

Análise de Estabilização Química de Solo Siltoso A-4 de Porto Velho-RO

Analysis of Chemical Stabilization of Silty Soil A-4 Porto Velho-RO

¹Davi Maia Silva, ²Prof^o Me. Antônio João da Silva, ³ Frank de Oliveira Queiroz ²(ajs@ufmt.br)

Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia- FAET-
Universidade Federal de Mato Grosso- UFMT

Recebido: 03/2015 Aceito: 07/2015 Publicado: 10/2015

Resumo: O Brasil é um país de proporções continentais, logo, existe uma grande variedade de tipos de solo. Em algumas regiões do país o solo existente não satisfaz as exigências da engenharia para a sua utilização como material de construção de bases rodoviárias. Este trabalho tem como finalidade acrescentar um banco de dados com informações sobre um estabilizante químico e os reagentes (cal e sulfato de alumínio), quanto à resistência em relação ao CBR (Índice de Suporte Califórnia) e a capilaridade de um solo siltoso (pertencente ao grupo A-4 segundo o sistema de classificação do H.R.B.) de baixa qualidade. Quanto ao CBR, foram feitos ensaios com 3 dosagens de estabilizante químico com 2 tipos de reagentes químicos, a cal e sulfato de alumínio. Quanto a capilaridade foram feitos ensaios com 3 concentrações de estabilizante químico em apenas 1 tipo de reagente químico, o sulfato de alumínio. Os resultados quanto ao CBR, apesar de aumento significativo, não foram satisfatórios, porém os resultados quanto à capilaridade tiveram resultados satisfatórios.

Palavras-Chave: Estabilização Química; CBR; Capilaridade.

Abstract: Brazil is a country of continental proportions, so there are a wide variety of soil types. In some regions, the existing soil does not meet the requirements of engineering for its use as a material construction for road bases. This work aims to add a database with information about a chemical stabilizer and reagents (lime and Aluminiumsulphate), on the matter of the CBR(California Bearing Ratio) resistance relation and the capillarity of a low-quality silty soil (belonging to group A -4 according to the HRB classification system). Concerning to the CBR, tests were made with 3 doses of chemical stabilizer with 2 types of chemical reagents, the lime and aluminum sulfate. For capillary; assays with three concentrations of a chemical stabilizer were made in only one type of chemical reagent, the aluminum sulfate. The results for the CBR, despite significant increases were not satisfactory, however, the results concerning to the capillarity had satisfactory results.

Keywords: Chemical Stabilization; CBR; Capilarity.

INTRODUÇÃO

Os homens desde a antiguidade têm feito o uso de técnicas de estabilização na construção de estradas. Os romanos já faziam o uso de estabilizantes químicos nas suas estradas usando o óleo de baleia e cal para aumentar a resistência do solo. Ademais, na estrada real dos Incas, em alguns trechos, a via chegava a ter 16m de largura e era em grande parte pavimentada por pedras. Estes usavam solo de maior resistência para estabilizar solos de menor resistência, em áreas alagadas.

Atualmente, a estabilização do solo continua sendo praticada. A importância da técnica se reside no fato da escassez de materiais com características satisfatórias à construção de base e sub-base para pavimentos rodoviários. Quando materiais adequados são escassos, existem duas opções: substituir o solo ou estabilizá-lo. Geralmente, substituir o solo é bem mais oneroso que a segunda opção, além de causar o impacto ambiental. A vantagem econômica e ambiental deixa a estabilização um passo a frente da remoção do solo na localidade de implantação de uma estrada.

Entretanto, assim como existem inúmeros tipos de solos, existe também uma variedade de estabilizantes no mercado. Tais estabilizantes trabalham em conjunto com uma gama de reagentes que provocam efeitos distintos no solo. Saber qual combinação usar é imprescindível ao êxito no que tange aumento de resistência do material base dos pavimentos.

Este estudo objetiva a verificação de qual arranjo de substâncias é o ideal para a estabilização do solo A-4, tendo como parâmetros a resistência e a capilaridade. Tal estudo é fundamental, tendo em vista não só a redução do custo de obras públicas, mas também a atenuação de impactos ambientais na região de coleta do material de estudo.

REVISÃO DA LITERATURA

Solos

Para José Carlos Rodrigues (1977), na engenharia civil os constituintes da crosta terrestre são as rochas e os solos. Sendo os solos os constituintes friáveis, desmontáveis a pá, picareta, enxada, ou máquinas comuns de terraplenagem.

Reagentes

Cal

Para Falcão Bauer (2000) a cal é um material de construção com inúmeras funções desde a produção de argamassa até a estabilização como o solo-cal.

Segundo o Manual de Pavimentação DER-SP, a cal deve ter no mínimo 65% de óxido de cálcio, e sua utilização deve ser recomendada para solos do tipo siltoso ou argiloso. A cal hidratada deve obedecer às exigências da NBR 176 da ABNT.

Sulfato de Alumínio

É um sal químico metálico com teor mínimo de alumínio de 16%, solúvel em água. É indicado para solos predominantemente arenosos ou argilo-arenosos. O Sulfato de Alumínio é muito

Um solo recebe sua nomenclatura de acordo com a granulometria da partícula que o constitui. Por ordem decrescente são o pedregulho, a areia, o silte e a argila. A areia é constituída por cristais não alteráveis da rocha mãe. O silte tem composição intermediária entre a areia e a argila. A argila é composta por minerais lamelares.

Pavimentos

Os pavimentos são constituídos por diversas camadas de diferentes materiais. O subleito é a fundação do pavimento. Esta camada é feita de material encontrado no local nivelado de acordo com a cota do projeto e devidamente compactado (Júnior, 1992). A base é construída com material mais nobre e de melhor resistência, tendo a função de receber e transmitir os esforços oriundos do tráfego. O revestimento é composto do material mais nobre, podendo este ser rígido ou flexível, podendo ser construído com asfaltos de petróleo ou concreto.

utilizado no tratamento de água, tanto em estações de tratamento de esgoto, como em estações de tratamento de água e até em piscinas e poços.

Estabilizações De Solos

Estabilizações de solo é um procedimento que visa melhorar as características físicas do solo. Podendo ser através da adição de algum outro elemento ou solo (materiais de granulometria diferente ou elementos químicos), ou apenas com a movimentação da terra (compactação do solo).

Estabilização Mecânica

A estabilização mecânica ocorre quando utilizamos apenas a compactação do solo para alcançar as características desejadas. É indicada quando o solo tem

satisfatórios índices de resistência, podendo assim ser usado como material de construção.

Estabilização Granulométrica

Estabilização granulométrica é o processo que decorre quando adicionamos um material de maior qualidade ao solo encontrado em loco, visando uma melhora em suas características físicas.

Estabilização Química

Segundo o manual de pavimentação DER-SP, solo estabilizado quimicamente, por via líquida é uma mistura uniforme e homogênea, adequadamente compactada, de solo ou misturas de solos, estabilizantes de solos líquido, reagente e água, em proporções adequadas, determinadas por ensaios prévios de laboratório, cujos resultados apresentem conveniente estabilidade e durabilidade, podendo ser empregado como reforço de subleito, sub-base ou base de um pavimento.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

O local onde foram coletadas as amostras é um dos acessos ao município de Porto Velho, capital de Rondônia. A região faz parte da planície amazônica. O município tem um relevo pouco acidentado e localiza-se nas margens do rio Madeira, principal braço direito do rio Amazonas.

A vegetação é composta por uma floresta tropical, de grande riqueza ambiental e importância para o município. Logo sua preservação é de suma importância. O solo do município, em sua maior parte, é classificado como argiloso, sendo pobre em materiais granulométricos de qualidade e de baixa resistência. A existência de jazidas de brita é remota.

Materiais utilizados

Dentre os materiais utilizados neste trabalho, destaca-se o objeto de estudo, um

solo que, segundo classificação HRB, é caracterizado como tipo A-4.

Para estabilização do solo analisado foi necessário estabilizante químico, bem como, um reagente químico. Os reagentes utilizados foram cal e sulfato de Alumínio.

Ensaio realizados

Os ensaios realizados foram:

- Limite de Liquidez – NBR 6459:1984
- Ensaio de granulometria
- Limite de Plasticidade – NBR 7180:1984
- Ensaio de Compactação – NBR 7182:1986
- Ensaio de CBR – NBR 9895:1987

A fim de analisar a resistência em função da quantidade de estabilizante, optou-se por utilizar três dosagens, são elas: 1:1000, 1:1250 e 1:1500.

A dosagem dos reagentes é fixa para a cal e o sulfato de Alumínio, sendo 2% e 1:1000 respectivamente.

Tabela 1 – Análise granulométrica

Umidade Higroscópica			Peneiramento grosso				
Cápsula	59	18	Peneiras		Peso da amostra seca		% que passa da amostra
Solo úmido + tara	96,69	92,85	nº	mm	Retido	Passado	
Solo seco + tara	95,68	91,88	2"	50	-	-	-
Tara da cápsula	28,98	27,62	1	38	-	-	-
			1/2"				
Água	1,01	0,97	1"	25	-	988,08	100
Solo seco	66,7	64,26	3/4"	19	72,84	915,25	92,62
Teor de Umidade	1,514%	1,509%	3/8"	9,5	51,09	864,15	87,46
Umidade média		1,51%	4"	4,8	45,3	818,85	82,87
			10"	2	29,85	789	79,85
Amostra total seca							
Amostra total úmida	1000	Recipiente nº 714			Peso da amostra úmida		
Solo seco retido na peneira nº 10	199,08	Peneiras		% da amostra seca		% que passa da amostra	
Solo passado na peneira nº 10	800,92	nº	mm	Retido	Passado	Am. Parcial	Am total
Solo seco passado na peneira nº 10	789	10	2	-	98,51	-	-
Amostra seca	988,08	40	0,42	2,71	95,8	97,25	77,65
		200	0,075	12,65	83,15	84,41	67,4
		270	0,053				

RESULTADOS OBTIDOS

Ensaios de caracterização dos solos

Para a caracterização do solo, foi feito o uso do sistema de classificação H.R.B. Primeiramente foi feita a análise

granulométrica. Depois o limite de liquidez (LL) e o limite de plasticidade (LP). Com isso foi determinado o IP. Nas Tabelas 1 e 2 são mostrados os resultados de análise granulométrica e ensaios físicos da amostra, respectivamente.

Tabela 2 – Ensaios físicos

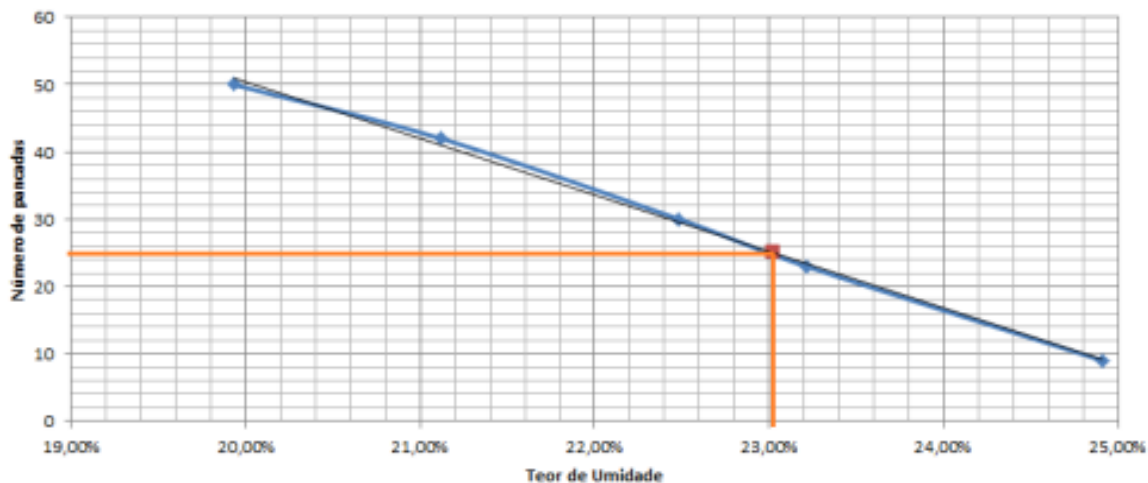
Limite de Liquidês						Limite de Plasticidade				
Cápsula nº	145	133	111	142	126	75	79	80	115	134
Cápsula + solo úmido	20,63	19,84	20,54	21,75	17,57	12,31	11,99	11,92	11,95	11,77
Cápsula + solo seco	18,95	18,29	18,73	19,54	16,18	12,16	11,82	11,74	11,78	11,59
Peso da cápsula	10,52	10,95	10,68	10,02	10,6	10,98	10,61	10,47	10,6	10,37
Peso da água	1,68	1,55	1,81	2,21	1,39	0,15	0,17	0,18	0,17	0,18
Peso do solo seco	8,43	7,34	8,05	9,52	5,58	1,18	1,21	1,27	1,18	1,22
Porcentagem da água (%)	19,93	21,12	22,48	23,21	24,91	12,71	14,05	14,17	14,41	14,75
Nº de pancadas	50	42	30	23	9	Nº de pontos aproveitados: 4				

Fonte: Silva (2014)

Conforme a Figura 1, obteve-se 23% umidade ótima. De acordo com o sistema HRB o material do solo é do

tipo siltoso do grupo A-4 e sua classificação como subleito é de regular a mau.

Figura 1 – Teor de umidade



Fonte: Silva (2014)

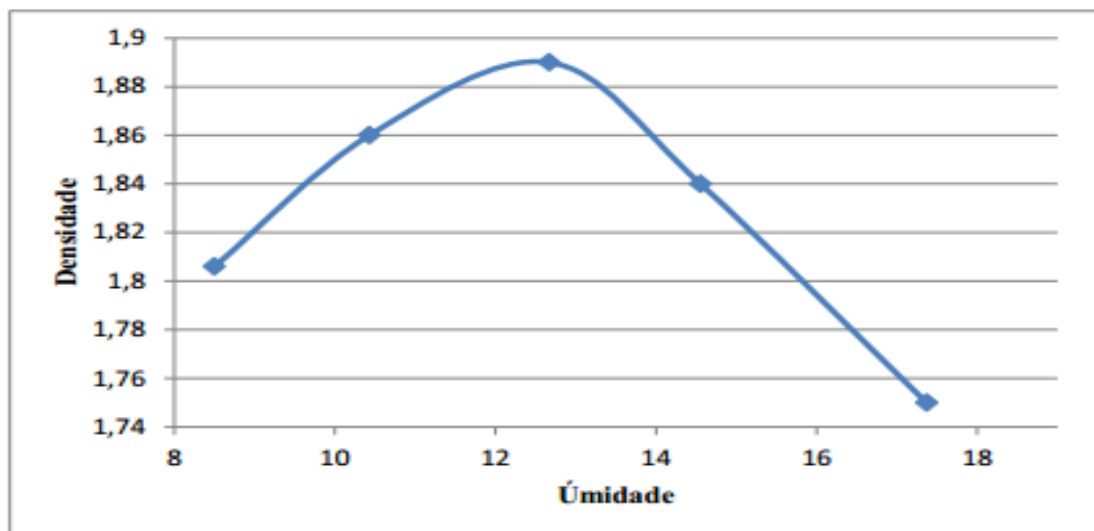
Ensaio de compactação

Com a realização do ensaio de compactação foi determinada a umidade ótima do solo. Este ensaio foi feito com o solo natural, sendo ensaiadas cinco

amostras de solo para determinação da umidade ótima.

Os resultados encontrados são apresentados no gráfico a seguir. A umidade ótima foi determinada com o valor 12,6%.

Figura 2 – Umidade ótima



Fonte: Silva (2014)

Ensaio de CBR

Foram feitos ensaios de CBR com diferentes dosagens de estabilizante químico. Foram usados dois tipos diferentes de reagentes químicos, o sulfato de alumínio e a cal. O sulfato de alumínio utilizado é o mesmo usado no tratamento de água. A cal utilizada é uma cal com alto teor de óxido de cálcio (98%).

Com o intuito de servir de parâmetro, foi feito o ensaio de CBR com o solo natural. A resistência atingida pelo solo sem estabilizante químico, compactado com energia intermediária, foi de 8,35% (CBR). Esse solo em seu estado não é adequado para ser usado como material de construção de rodovias pavimentadas, podendo ser usado apenas no subleito.

Ensaio de CBR com estabilizante químico e sulfato de alumínio

Foram realizados 6 ensaios com 3 dosagens diferentes de estabilizantes químicos.

Os corpos de prova utilizados foram identificados com números de 1 a 6. As dosagens utilizadas foram 1:1000, 1:1250 e 1:5000 (em relação ao peso seco da amostra). O reagente químico, sulfato de alumínio, foi usado conforme as especificações do Manual de Pavimentação DER-SP, que recomenda sempre usar a dosagem 1:5000 (em relação ao peso seco da amostra).

Na Tabela 3 estão dispostos os valores obtidos para o CBR das três concentrações de sulfato de alumínio.

Tabela 3 – Dosagem do Sulfato de Alumínio

Dosagem de estabilizante	CBR do CP 1	CBR do CP 2
1:1000	20,05%	16,81%
1:1250	20,17%	15,67%
1:1500	9,40%	14,98%

Fonte: Silva (2014)

Nota-se que mesmo após a adição do estabilizante químico, o solo, quando usado o reagente sulfato de alumínio, não apresenta CBR adequado para seu uso como material de construção de base rodoviária.

Ensaio De CBR Com Estabilizante Químico E Cal

De acordo com o Manual de Pavimentação DER-SP, quando a cal for usada como reagente químico a dosagem recomendada deve estar entre 1% e 3% (em relação ao peso seco da amostra). Quanto ao estabilizante, foram utilizadas dosagens 1:1000, 1:2500 e 1:5000. A dosagem de cal foi de 2%.

Os valores para o CBR da amostra caracterizada acima foram conforme demonstrado na Tabela 4:

Tabela 4 – Dosagem da Cal

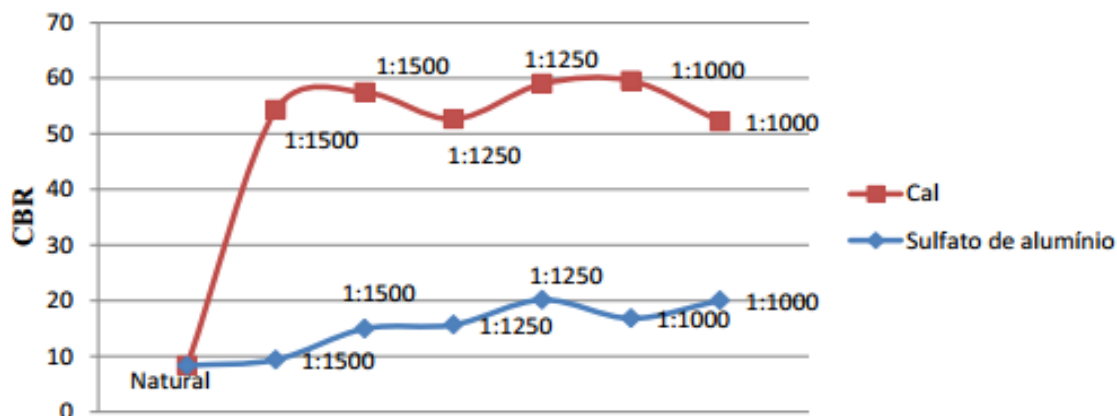
Dosagem de estabilizante	CBR do CP 1	CBR do CP 2
1:1000	20,05%	16,81%
1:1250	20,17%	15,67%
1:1500	9,40%	14,98%

Fonte: Silva (2014)

Comparação das Resistências

Conforme Figura 3, pode-se observar a comparação de desempenho dos reagentes utilizados.

Figura 3 – Comparação das resistências



Fonte: Silva (2014)

Analisando primeiramente o reagente sulfato de alumínio, percebe-se que conforme a quantidade de estabilizante químico aumenta, a resistência do solo aumenta, todavia este aumento não é linear. A resistência máxima é em torno de 20%. Os ensaios realizados utilizando a cal como reagente químico mostraram resultados mais satisfatórios, haja vista que o CBR chegou próximo aos 60%.

Ensaio de capilaridade

Para o ensaio de capilaridade foram feitos quatro corpos de prova, sendo um corpo de prova feito com solo natural e três com estabilizante químico. O estabilizante químico usado foi o sulfato de alumínio. Os corpos de prova foram moldados em um cilindro metálico pequeno (cilindro do proctor) e compactados com energia intermediária, 21 golpes com soquete grande.

Os valores da altura de capilaridade para os quatro corpos de prova são mostrados na tabela 5.

Tabela 5 – Altura de Capilaridade

Tempo (segundo)	Natural	Dosagem do estabilizante		
		1:1000	1:1250	1:1500
15	0,5	0,2	0,4	0,4
30	0,8	0,4	0,4	0,6
60	1,2	0,5	0,6	1
120	1,9	0,7	1,5	1,7
240 (4 minutos)	2,5	1,3	2	2,1
480 (8 minutos)	3,5	1,4	2,1	2,3
960 (16 minutos)	4,3	1,5	2,1	2,5
1800 (30 minutos)	4,6	1,7	2,2	2,7
3600 (1 hora)	5,2	1,7	2,2	3
7200 (2 hora)	6,3	1,7	2,3	3
14400 (4 horas)	7,4	1,7	2,3	3,1
28800 (8 horas)	8,5	1,7	2,3	3,1
86400 (24 horas)	11	2	2,4	4
Altura (cm)				

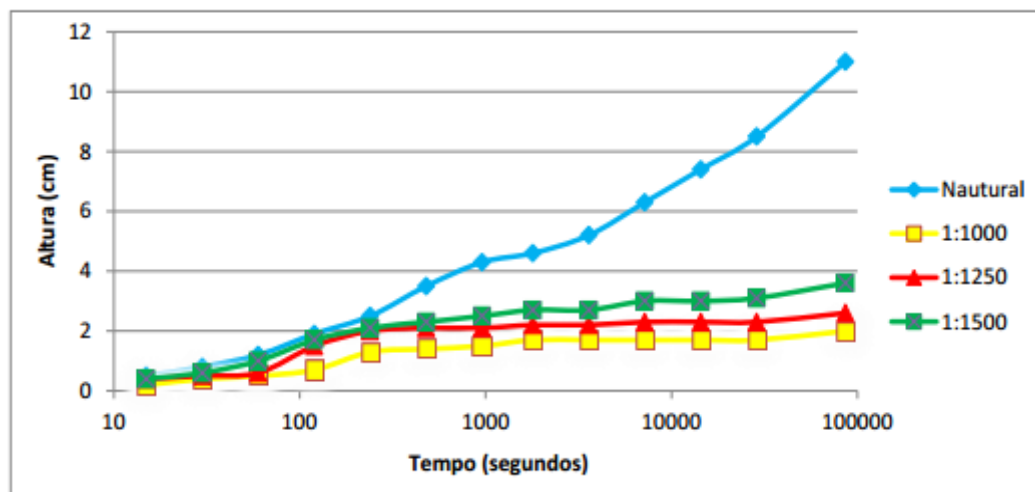
Fonte: Autor (2014)

Os resultados do ensaio de capilaridade foram satisfatórios. O estabilizante químico juntamente com o reagente (sulfato de alumínio) obtiveram grande atuação, impossibilitando o processo de capilaridade entre as partículas de solo quase que completamente. Isso garante uma maior resistência da via

rodoviária aos períodos de chuva, impossibilitando a água de interferir na resistência das bases do pavimento.

Para melhor comparar os resultados obtidos, no gráfico abaixo estão dispostas, em escala logarítmica, as leituras obtidas no ensaio de capilaridade.

Figura 4 – Comparação das alturas de capilaridade



Fonte: Autor (2014)

CONCLUSÃO

O solo coletado em Porto Velho, Rondônia, classificado como A-4, não possui qualidade para atender as especificações do DNIT para ser usado como material de construção de bases rodoviárias.

O estabilizante químico Homy Solo, quando usado com sulfato de alumínio como reagente, não conseguiu melhorar a resistência do solo o suficiente para usá-lo como material de construção de bases rodoviárias. O mesmo estabilizante, quando usado com a cal como reagente, consegue atender as especificações do DNIT para a construção de sub-base, sendo a maior resistência nesse caso 59,21% do CBR, 709,1% maior do que a resistência do solo natural (8,35%)

O ensaio de capilaridade foi satisfatório, validando o uso do

estabilizando homy solo com sulfato de alumínio como reagente para o uso em obras onde o fator de capilaridade deve ser analisado com mais cuidado. Sugere-se que estes ensaios sejam realizados com diferentes estabilizantes, buscando ampliar um banco de dados que possibilite a correção de solos de qualidade baixa. Os resultados obtidos com o uso da cal foram superiores, isso leva a acreditar que o uso da cal e Cimento Portland em concentrações mais elevadas deve ser testado.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 6508:1984 Determinação de massa específica. Rio de Janeiro 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 6457: 1984Preparação para ensaio de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro: 1984.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7181: 1984Análise granulométrica. Rio de Janeiro: 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 6502:1993Rochas e solos. Rio de Janeiro: 1993.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR7180:1984Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: 1984.

BAPTISTA, Cyro de Freitas Nogueira. Pavimentação 2. ed. Porto Alegre:1976.
BAUER, Falcão, Materiais de Construção 5 ed. Rio de Janeiro: LTC:2000

CAPUTO, Homero Pinto. Mecânica dos Solos. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.:1977.

DAMA, Marcelo Archanjo e MIRANDA, Luiz Miguel. Estabilização química de solos expansivos da baixada cuiabana. 29º Reunião anual de pavimentação 1995.

EDSON, Carlos Rene. Artigo recomendação ao uso de pavimento rígido. 2009

GONÇALVES, Raquel G. Introdução à Engenharia de Petróleo. 2012.

GONZALEZ, Gerardo Mayor. Teorias e Problemas de Materiais de Construção, 1ª ed., Editora McGRAW-HILL do Brasil, São Paulo, 1978.

HENRIG, Mario. Notas de aula de pavimentação UFPR.

HOMY SOLO, Revista Homy Solo, 2003.

MARQUES, Geraldo Luciano de Oliveira. Notas de aula de pavimentação. UFJF. Juiz de Fora: 2006.

MEDINA, Jacques; GUIDA, Hugo Nicodemo. Notícia sobre ácido fosfórico na estabilização de solos lateríticos. 30ª reunião anual de Pavimentação: Salvador, 1996.

MERIGHI, João Virgílio. Curso: estradas II estruturas de pavimento. 2004.

MORAES, Paulo Roberto. Geografia geral e do Brasil 3. ed. São Paulo: 2005.

Manual de pavimentação DER-SP. São Paulo: 1997.

MOREIRA, Ceres Virgínia Rennó e PIRES, Antonio Gonçalves. Clima e Relevo cap. 5. São Paulo: 2003.

QUEIROZ, João Batista; JÚNIOR, José Anchieta. Estabilização de solos arenosos com betonita. 30ª reunião anual de Pavimentação: Salvador, 1996.

REIS, TEIXEIRA, CONSTANTINO e OMENA. Manual Básico de Emulsões Asfálticas. Rio de Janeiro ABEDA 2. ed. 2010.

RODRIGUES, José Carlos. Geologia para engenheiros civis. São Paulo/Rio de Janeiro: 1977.

SALOMÃO, Fernando Ximenes de Tavares e ANTUNES, Franklin dos Santos. Solos em Pedologia cap. 6. . São Paulo: 2003.

SARDELLA, Antônio. Química Série novo ensino médio. São Paulo, Editora Ática: 2004.

SILVA, SARAIVA e ARAUJO. Aspectos climáticos de Porto Velho – Rondônia. Porto Velho: 1995.