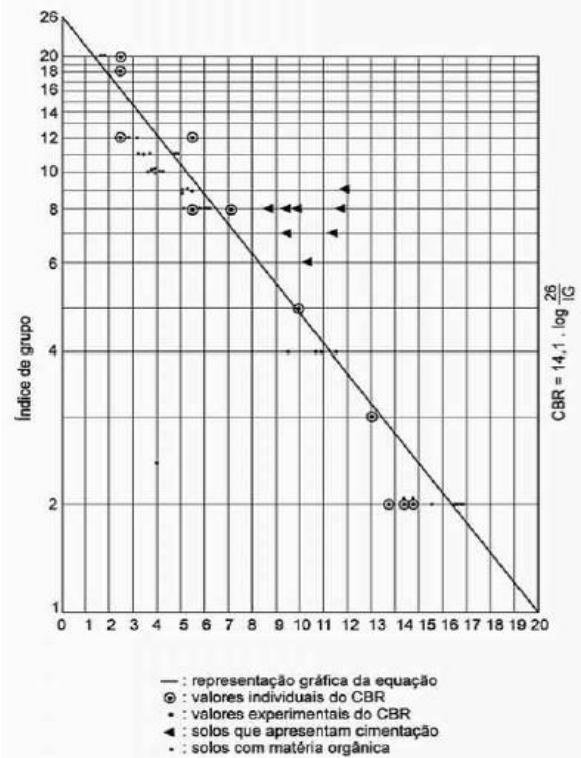


Figura 1. Relação entre valores calculados e obtidos experimentalmente. Fonte: Senço (2007)⁷.

Ainda segundo Milléo (2012)¹⁰, há uma certa previsibilidade dos valores do CBR quanto à natureza dos materiais. O sistema de classificação Highway Reserve Board (HBR) pode, preliminarmente, ajudar na seleção de solos para a realização de ensaios CBR.

O sistema de classificação do solo HBR é um aperfeiçoamento do antigo Public Roads Administration, proposto em 1929. Atualmente, HRB é chamado de Transportation Research Board (TBR) e é amplamente utilizado no meio rodoviário para classificar solos¹¹.

Milléo (2012)¹⁰ relata que em 1945 foi publicada nos anais da HRB uma versão da classificação que propôs uma subdivisão de alguns dos grupos da classificação original com a introdução do conceito de Índice de Grupo (IG), número que fornecia dados para o dimensionamento de pavimentos. De acordo com Senço (2007)⁷ o Laboratório de Ponts e Chaussés procurou relacionar o CBR com Índice de Plasticidade e Limite de Liquidez, os resultados foram ampliados posteriormente nos EUA por R. E. Livingsston, que fez a correlação do CBR com o IG conforme a Tabela 1 e Figura 1. Contudo, conforme ressalta Senço (2007)⁷ os resultados não deveriam ser aceitos rigorosamente.

Critérios mínimos para utilização do solo com base no CBR

De acordo com manual implantação básica do DNIT (2010)¹¹, são aceitos os seguintes valores para expansão obtida no ensaio CBR:

Para camadas finais de terraplenagem, em cortes ou aterros: expansão < 2%.

Para corpo de aterros: expansão < 4%.

O Manual de implantação básica do DNIT (2010) ainda recomenda para a capacidade de suporte (ISC), o uso dos melhores materiais, dentre os disponíveis, nas camadas finais e no corpo dos aterros. Apresentando a correspondência usualmente adotada entre o valor do ISC e a qualidade do material, conforme Tabela 2 (DNIT, 2010)¹¹.

Para uso em camadas de pavimentos o antigo DNER (2006)¹⁸, recomenda utilizar para base, quando o N (número de repetições dos eixos dos veículos) for maior que 5×10^6 , $CBR \geq 80\%$, e expansão $\leq 0,5\%$ e para N menor que 5×10^6 , $CBR \geq 60\%$ e expansão $\leq 0,5\%$, ambos utilizando a energia modificada. Já para sub-base, a norma não especifica o N, sugerindo apenas $CBR \geq 30\%$ e a expansão $\leq 1,0\%$, para o ensaio usando a energia intermediária (DNER, 2006)¹⁸.

Tabela 2. Correspondência entre ISC e qualidade do material

ISC/CBR	Qualidade do material
≥ 60	Excelente
20 a 60	Muito bom
10 a 20	Bom
5 a 10	Regular
2 a 5	Ruim
≤ 2	Péssimo

Fonte: DNIT(2010)¹¹

2. MATERIAL E MÉTODOS

Um latossolo típico da região de São Luís-MA foi

escolhido com o intuito de avaliar a qualidade dele para a execução de aterros e camadas de pavimento. A amostra foi retirada da jazida Newton (Figura 2), situada na cidade de São Luís-MA no bairro do Turu, mais precisamente na latitude $2^{\circ}28'38.5''S$ e longitude $44^{\circ}12'55.6''W$. Trata-se de um Latossolo Amarelo pertencente a formação geológica do Itapecuru.

O solo foi submetido aos seguintes ensaios: granulometria, índices de consistência, compactação e Índice de Suporte Califórnia (ISC/CBR). Primeiro a amostra do solo foi preparada de acordo com a NBR 6457¹² e para esse fim, foram secas ao ar, realizando, nesse período, o desmanche dos torrões existentes de forma a homogeneizar o volume de solo coletado. Após seco, o solo foi submetido a realização de alguns ensaios de caracterização, como granulometria, limites de Atterberg, compactação e CBR. Logo após, separou-se do solo passante, a amostra de solo para a realização dos ensaios de compactação e CBR.



Figura 2. Jazida Newton. Fonte: Autores

Caracterização geotécnica

A caracterização geotécnica consiste na realização dos ensaios de granulometria, limite de liquidez, limite de plasticidade, preparados conforme a NBR 6457/86¹². O ensaio de granulometria, baseado na NBR 7181/84¹³, consiste na determinação da percentagem em peso de cada faixa especificada de tamanho de partículas. Através dos resultados obtidos desse ensaio é possível a construção da curva de distribuição granulométrica. São utilizadas neste ensaio o jogo de peneiras como pode se observar na Figura 3 (50; 38; 25; 19; 9,5; 4,8; 2,4; 1,2; 0,6; 0,42; 0,30; 0,15; 0,075 mm), agitador de peneiras, proveta graduada de 1000 ml.

O ensaio de limite de liquidez é encontrado de acordo com NBR 6459/84¹⁴, sendo o teor de umidade do solo quando se une, em um centímetro de comprimento, nas bordas inferiores de uma ranhura feita com o cinzel após colocada na concha do aparelho

de Casagrande (Figura 4).



Figura 3. Peneiras para granulometria do solo. **Fonte:** Autores

O ensaio deve ser repetido obtendo-se pontos conduzidos sob a ação de 35 a 15 golpes. A partir de tais pontos, determina-se a umidade correspondente aos 25 golpes do aparelho de Casagrande, a qual é definida como o Limite de Liquidez. Na impossibilidade de abertura da ranhura ou fechamento dela com mais de 25 golpes, deve-se concluir que o solo não apresenta Limite de Liquidez¹⁴.



Figura 4. Ensaio de Limite de liquidez. **Fonte:** Autores

O ensaio de limite de plasticidade, conforme a NBR 7180/84¹⁵, consiste em colocar o material passante na

peneira de número 40 em uma concha de porcelana, adiciona-se água misturando até se obter homogeneidade da umidade e depois enrolar bastões de 3 mm de diâmetro (Figura 5). Será considerado que o solo está no limite de plasticidade quando o cilindro romper em pedaços de cerca de 1 cm e diâmetro de 3 mm, caso o cilindro rompa antes de chegar aos 3 mm deve-se retornar o material à concha de porcelana e adicionar mais água. Considerar satisfatório os valores das umidades quando pelo menos três não diferir de 5% da média. Caso não seja possível obter cilindros de 3 mm, considera-se o solo sem limite de plasticidade¹⁵.



Figura 5. Ensaio de Limite de plasticidade. **Fonte:** Autores



Figura 6 - Ensaio CBR **Fonte:** Autores.

O ensaio de compactação foi baseado na Norma DNER 129/94¹⁶ para amostras não trabalhadas, e se empregou a energia modificada. Foi utilizado cerca de 7 Kg de solo e moldados cinco corpos de prova obtendo-se desta forma, cinco pontos (dois no ramo seco e dois no ramo úmido e uma umidade ótima). Aproveitando o ensaio de compactação, foi realizado logo em seguida o ensaio CBR, utilizando-se da Norma DNER 049/94¹⁷, para três corpos de prova, um no ramo seco, um na umidade ótima e outro no ramo úmido, os quais foram mantidos imersos por quatro dias com o uso de um extensômetro para aferir a expansão (Figura 6) e passados esses dias ocorreu a penetração na prensa.

3. RESULTADOS

O solo estudado apresentou classificação no Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), como sendo uma SM (Areia Siltsosa) com menos de 50% passante pela peneira de número 200, conforme a curva granulométrica na Figura 7. Para o sistema H.R.B. a classificação foi A-2-4 pois o solo apresentou menos de 50% de material passante nas peneiras de números 10 e 40 ficando inserido nos solos que possuíam até 35% no máximo na peneira de número 200. O solo não apresentou limite de liquidez nem limite de plasticidade, portanto índice de plasticidade igual a zero e consequentemente IG = 0.

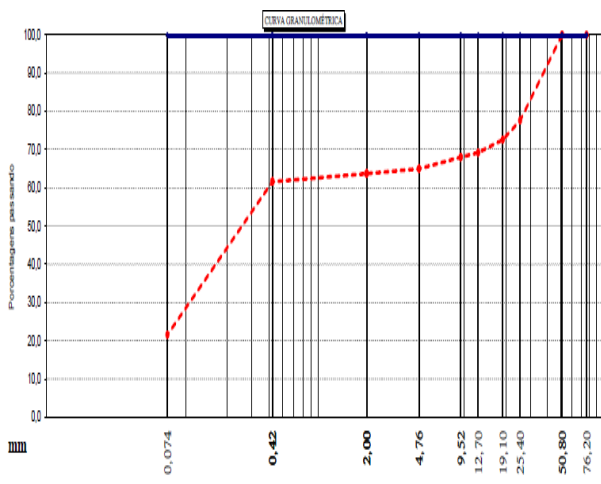


Figura 7. Curva granulométrica. Fonte: Acervo da pesquisa da JCR Engenharia, 2020

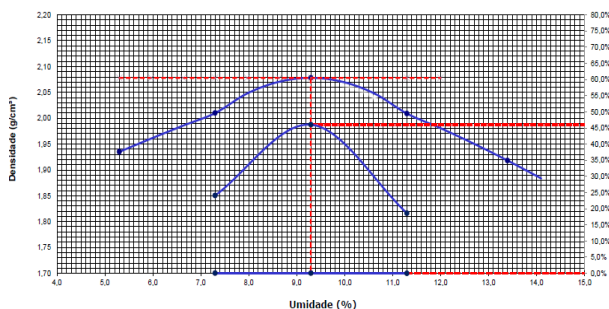


Figura 8. Compactação e CBR Fonte: Acervo da pesquisa da JCR Engenharia, 2020.

O ensaio de compactação obteve como a massa específica aparente máxima e umidade ótima,

respectivamente, 2,078 g/cm³ e 9,3%. O ensaio CBR para a umidade ótima teve a expansão de 0,02% e I.S.C. corrigido de 46% como se pode observar na Figura 8.

4. DISCUSSÃO

De acordo com o manual implantação básica do DNIT (2010)¹¹, quanto ao parâmetro de expansão pode-se observar que o solo se enquadra nos dois critérios: para camadas finais de terraplenagem em cortes ou aterros com expansão < 2% e para corpo de aterro com expansão < 4%. Logo, seria viável a utilização do solo para camadas finais de terraplenagem, cortes de aterro e para corpo de aterro pois, o solo apresenta expansão de 0,02%. Ainda pelo manual implantação básica do DNIT (2010)¹¹, a classificação do solo em termos de qualidade do material para aterro pode se denominar como “muito bom”, conforme a Tabela 2.

A norma sobre bases e sub-bases estabilizadas granulometricamente do DNER (2006)¹⁸ recomenda utilizar para base CBR ≥ 80%, para N > 5 x 10⁶, e expansão ≤ 0,5%. Para esse critério percebe-se que o solo não seria apropriado devido o ISC ser de 46% abaixo do esperado, apesar de apresentar a expansão apropriada de 0,02%. O solo também não satisfaz o critério para base com N < 5 x 10⁶ que seria CBR ≥ 60% e expansão ≤ 0,5%. Para sub-base o solo apresentou-se satisfatório, pois o critério é CBR ≥ 30% e a expansão ≤ 1,0%. No entanto, a energia indicada para esta camada por DNER (2006)¹⁸ é a intermediária o que descredibiliza sua utilização neste critério, pois os ensaios foram realizados com energia modificada.

Em relação à correlação entre CBR x IG proposta por Senço (2007)⁷ observada na Figura 8, mostra que para IG=0 corresponderia um CBR de 20%. O resultado encontrado no presente trabalho não se mostrou semelhante ao resultado proposto naquela correlação, tendo sido obtido mais que dobro do que o esperado (ISF 46%). Isso pode ser ocasionado pela granulometria, visto que o solo é mais granuloso sem grande teor de solos finos e essa característica pode ter contribuído para que a imersão dos corpos de provas em água não tivesse o efeito esperado.

5. CONCLUSÃO

O solo analisado apresentou características satisfatórias quanto à sua utilização para terraplenagem e aterros. Mas, para a utilização para as camadas do pavimento, mais especificamente para base, o solo se mostrou insatisfatório sendo necessário buscar outros materiais que atendam a exigência normativa, apesar do parâmetro, expansão ter atendido as duas exigências para N. Para sub-base seria necessário ter ensaiado o solo na energia intermediária, o que não foi realizado.

O solo apresentou pouco material fino o que pode ter sido a causa de a expansão ter sido pequena. Seria interessante em trabalhos futuros serem utilizadas mais amostras englobando um território maior, não apenas uma localidade, mas outras unidades geológicas, tendo

dessa forma uma percepção de maior diversidade de solo de São Luís - MA, incluindo a compactação do solo com as outras energias (normal e intermediária), bem como serem realizados outros ensaios como de permeabilidade, cisalhamento direto e/ou triaxial.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade Federal do Maranhão, instituição na qual a pesquisa se iniciou na forma de Trabalho de Conclusão de Curso e à Universidade Federal do Pará, cujo apoio permitiu que o artigo fosse revisado e finalizado.

7. REFERÊNCIAS

- [1] Antunes, FDS., *et al.* Solos: Subsídio Para Estudos de Geologia de Engenharia. Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ, Rio de Janeiro. 2015; 38:180-198.
- [2] Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Embrapa solos. [Acesso em: 28 set. 2019]. Disponível em:
<https://www.embrapa.br/solos/sibcs/formacao-do-solo>.
- [3] Caputo, HP. Mecânica dos Solos e suas aplicações. Vol. 1. 6ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 1988.
- [4] Pinto, CDS. Curso básico de mecânica dos solos. 3ª ed. São Paulo: Oficina de Textos. 2013.
- [5] Espindola, CR, Daniel, LA. Laterita e solos lateríticos do Brasil. Boletim Técnico da FATEC-SP, n. BT/ 24. 2008; 21-24.
- [6] Brito, A. Compactação de Aterros de Barragens. Novas Metodologias de Controle. [Dissertação de Mestrado] Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa. 2006.
- [7] Senço, WD. Manual de técnicas de pavimentação. 2ª ed. São Paulo: Editora PINI. 2007.
- [8] Knappett, JÁ, Craig, RF. Mecânica dos Solos. 8ª ed. Rio de Janeiro: LTC. 2014.
- [9] Santos, JA. Compatação, Elementos Teóricos. [Dissertação de Mestrado] Lisboa: Instituto Superior técnico do Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura. 2008.
- [10] Milleo, IADF. Análise de especificações de aterro e correlação entre CRB e capacidade de carga em solos compactados. [Dissertação de Mestrado]. Curitiba: Universidade Federal do Paraná. 2012.
- [11] Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. Manual de implantação básica de rodovia. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro. 2010; 617.
- [12] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6457: Amostras de Solo – Preparação para Ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização. ABNT. Rio de Janeiro. 1986.
- [13] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7181: Solo - Análise granulométrica - Métodos de ensaio. ABNT. Rio de Janeiro. 1984.
- [14] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6459 :Solo - Determinação do Limite de Liquidez. ABNT. Rio de Janeiro. 1984
- [15] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7180 : Solo – Determinação do limite de plasticidade. ABNT. Rio de Janeiro. 1984.
- [16] Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER-ME 129/94 - Solos – compactação utilizando amostras não trabalhadas. [S.l.]. 1994.
- [17] Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER-ME 049 -Solos – Determinação do índice de suporte californiano utilizando amostras não trabalhadas. [S.l.]. 1994.
- [18] Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER-ME. Sub-base ou Base Estabilizada Granulometricamente. Rio de Janeiro. 2006; 23.