Tratamento de solo com adição de cimento portland: análise de propriedades para aplicação em pavimentação de baixo custo

Portland cement added ground treatment: properties analysis for low cost paving

DOI:10.34117/bjdv5n12-060

Recebimento dos originais: 10/11/2019

Aceitação para publicação: 05/12/2019

José Henrique Reis De Carvalho Tabosa

Pós-Graduando em MBA em Gerenciamento de Obras e Master BIM pela FIP

Pós-Graduando em Engenharia de Segurança do Trabalho pelo Instituto Pró-Saber

Graduado em Engenharia Civil pelo Centro Universitário do Vale do Ipojuca (UNIFAVIP Wyden)

Instituição: Centro Universitário do Vale do Ipojuca (UNIFAVIP Wyden)

Endereço: Av. Adjar da Silva Casé, 800 - Indianópolis, Caruaru – PE, Brasil

E-mail:henriquetabosa.engcivil@hotmail.com

Claudenice Paulino Da Silva

Doutoranda em Geotecnia pela UFPE

Mestre em Geotecnia pela UFPE

Pós-Graduada em Engenharia de Segurança do Trabalho

Graduada em Engenharia Ambiental pela NASSAU

Docente do Centro Universitário do Vale do Ipojuca (UNIFAVIP Wyden)

Instituição: Centro Universitário do Vale do Ipojuca (UNIFAVIP Wyden)

Endereço: Av. Adjar da Silva Casé, 800 - Indianópolis, Caruaru – PE, Brasil

E-mail:tecclaudenice@hotmail.com

Giovanna Feitosa De Lima

Mestre em Engenharia Civil e Ambiental

Instituição: Centro Universitário do Vale do Ipojuca (UNIFAVIP Wyden)

Endereço: Av. Adjar da Silva Casé, 800 - Indianópolis, Caruaru – PE, Brasil

E-mail:giovannafeitosa@gmail.com

Thaísa Mayane Tabosa Da Silva

Pós-Graduanda em MBA em Gerenciamento de Obras e Master BIM pela FIP

Pós-Graduando em Engenharia de Segurança do Trabalho pelo Instituto Pró-Saber

Graduada em Engenharia Civil pelo Centro Universitário do Vale do Ipojuca (UNIFAVIP Wyden)

Instituição: Centro Universitário do Vale do Ipojuca (UNIFAVIP Wyden)

Endereço: Av. Adjar da Silva Casé, 800 - Indianópolis, Caruaru – PE, Brasil

E-mail:thaisatabosa.engcivil@gmail.com

Thays Cordeiro Dos Santos

Pós-Graduanda em MBA em Gerenciamento de Obras e Master BIM pela FIP
Graduada em Engenharia Civil pelo Centro Universitário do Vale do Ipojuca (UNIFAVIP Wyden)

Instituição: Centro Universitário do Vale do Ipojuca (UNIFAVIP Wyden)

Endereço: Av. Adjar da Silva Casé, 800 - Indianópolis, Caruaru – PE, Brasil

E-mail:thayscordeiro1996@hotmail.com

Rodrigo Araújo

Graduado em Engenharia Civil pelo Centro Universitário do Vale do Ipojuca (UNIFAVIP Wyden)

Instituição: Centro Universitário do Vale do Ipojuca (UNIFAVIP Wyden)

Endereço: Av. Adjar da Silva Casé, 800 - Indianópolis, Caruaru – PE, Brasil

E-mail:rodrigorochoaraujo@gmail.com

RESUMO

Diante da precariedade das rodovias e ruas brasileiras, faz-se necessário que a construção do pavimento seja executada de maneira adequada, utilizando materiais apropriados e otimizando a vida útil do mesmo. Visando a dificuldade em encontrar jazidas próximas da construção com características apropriadas para aplicação, busca-se a combinação de solos ou adição de novos materiais às camadas de base e/ou sub-base, para que assim também seja evitado gastos excessivos caso a jazida mais próxima não corresponda às particularidades necessárias da obra. Neste contexto, no presente trabalho são apresentados estudos e resultados obtidos em ensaios de laboratório de caracterização física e mecânica, através dos quais se objetivou avaliar o comportamento dos solos com a incorporação de cimento portland, em busca da obtenção de melhores propriedades mecânicas. Logo, foram realizados ensaios de caracterização de uma jazida de solo da região de Caruaru-PE com a incorporação de cimento nas proporções de 1, 2 e 5%. À partir dos resultados obtidos pode-se concluir que o solo com adição de cimento Portland obteve resultado satisfatório em comparação a amostra sem adição, uma vez que o solo natural e o com adição de 1% não atenderam aos critérios estabelecidos pelo método do DNER para materiais de base e/ou sub-base empregados em pavimento, o com teor de 2% atendeu aos critérios de apenas sub-base e o de 5% atendeu aos de sub-base e base.

Palavras-chave: Pavimento. Solo. Melhoramento.

ABSTRACT

Facing the precariousness of Brazilian highways and streets, it is necessary that the construction of the pavement be executed in an appropriate way, using appropriate materials and optimizing the useful life of the same. Aiming at the difficulty of finding deposits close to the building with characteristics appropriate to the application, the combination of soils or addition of new materials to the base and / or sub-base layers is sought, so that excessive spending is also avoided if the does not correspond to the necessary particularities of the work. In this context, in the present work are presented studies and results obtained in laboratory tests of physical and mechanical characterization, through which it was objectified to evaluate

the soil behavior with the incorporation of portland cement, in search of obtaining better mechanical properties. Therefore, characterization tests of a soil of the Caruaru-PE region with the incorporation of cement in the proportions of 1, 2 and 5% were carried out. From the obtained results, it can be concluded that the soil with Portland cement addition obtained a satisfactory result in comparison to the sample without addition, since the natural soil and the one with the addition of 1% did not meet the criteria established by the DNER method base materials and / or sub-base used in pavement, the one with a content of 2% met the criteria of only sub-base and the one of 5% served the one of sub-base and base.

Keywords: Pavement. Soil. Improvement.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o modal rodoviário é considerado o principal sistema de transporte do Brasil. Este sistema logístico trafega por meio de vias como rodovias federais e estaduais, sendo o principal meio para o deslocamento de cargas e passageiros utilizado dentro do país. Apesar do governo vir aumentando os investimentos nos outros modais, o rodoviário ainda vem se destacando como sendo o mais utilizado, devido a vantagens como chegar em diversos pontos do país e responder de forma mais rápida à demanda das empresas em relação aos outros modais. (HIJJAR, 2011).

Segundo a CNT (2016), a condição geral das rodovias brasileiras está em estado precário de conservação, devido ao elevado trânsito de veículos (onde os caminhões comumente trafegam com a carga acima da que é admitida) e a falta de conservação, manutenção e pavimentação adequada das vias, o que acaba resultando em prejuízos financeiros bem como acidentes e mortes. Acrescentando ao conjunto descrito, tem-se também a crise econômica que o país vem enfrentando nos últimos anos, justificando o estudo de materiais alternativos que possam desenvolver boa performance ao serem utilizados na pavimentação rodoviária e tenham baixo custo.

O Pavimento é composto por diversas camadas, edificadas sobre a superfície final de terraplenagem, propostas a resistir aos esforços procedentes do tráfego de veículos e do clima, e a disponibilizar aos seus usuários melhores condições de rolamento, adicionadas à comodidade, economia e segurança. Para a construção de um pavimento de boa qualidade é necessário também que seja feito o seu dimensionamento (BERNUCCI et al., 2006).

O Pavimento é uma estrutura composta por camadas sobrepostas de distintos materiais compactados a partir da fundação do corpo estradal, buscando se acomodar para atender estrutural e operacionalmente o tráfego, resistindo assim aos esforços ocasionados pelos veículos em função do melhoramento das condições de rolamento da via. De acordo com

DNIT (2006) o pavimento é constituído pelas seguintes camadas ilustradas de acordo com a Figura 1.

Figura 1 - Esquema de seção transversal do pavimento³

Fonte: DNIT, 2006

Atualmente, os aditivos químicos estão sendo muito empregados em diversas obras da construção civil, tendo como exemplo as obras de pavimentação rodoviária. Esses aditivos possuem a finalidade de aprimorar as características físicas e mecânicas dos solos, isto é, sua estabilidade, que acaba refletindo no acréscimo de resistência do material.

Devido à dificuldade em encontrar jazidas com materiais apropriados para a construção das camadas de um pavimento, busca-se a combinação de solos ou adição de novos materiais às camadas de base, sub-base e eventualmente em reforços de subleito, podendo ser utilizada a estabilização do solo de maneira a resistir aos esforços aplicados, durante determinado período e com uma função específica. Logo o solo passa a possuir características aprimoradas como resistência e deformação, fazendo assim com que possa ser empregado adequadamente. Um destes métodos para o melhoramento do solo é o acréscimo de aditivos químicos, como exemplo o cimento. (MARQUES, 2012).

Segundo Filho (2008), os pavimentos com base e/ou sub-base de solo-cimento são empregados no Brasil desde 1939 e é bastante empregado devido ao fato de ser aplicável em diversos tipos de solos.

O solo-cimento é composto por um material resultante da mistura homogênea, compactada e curada de solo, cimento e água, que resulta em um material com boa resistência à compressão, bom índice de impermeabilidade, baixo índice de retração volumétrica e boa

durabilidade. Na composição, o solo é o componente de maior proporção para obtenção do solo-cimento, enquanto que o cimento representa apenas uma pequena porcentagem. (ABCP, 2009).

O pavimento de uma rodovia deve acatar às características relacionadas à economia, segurança e comodidade, pois é o componente de maior percepção dos usuários que dele fazem uso. Dificuldades relacionadas à aderência, acostamento precário e má qualidade do pavimento rodoviário afetam diretamente o usuário.

Considerando a precariedade das rodovias e ruas brasileiras; busca-se através da construção do pavimento solucionar este problema que ocorre principalmente devido a utilização de materiais inadequados, tendo em foco o solo que exibe baixa capacidade de suporte de carga. Sabendo que o solo é o principal material composto na base e sub-base de um pavimento, é necessário o conhecimento de suas propriedades e o desenvolvimento de métodos que levem à melhoria de suas características. Logo, percebe-se a importância do estudo de métodos de melhoramento do solo destinados à obras de engenharia civil, envolvendo o melhoramento de suas propriedades mecânicas e ofertando economia.

Para uma determinada região, as jazidas disponíveis podem não ser compatíveis com as características necessárias de um solo para aplicação em base e sub-base de um pavimento. Mas, existem técnicas que utilizam a adição de aditivos ao solo para que os solos inadequados se tornem apropriados para serem usados, sobretudo quando se aborda sobre materiais que não atendem as particularizações necessárias para uma estabilização granulométrica das camadas de um pavimento.

Neste contexto, o presente trabalho possui como objetivo analisar o comportamento mecânico antes e após do solo da jazida através da adição de cimento Portland, classificando e quantificando suas características físicas e mecânicas, afim de comprovar a obtenção de melhorias nas propriedades mecânicas para sua aplicação em base e sub-base de pavimentos de baixo custo.

2 METODOLOGIA

No estudo do presente trabalho de pesquisa foi escolhido o uso do cimento Portland como método de estabilização do solo coletado em uma jazida no bairro Luiz Gonzaga, da região do município de Caruaru-PE, conforme exibido em Figura 2.

Figura 2 – Localização Jazida Bairro Luíz Gonzaga

Fonte: AUTOR, 2017.

Foram recolhidos aproximadamente 200 quilogramas de solo, para posterior armazenamento e realização de ensaios no laboratório da Universidade do Vale do Ipojuca – UNIFAVIP/Wyden.

Os dados da presente pesquisa serão apresentados e analisados à partir das comparações entre os resultados obtidos nos ensaios realizados com o solo e a mistura solo-cimento nas proporções de 1, 2 e 5%, e suas respectivas análises.

Os resultados adquiridos resultaram da realização dos ensaios laboratoriais para caracterização física e mecânica do solo com adição de cimento. Para a caracterização física, foram feitos os ensaios de índices físicos (Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP) e Índice de Plasticidade (IP)) e análise granulométrica por peneiramento, e para a caracterização mecânica, foram realizados os ensaios de compactação e Índice de Suporte California, valendo ressaltar que a análise granulométrica foi realizada apenas nos solos naturais.

3 RESULTADOS/DISCUSSÕES

3.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAMENTO

Diante dos cálculos e resultados obtidos, a granulometria do solo pode ser expressa através da Tabela 1.

Tabela 1 - Análise Granulométrica Jazida Luiz Gonzaga

Peneiras	Peso (g)	Material Retido % Amostra Total	% Acumulada	% Que Passa da Amostra Total	Peneiras (mm)
Nº 4	0,60	0	0	100	4,8
Nº 10	490,20	34	34	66	2,0
Nº 16	35,50	2	36	64	1,2
Nº 30	43,10	3	39	61	0,6
Nº 40	17,40	1	41	59	0,42
Nº 50	15,20	1	42	58	0,30
Nº 100	24,30	2	43	57	0,15
Nº 200	14,90	1	44	56	0,074

Fonte: AUTOR, 2017.

Os resultados observados através da Tabela 1, possibilitaram a construção do Gráfico 1, que possui como objetivo a caracterização o solo de acordo com os percentuais de material passante e retidos em cada peneira.

Gráfico 1 – Curva Granulométrica Jazida Luiz Gonzaga

Fonte: AUTOR, 2017.

Logo, a curva exposta em Gráfico 1 indica se tratar de solo de granulação média ou fina.

3.2 LIMITE DE PLASTICIDADE

A partir da observação dos dados foi gerada a Tabela 2, tratando dos resultados obtidos no ensaio de Limite de Plasticidade.

Tabela 2 – Limite de Plasticidade Jazida Luiz Gonzaga

LIMITE DE PLASTICIDADE					
Cápsula n°:	13	77	10	6	7
Solo + tara (g)	7,62	8,32	8,21	7,55	8,44
Sólido + tara (g)	7,35	7,87	8,02	7,24	8,85
Tara (g)	6,02	6,09	6,82	6,13	6,13
Pêso da água (g)	0,27	0,45	0,19	0,31	-0,41
Pêso do sólido (g)	1,33	1,78	1,20	1,11	2,72
Umidade (%)	20,30	25,28	15,83	27,93	-15,07
LP. (%)	22,34				

Fonte: AUTOR, 2017.

Á partir da Tabela 2 foi determinado o Limite de Plasticidade igual a 22,34%.

3.3 LIMITE DE LIQUIDEZ

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos no ensaio de Limite de Liquidez, realizado conforme NBR 6459/1984.

Tabela 3 – Limite de Liquidez Jazida Luiz Gonzaga

LIMITE DE LIQUIDEZ					
Cápsula n°:	55	58	490	180	30
Solo + tara (g)	30,42	29,57	23,32	26,65	25,31
Sólido + tara (g)	25,56	26,32	19,67	22,45	21,34
Tara (g)	6,61	6,34	6,64	6,68	6,05
Pêso da água (g)	4,86	3,25	3,65	4,20	3,97
Pêso do sólido (g)	18,95	19,98	13,03	15,77	15,29
Umidade (%)	25,65	16,27	28,01	26,63	25,96
Número de golpes	11	18	28	39	42

Fonte: AUTOR, 2017.

Á partir da Tabela 3 foi determinado o Limite de Liquidez igual a 24,60%.

3.4 CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

Á partir dos dados obtidos nos ensaios de LL, LP, IP e granulometria foi realizado a classificação do solo. De acordo com a Classificação HRB (Highway Research Bord) o solo foi classificado como A-4, denominado por um solo siltoso, e com a Classificação USC

(Sistema Unificado de Classificação) foi classificado como ML, apresentando-se como siltoso ou argiloso.

3.5 COMPACTAÇÃO

À partir dos dados necessários para realização do ensaio de compactação se obteve a Tabela 4.

Tabela 4 – Ensaio de Compactação

UMIDADE HIGROSCOPIA %	MOLDE Nº	6	DENSIDADE MÁXIMA:
Cápsula - Nº	VOLUME DO MOLDE	2103,85	1,966 g/cm ³
Peso Bruto Úmido	PESO DO MOLDE	4594,6	
Peso Bruto Seco	PESO DO SOQUETE	4536	
Peso da Cápsula	ESPESSURA DO DISCO	2 1/2"	UMIDADE ÓTIMA:
Peso da Água	ESPAÇADOR		7,99 %
Peso do Solo Seco	GOLPES / CAMADA	26	
Umidade (%)	Nº DE CAMADAS	05	
Umidade Média			

Fonte: AUTOR, 2017.

Logo, à partir da Tabela 4 e montagem da curva de compactação obteve-se como densidade ótima 1,96 g/cm³ e umidade ótima igual a 7,99%.

3.6 ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA SOLO SEM ADIÇÃO

À partir da umidade ótima são calculados os teores de água e logo após é realizado o cálculo da expansão conforme apresentado em Tabela 5.

Tabela 5 - Expansão Jazida Luiz Gonzaga Sem Adição

Expansão				
Datas		Leitura	Difer.	Exp.
Dia	Hora	Defl	mm	mm
11-set	21:00	0,00	0,00	0,00
12-set	21:00	21,00	21,00	17,95
13-set	21:00	54,00	33,00	28,21
14-set	21:00	68,00	14,00	11,97

Fonte: AUTOR, 2017.

A penetração é apresentada a seguir na Tabela 6, através das leituras observadas:

Tabela 6 - Ensaio de Penetração Jazida Luiz Gonzaga Sem Adição

ENSAIO DE PENETRAÇÃO							
Tempo min.	Penetração		Leitura		Pressão - Kg/cm ²		
	Pol	mm	Extens.	Determ.	Corrigido	Padrão	%
30 seg	0,025	0,63	5	0,5			
1	0,05	1,27	15	1,5			
2	0,1	2,54	40	4,1	4,1	70	5,80
4	0,2	5,08	135	13,7	13,7	105	13,05
6	0,3	7,62	265	26,9		133	
8	0,4	10,16	385			161	
10	0,5	12,7				182	

Fonte: AUTOR, 2017.

À partir daí é montada a curva C.B.R conforme mostrado em Gráfico 2.

Gráfico 2 - Curva C.B.R Jazida Luiz Gonzaga Sem Adição

Fonte: AUTOR, 2017.

Logo, o solo apresentou CBR de 13,05%.

3.7 ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA SOLO COM ADIÇÃO DE CIMENTO

À partir dos resultados obtidos através do ensaio de Índice de Suporte California, o solo apresentou CBR final igual a 13,05%.

Segundo o DNIT (2006), é necessário que o solo apresente $CBR \geq 20\%$ para aplicação em sub-base e $CBR \geq 80\%$ para aplicação em base, logo é necessário a adição de cimento.

Com o teor de 1% de cimento obteve-se a seguinte Tabela 7.

Tabela 7 - Expansão Jazida Luiz Gonzaga adição 1% Cimento

Expansão				
Datas		Leitura	Difer.	Exp.
Dia	Hora	Defl	mm	mm
8-nov	19:30	0,00	0,00	0,00
9-nov	19:30	4,00	4,00	3,60
10-nov	19:30	4,00	0,00	3,60
11-nov	19:30	5,00	1,00	0,90

Fonte: AUTOR, 2017.

A penetração é apresentada a seguir na Tabela 8, através das leituras observadas:

Tabela 8 - Ensaio de Penetração Jazida Luiz Gonzaga adição 1% Cimento

ENSAIO DE PENETRAÇÃO							
Tempo	Penetração		Leitura	Pressão - Kg/cm ²			
min.	Pol	mm	Extens.	Determ.	Corrigido	Padrão	%
30 seg	0,025	0,63	15	1,5			
1	0,05	1,27	30	3,0			
2	0,1	2,54	63	6,4	6,4	70	9,14
4	0,2	5,08	145	14,7	14,7	105	14,02
6	0,3	7,62	220	22,3		133	
8	0,4	10,16	310			161	
10	0,5	12,7				182	

Fonte: AUTOR, 2017.

Á partir daí é montada a curva C.B.R conforme mostrado em Gráfico 3.

Gráfico 3 - Curva C.B.R Jazida Luiz Gonzaga adição 1% Cimento

Fonte: AUTOR, 2017.

De acordo com o DNIT (2006), é necessário que o solo apresente $\text{CBR} \geq 20\%$ para aplicação em sub-base, logo, é necessário a adição de cimento ao solo, pois o CBR adquirido foi de 14,02%, sendo assim não apresenta o valor mínimo necessário para aplicação em sub-base de pavimento.

Com o teor de 2% de cimento obteve-se a seguinte Tabela 9.

Tabela 9 - Expansão Jazida Luiz Gonzaga adição 2% Cimento

Expansão				
Datas		Leitura	Difer.	Exp.
Dia	Hora	Defl	mm	mm
8-nov	19:30	0,00	0,00	0,00
9-nov	19:30	5,00	5,00	4,50
10-nov	19:30	6,00	1,00	0,90
11-nov	19:30	6,50	0,50	0,45

Fonte: AUTOR, 2017.

A penetração é apresentada a seguir na Tabela 10, através das leituras observadas:

Tabela 10 - Ensaio de Penetração Jazida Luiz Gonzaga adição 2% Cimento

ENSAIO DE PENETRAÇÃO							
Tempo min.	Penetração Pol	Leitura mm	Extens.	Determ.	Pressão - Kg/cm ²		
					Corrigido	Padrão	%
30 seg	0,025	0,63	20	2,0			
1	0,05	1,27	50	5,1			
2	0,1	2,54	128	13,0	13,0	70	18,56
4	0,2	5,08	296	30,0	30,0	105	28,61
6	0,3	7,62	458	46,5		133	
8	0,4	10,16	640			161	
10	0,5	12,7				182	

Fonte: AUTOR, 2017.

Á partir daí é montada a curva C.B.R conforme mostrado em Gráfico 4.

Gráfico 4 - Curva C.B.R Jazida Luiz Gonzaga adição 2% Cimento

Fonte: AUTOR, 2017.

De acordo com o DNIT (2006), é necessário que o solo apresente $\text{CBR} \geq 20\%$ para aplicação em sub-base e $\text{CBR} \geq 80\%$ para aplicação em base, logo o solo da Jazida Luiz Gonzaga com adição de 2% de cimento pode ser utilizado para aplicação apenas em sub-base de pavimento, pois o CBR adquirido foi de 28,61%, não alcançando o valor mínimo necessário para aplicação em base de pavimento.

Com o teor de 5% de cimento obteve-se a seguinte Tabela 11.

Tabela 11 - Expansão Jazida Luiz Gonzaga adição 5% Cimento

Expansão				
Datas		Leitura	Difer.	Exp.
Dia	Hora	Defl	mm	mm
8-nov	19:30	0,00	0,00	0,00
9-nov	19:30	0,50	0,50	0,45
10-nov	19:30	0,50	0,00	0,45
11-nov	19:30	1,00	0,50	0,45

Fonte: AUTOR, 2017.

A penetração é apresentada a seguir na Tabela 12, através das leituras observadas:

Tabela 12 - Ensaio de Penetração Jazida Luiz Gonzaga adição 5% Cimento

ENSAIO DE PENETRAÇÃO							
Tempo min.	Penetração Pol	Leitura mm	Extens.	Determ.	Pressão - Kg/cm ²		
					Corrigido	Padrão	%
30 seg	0,025	0,63	20	2,0			
1	0,05	1,27	110	11,2			
2	0,1	2,54	398	40,4	40,4	70	57,71
4	0,2	5,08	840	85,3	85,3	105	81,20
6	0,3	7,62	1114	113,1		133	
8	0,4	10,16	1345			161	
10	0,5	12,7				182	

Fonte: AUTOR, 2017.

Á partir daí é montada a curva C.B.R conforme mostrado em Gráfico 5.

Gráfico 5 - Curva C.B.R Jazida Luiz Gonzaga adição 5% Cimento

Fonte: AUTOR, 2017.

Segundo o DNIT (2006), é necessário que o solo apresente $\text{CBR} \geq 20\%$ para aplicação em sub-base e $\text{CBR} \geq 80\%$ para aplicação em base, logo o solo da Jazida Luiz Gonzaga com adição de 5% de cimento pode ser utilizado para aplicação tanto em sub-base como base de pavimento, pois o CBR adquirido foi de 81,2%, alcançando assim o valor mínimo necessário para aplicação em sub-base e base de pavimento.

A partir dos dados obtidos anteriormente, pôde-se gerar a Tabela 13, que possui os valores de CBR finais para cada solo proposto, com adição de cimento.

Tabela 13 – CBR finais e Classe Funcional (C.F.)

JAZIDA	SOLO SEM ADIÇÃO		ADIÇÃO 1% CIMENTO		ADIÇÃO 2% CIMENTO		ADIÇÃO 5% CIMENTO	
	CBR (%)	C. F.	CBR (%)	C. F.	CBR (%)	C. F.	CBR (%)	C. F.
LUIZ GONZAGA	13,05	-	14,02	-	28,61	SUB-BASE	81,2	BASE E/OU SUB-BASE

Fonte: AUTOR, 2017.

De acordo com os dados da Tabela 13, referente aos CBR finais encontrados para as amostras de solo e com adição de cimento, constata-se que há um crescimento proporcional, pois, a medida em que os teores de cimento vão aumentando, maiores são os valores de CBR achados. Dessa maneira, tem-se que utilização de cimento ofertou ao solo uma melhora na sua capacidade de suporte de carga, fazendo assim com que o solo deficiente alcance o CBR mínimo para que possa ser utilizado em camadas de base e/ou sub-base de um pavimento.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da verificação da influência de parâmetros, o solo natural apresentou $\text{CBR} < 20\%$, ou seja, CBR abaixo do necessário para aplicação em sub-base de pavimento, sendo necessária a adição de cimento para melhoramento de suas propriedades.

O solo quando tratado com cimento, apresentou um aumento significativo de CBR quando comparado ao solo sem adição, o que o torna um material de construção com potencial para aplicação em base e/ou sub-base de pavimentos.

Logo, conclui-se que o solo natural e o solo com adição de 1% de cimento não atenderam aos critérios estabelecidos pelo método do DNER para materiais de base e/ou sub-base empregados em pavimento, o solo com teor de 2% atendeu aos critérios necessários estabelecidos pelo método do DNER para materiais de apenas sub-base ($\text{C.B.R.} \geq 20\%$, $\text{Expansão} \leq 1\%$) e o solo com teor de 5% de cimento atendeu aos critérios estabelecidos pelo

método do DNER para materiais de sub-base e base ($C.B.R. \geq 80\%$, $Expansão \leq 0,5\%$, $LL \leq 25\%$ e $IP \leq 6\%$). Valendo salientar que a adição de cimento Portland apresentou resultados satisfatórios, em comparação a amostra original, tendo em vista que os resultados dos traços avaliados atenderam às normas vigentes de pavimentação.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **SOLO-CIMENTO**. São Paulo: [s.n.], 2009. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/cms/basico-sobre-cimento/aplicacoes/solo-cimento/>>. Acesso em: 25/03/2018.

BERNUCCI, L. B.; et al. **PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA: Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS, 2006.

CNT. **Pesquisa CNT de rodovias 2016: relatório gerencial**. 20.ed. Brasília: CNT: SEST: SENAT, 2016.

DNER. **Manual de Implantação Básica**. 2 ed. Rio de Janeiro: [s.n.], 1996.

DNIT. **Manual de Pavimentação**. 3ed. Rio de Janeiro: [s.n.], 2006.

FILHO, Wilson Barbosa de Almeida. **EMPREGO DA MISTURA SOLO-CIMENTO EM BASES E SUB-BASES DE PAVIMENTOS**. 27f. Trabalho de Conclusão de Curso - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade São Francisco, Itabatiba, 2008.

HIJJAR, MARIA FERNANDA. **CENÁRIO DA INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA NO BRASIL**. [s.l.: s.n., 2011]. Disponível em: < <http://www.ilos.com.br/web/cenario-da-infraestrutura-rodoviaria-no-brasil/>>. Acesso em: 08/03/2018.

MARQUES, Geraldo Luciano de Oliveira. **PAVIMENTAÇÃO**. Juíz de Fora: [s.n.], 2012. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/pavimentacao/files/2012/03/Notas-de-Aula-Prof.-Geraldo.pdf>>. Acesso em: 05/03/2018.