

Estudo comparativo entre as misturas solo-seixo e solo-brita para fins de pavimentação

Comparative study between pebble and gravel soil for paving purposes

Estudio comparativo entre suelo guijarro y suelo grava para fines de pavimentación

Étude comparative entre le sol cailloux et le sol gravier pour fair du pavement

José Mamede Rebouças de Oliveira Júnior

josemamedejr@outlook.com
Universidade de Fortaleza

Carla Beatriz Costa de Araújo

carlabeatriz@unifor.br
Universidade de Fortaleza

Thiago Moura da Costa Ayres

thiagoayres@edu.unifor.br
Universidade de Fortaleza

Resumo

Este artigo apresenta a análise comparativa das características mecânicas entre uma amostra de solo classificada como A-2-4 segundo a classificação TRB e suas misturas com brita e seixo rolado, visando à aplicação em camadas de sub-base e base de pavimentos rodoviários. Foram realizados ensaios de granulometria, limites de liquidez e de plasticidade, densidade real dos grãos, compactação, abrasão Los Angeles e CBR considerando sete situações, o solo *in natura*, acréscimo de 20%, 30% e 40% com brita e nas mesmas proporções com seixo rolado. Fez-se uma comparação com os resultados obtidos a fim de avaliar a influência dos agregados no ganho de resistência mecânica utilizando-se em ambos os agregados. Os resultados indicaram que houve um aumento de, em média, 65% do CBR da mistura solo-seixo. Os resultados dos ensaios de CBR das misturas de solo-brita foram, em média, 60% maiores que as misturas de solo-seixo. Os resultados apresentam valores satisfatórios para a utilização das misturas, tanto como material de sub-base quanto como material de base.

Palavras-chave: Pavimentação. Camada de base. Seixo rolado. Solo brita. Camada de sub-base.

Abstract

This article presents the comparative analysis of mechanical characteristics between a soil sample, classified as an A-2-4 according to the TRB classification, and its mixtures with gravel and rolled pebbles, aiming at the application in layers of sub-base and base of pavements road transport. Grain density, liquid and plasticity limits, grain real density, compaction, Los Angeles and CBR abrasion were evaluated considering 7 situations, in natura soil, 20%, 30% and 40% increase in gravel and in the same proportions with rolled pebble. A comparison with the results obtained in order to evaluate the influence of the aggregates on the gain of mechanical resistance using both aggregates, where there was an increase of on average 65% of the CBR of the pebble soil mixture was made. The results of the CBR tests of gravel soil mixtures were on average 60% higher than the pebble soil mixtures. The results show satisfactory values for the use of the mixtures as both sub-base material and base material

Keywords: Paving. Base layer. Rolled pebble. Gravel soil. Sub-base layer.

Resumen

Este artículo presenta el análisis comparativo de las características mecánicas entre una muestra de suelo, clasificada como una A-2-4 según la clasificación TRB, y sus mezclas con grava y guijarro, buscando la aplicación en capas de sub-dase y base de pavimentos de carreteras. Fueron realizados ensayos de granulometría, límites de liquidez y de plasticidad, densidad real de los granos, compactación, abrasión Los Angeles y CBR considerando 7 situaciones, el suelo in natura, incremento de 20%, 30% y 40% con grava y en las mismas proporciones en guijarro. Se hizo una comparación con los resultados obtenidos para evaluar la influencia de los agregados en la ganancia de resistencia mecánica utilizando ambos los agregados, donde hubo un gran aumento de, en media, 65% del CBR de la mezcla del suelo guijarro. Los resultados de los ensayos de CBR de las mezclas de suelo grava fueron, en media, 60%

más grandes que las mezclas de suelo guijarro. Los resultados presentan valores satisfactorios para la utilización de las mezclas tanto como material de sub-base como de base.

Palabras-clave: Pavimentación. Capas de base. Guijarro. Suelo grava. Capa de sub-base.

Résumé

Cet article présente l'analyse comparative des caractéristiques mécaniques entre un échantillon de sol, classé comme A-2-4 selon le classement CRT, et ses mélanges avec du gravier et des cailloux roulés, avec l'objectif de l'application en couches de base et de sous-base des pavements routiers. Il a été réalisé des essais de granulométrie, des limites de liquidité et de plasticité, de la densité réelle des grains, de la compactation, de l'abrasion Los Angeles et CBR en considérant 7 situations, le sol in natura, l'addition de 20%, 30% et 40% avec des gravier et dans le mêmes proportions avec des cailloux roulés. Une comparaison avec les résultats obtenus a été faite avec l'objectif d'évaluer l'influence des agrégats sur le gain de résistance mécanique en utilisant les deux agrégats. Il a eu une augmentation, en moyenne, de 65 % du CBR du mélange du sol cailloux. Les résultats des essais CBR des mélanges de sol gravier ont été, en moyenne, 60 % plus grand que les mélanges de sol cailloux. Les résultats montrent des valeurs satisfaisantes pour l'utilisation des mélanges soient comme matériaux de sous-base, soient comme matériaux de base.

Mots-clés: Pavement Couche de base. Cailloux Roulés Solo gravier Couche de sous-base.

1 Introdução

Apesar de o Brasil ter o sistema rodoviário como principal sistema de transporte de cargas e passageiros, com uma rede de milhares de quilômetros de estradas e rodovias por onde passam mais da metade de todas as cargas movimentadas em seu território, toda essa malha ainda não é suficiente para a demanda de transporte do país. De acordo com uma pesquisa da Confederação Nacional dos Transportes (CNT) de 2017, 61,8% apresentam algum tipo de problema no pavimento, de forma que 33,6% do pavimento é classificado como regular; 20,1%, como ruim; e 8,1%, como péssimo. A má qualidade das rodovias está relacionada a uma insuficiente manutenção, oferecendo riscos para todos os usuários. Torna-se necessário um grande investimento no sistema rodoviário brasileiro, com a construção, pavimentação e reforma de milhares de quilômetros de rodovias para que o país chegue a níveis melhores de qualidade. Além disso, segundo Ribeiro (2014), com o crescimento da indústria automobilística e com o aumento da capacidade de carga dos veículos, as rodovias brasileiras estão passando por um processo significativo de deterioração.

Para Oliveira (2011), a utilização de materiais existentes próximos ao local de execução da obra gera uma economia em relação aos gastos com transporte. Dessa forma, o melhoramento de solos locais é uma solução que deve ser utilizada para construção de pavimentos e também uma alternativa para a utilização de solos locais e redução dos custos. Sendo assim, a utilização de seixo rolado com o solo para estabilização das camadas de base e sub-base do pavimento se apresenta como uma das possíveis soluções para o melhoramento de solos utilizados na pavimentação.

Por razões de ordem técnica e econômica, fixam-se características mínimas a serem satisfeitas pelas diferentes camadas no dimensionamento dos pavimentos. Pode ocorrer casos em que o pavimento seja constituído por revestimento, uma base e uma camada de material que não satisfaça as especificações da sub-base, mas atende às de reforço de subleito. Do ponto de vista geométrico, há um pavimento composto por revestimento, base e sub-base, mas, do ponto de vista estrutural, há um pavimento constituído por revestimento, base (com uma espessura maior por conta da ausência da sub-base) e o reforço do subleito (SOUZA, 1980).

Assim, este trabalho tem por objetivo principal estudar as características físicas do seixo rolado e da mistura solo seixo, avaliando a viabilidade técnica da sua utilização na camada de base de pavimentos rodoviários e comparando-o, em seguida, com a base de solo brita. Este estudo foi realizado com diferentes percentuais de mistura de seixo rolado e brita com solo, analisando as propriedades físicas e mecânicas das misturas.

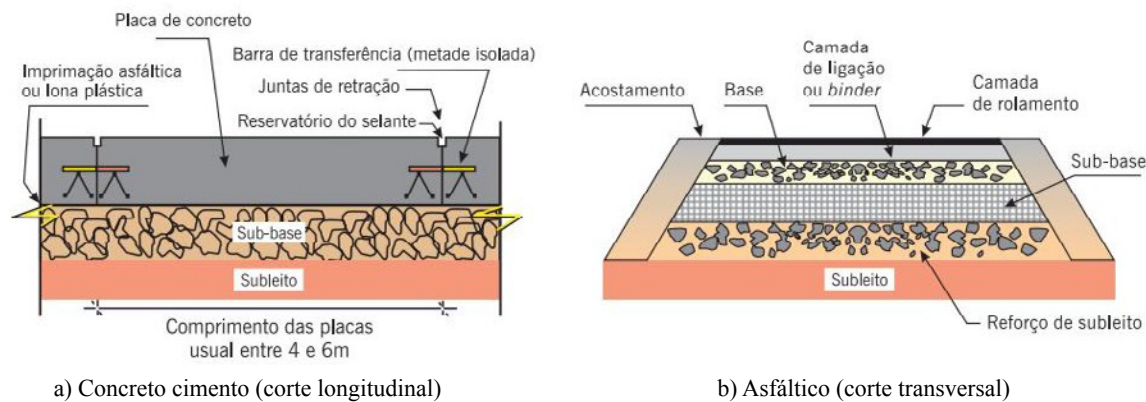
2 Revisão bibliográfica

2.1 Pavimentação

A norma ABNT NBR 7207/82 define como pavimento a estrutura construída após a terraplenagem, que é destinada, economicamente e simultaneamente, em seu conjunto a "resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos

pelo tráfego, melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança, e resistir aos esforços horizontais que nele atuam tornando mais durável a superfície de rolamento”. Segundo Bernucci et al. (2006), os pavimentos podem ser classificados “tradicionalmente em dois tipos básicos: rígidos e flexíveis”. Por pavimentos rígidos, pavimento de concreto-cimento ou cimento Portland, tem-se aqueles em que o revestimento é uma placa de concreto de cimento Portland (BERNUCCI et al., 2008). Já por flexível, ou pavimento asfáltico, subentende-se aqueles em que o revestimento é composto por uma mistura constituída basicamente de agregados e ligantes asfálticos, sendo ainda formado por quatro camadas principais: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço do subleito (BERNUCCI et al., 2008). A figura 2.1 apresenta em (a) uma seção típica de um pavimento rígido e em (b) uma seção de um pavimento flexível.

Figura 2.1 - Estrutura dos pavimentos quanto ao seu tipo.



Fonte: Bernucci et al., 2006.

2.2 Estrutura do pavimento flexível

Os pavimentos flexíveis são constituídos por uma camada de revestimento betuminoso, que suporta os esforços de compressão e tração, apoiado sobre as camadas de base, sub-base e reforço de subleito que são submetidas, principalmente, à compressão. Quando é necessária uma reconfirmação no subleito, pode-se adicionar uma camada de regularização de subleito. Essas camadas são compostas por materiais granulares, solos ou misturas de solos (BERNUCCI et al, 2007).

De acordo com Souza (1980), as camadas do pavimento flexível são definidas como:

- Revestimento: camada superficial com a finalidade de resistir às ações do tráfego, impermeabilizar o pavimento, melhorar as condições de rolamento quanto ao conforto e segurança, e transmitir, de forma minorada, as ações do tráfego para as camadas inferiores.
- Base: camada situada logo abaixo do revestimento, é destinada a receber e resistir às ações do tráfego e transmiti-las ao subleito.
- Sub-base: camada complementar à base, tem as mesmas funções desta e é executada quando, por razões de economia, for adequado reduzir a espessura da base.
- Reforço do subleito: camada existente, no caso de pavimentos muito espessos, executada com o intuito de reduzir a espessura da sub-base.
- Regularização do subleito: camada de espessura variável, executada quando necessário, com a finalidade de preparar o leito para receber as camadas do pavimento.

2.3 Materiais de base, sub-base e reforço de subleito

Os materiais que constituem as camadas de base, sub-base e reforço de subleito são basicamente solos e agregados. Ocasionalmente, usa-se aditivos como cal, cimento, emulsão asfáltica, entre outros. Para serem empregados na estrutura dos pavimentos, esses materiais são escolhidos pelas suas características de natureza, pois interferem nas propriedades geotécnicas no estado compactado. Desse modo, esses materiais depois de compactados, devem se apresentar resistentes, pouco deformáveis e com permeabilidade compatível com sua função na estrutura. Eles são classificados em materiais

granulares e solos, materiais estabilizados quimicamente ou cimentados, e materiais asfálticos. Essa classificação é feita segundo o seu comportamento frente aos esforços (BERNUCCI et al, 2008).

Entende-se por materiais granulares aqueles que não têm coesão (a não ser aparente pela sucção), não resistem à tração e trabalham. Eminentemente aos esforços de compressão. Os solos coesivos trabalham, principalmente, a compressão, mas também resistem à tração, mesmo de maneira discreta, graças à coesão dada pela fração fina. Os materiais cimentados são materiais que recebem a adição de cimento, cal ou outro aditivo, proporcionando um aumento na rigidez do material e na resistência à tração e compressão. Existem ainda as misturas asfálticas e solo-asfalto, que se destinam à camada de base. Nesse caso, a mistura com os agregados é feita com ligante asfáltico, aumentando bastante a resistência à tração, tornando-a superior aos solos argilosos (BERNUCCI et al, 2008).

2.3.1 Solo-agregado

Da classe dos granulares e solos, os materiais mais usados na pavimentação são: brita graduada simples, brita ou bica corrida; macadame hidráulico; macadame seco; misturas estabilizadas granulometricamente; mistura solo-agregado; solo natural e solo melhorado com cimento ou cal. Existe ainda outros materiais que vêm sendo usados frequentemente na pavimentação em decorrência da reciclagem e reutilização, como escória de alto-forno, agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil, rejeitos da extração de rochas ornamentais e mistura asfáltica fresada (BERNUCCI et al, 2007).

As misturas solo-agregado são misturas naturais ou preparados de britas, pedregulhos e areias que contenham silte e argila. Os solos agregados são subdivididos em três tipos dependendo da proporção relativa entre a parte gráuda e a parte fina. Segundo Yoder e Witzak (1975), essas subdivisões são classificadas como solo agregados sem finos, solo agregado com fino e solo agregados com muito fino. Bernucci et al, (2007) dizem que se têm empregado com mais frequência as misturas de solo agregado com fino e solo agregado com muito fino, chamadas de solo-brita e solo-areia, respectivamente.

Por fim, define-se base e sub-base de mistura solo-brita como camadas constituídas de mistura artificial em usina de solo com agregado pétreo britado, que apresentam grande estabilidade e durabilidade para resistir a cargas do tráfego e ação de agentes climáticos, quando adequadamente compactadas. Os solos são provenientes de ocorrência de materiais de área de empréstimo e jazidas.

3 Metodologia

Inicialmente, foi necessária a coleta de amostras de solo e dos agregados, de seixo rolado e de brita para a realização dos ensaios de laboratório.

O solo designado para o estudo deste trabalho foi coletado em uma antiga jazida de solo que serviu para a obra de duplicação da Rodovia CE-040 próximo ao quilometro 56. Foram coletados cerca de 60 kg de solo para a realização dos ensaios (Figura 3.1).

Figura 3.1- Jazida de solo – Cascavel - CE.



Fonte: Autor (2018)

O seixo rolado foi adquirido em uma jazida de areia grossa no município de Aquiraz-CE. O seixo é um material considerado expurgo da extração da areia grossa (Figura 3.2).

Figura 3.2- Jazida de areia grossa – Aquiraz - CE.



Fonte: Autor (2018)

A brita usada no trabalho foi coletada na Pedreira Ponta da Serra, no município de Caucaia-CE. Localizada na BR 020 S/N – Mirambe, a pedreira está em atividade desde 2011, produzindo brita de variadas granulometrias. Foram coletados cerca de 30 kg de brita para o estudo (Figura 3.3).

Figura 3.3 - Jazida de brita – Caucaia – CE.



Fonte: Autor (2018)

3.1 Ensaios com o solo

Os ensaios realizados para a caracterização do solo foram: granulometria, limite de liquidez, limite de plasticidade, densidade real, equivalente de areia, compactação e CBR.

O ensaio de granulometria foi feito de acordo com a norma DNER-ME 080/94. Para os ensaios de limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP), foram consideradas a DNER-ME 122/94 e DNER-ME 082/94, respectivamente. O ensaio de equivalente de areia foi realizado de acordo com a norma DNER-ME 054/97. Foi considerada a DNER-ME 093/94 para o ensaio de densidade real do grão. O ensaio de compactação foi executado conforme a DNER-ME 162/94. A energia de compactação utilizado no ensaio foi a do método C - modificado (55 golpes). Por fim, para o ensaio de CBR, foi seguido a norma DNER-ME 049/94.

3.2 Ensaios com o seixo rolado

Foram feitos os ensaios de abrasão “Los Angeles” e de granulometria para caracterização do seixo rolado. A norma seguida para a realização do ensaio de abrasão “Los Angeles” foi a DNER-ME 0035/98, e para o ensaio de granulometria do seixo rolado foi usada a NBR 7217.

3.3 Ensaios com a brita

Os ensaios realizados com a brita foram os mesmos utilizados para o seixo rolado, Los Angeles e Granulometria, utilizando-se a DNER-ME 0035/98 e a NBR 7217, respectivamente.

3.4 Ensaios com a mistura solo-seixo

A princípio, pensou-se em adicionar 30%, 40% e 50% de seixo rolado ao solo para se conseguir um maior valor de resistência da mistura solo-seixo. Mas, diante do resultado de CBR do solo natural de 72,1%, diminui-se a proporção de seixo, pois o solo natural apresentou um valor de resistência muito alto. Reduzir tais percentuais possibilitou o estudo com certa economia de agregado. As percentagens de seixo adotadas para mistura foram de 20%, 30% e 40%. Essas percentagens foram feitas em relação ao peso seco das amostras. Os ensaios realizados foram de granulometria, compactação e CBR. A figura 3.4 mostra as misturas utilizadas para os ensaios de compactação e CBR.

Figura 3.4: Misturas solo-seixo utilizadas nos ensaios de compactação e CBR



Fonte: Autor (2018)

3.5 Ensaios com a mistura solo-brita

Seguiu-se o mesmo roteiro da mistura solo-seixo para a mistura solo-brita. As proporções usadas nas misturas também foram de 20%, 30% e 40% de brita em relação ao peso seco da amostra, e o solo utilizado foi o mesmo. Os ensaios realizados foram de compactação e CBR.

4 Resultados e discussão

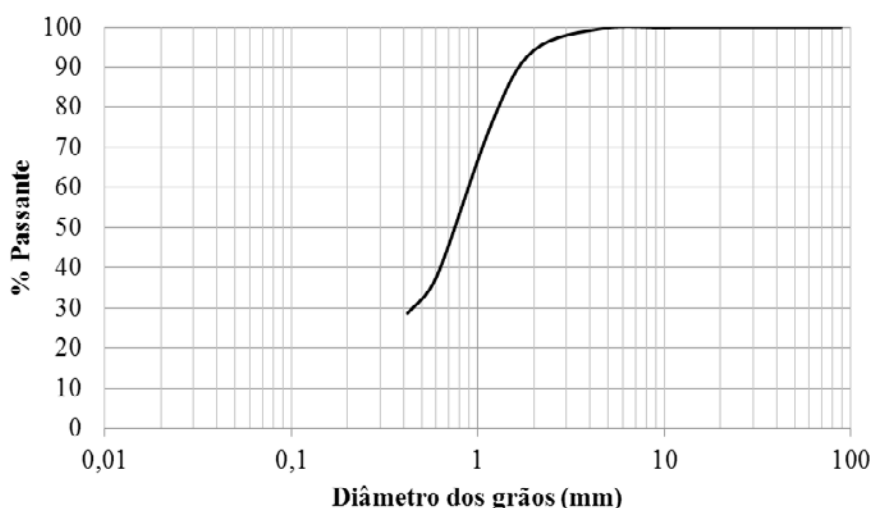
4.1 Caracterização do solo natural

Os ensaios realizados forneceram os seguintes resultados: a densidade real dos grãos apresentada pelo solo foi igual a $2,55 \text{ g/cm}^3$; o valor encontrado para o equivalente de areia foi igual a 30,25%; e encontrou-se 19,5% e 11,5%, respectivamente, para o limite de liquidez e limite de plasticidade, resultando em um índice de plasticidade 8,1%. Diante dessas informações, constatou-se que o solo, de acordo com o sistema de classificação TRB/AASHO, se enquadrava na classificação A-2-4, uma areia ou pedregulho silteoso.

De acordo como é especificado pelo manual de pavimentação do DNIT (2006), verifica-se que os valores encontrados nos ensaios LL e IP impossibilitariam a utilização desse material em camada de base e sub-bases, pois o manual determina que os valores para esses ensaios sejam, respectivamente, $<25\%$ e $<6\%$. Porém, quando esses índices são ultrapassados, o equivalente de areia precisa ser superior a 30% para ser possível a sua utilização. Como o valor encontrado no ensaio de equivalente de areia foi de 30,25%, a utilização do solo em camadas de base e sub-base dos pavimentos é viável, seguindo as orientações do manual.

as porcentagens dos materiais constituintes do solo foram obtidas através do ensaio de granulometria: 0,3% de pedregulho, 23,2% de areia grossa, 47,8% de areias fina e 28,7% de siltes e argilas. A figura 4.1 mostra a curva granulométrica do solo.

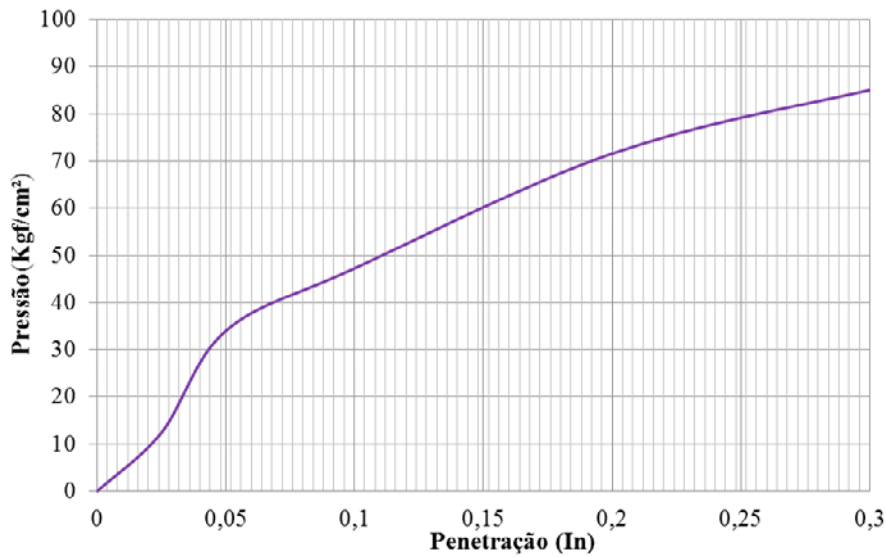
Figura 4.1 – Curva granulométrica do solo natural.



Fonte: Autor (2018)

No que se refere ao Índice de Suporte Califórnia do solo e à expansão dele, os valores obtidos nos ensaios foram, respectivamente, 72,1% e 0,028%. A energia de compactação utilizada no ensaio foi a do proctor modificado, que é especificada para materiais de base. Diante dos resultados obtidos, podemos constatar que o solo atende às especificações do DNIT (2006). Ele determina valores para base de, no mínimo, 60% de CBR quando o número de repetições dos eixos dos veículos equivalentes às solicitações do eixo padrão rodoviário durante o período de projeto for menor que 5×10^6 , ou de 80% de CBR quando esse número de repetições for maior que 5×10^6 , e ainda expansão menor que 0,5%. Para a camada de sub-base, o valor do CBR deve ser, no mínimo, de 20%, e a expansão limitada a 1%. A Figura 4.2 mostra a curva obtida do ensaio de CBR.

Figura 4.2 – Curva do ensaio de CBR do solo natural.



Fonte: Autor (2018)

4.2 Caracterização do seixo

O ensaio de abrasão Los Angeles (Quadro 4.1) feito com o seixo apresentou um resultado de 46,22%. De acordo com o manual do DNIT (2006), esse valor encontrado no ensaio atende ao especificado para base granular, pois o mesmo limita o desgaste até 50%.

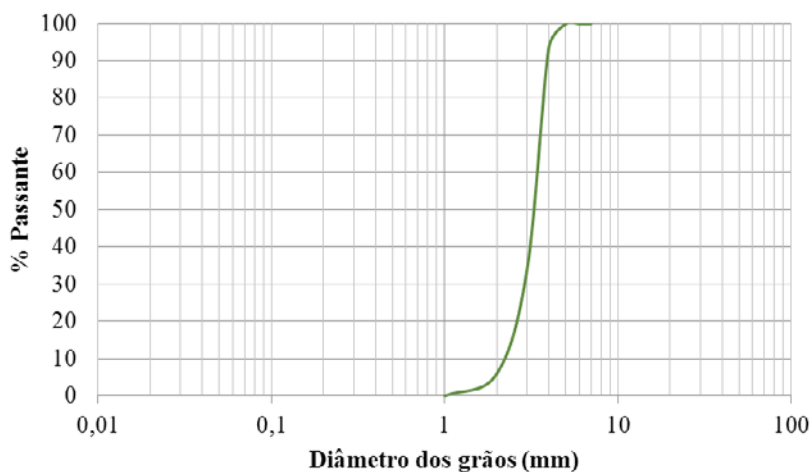
Quadro 4.1 – Ensaio de abrasão Los Angeles do seixo rolado.

AMOSTRA					CARGA ABRASIVA
FAIXA	PASSA (mm)	RETIDO (mm)	QUANTIDADE (g)	TOTAL (g)	Nº DE ESFERAS
G	38	25	5000,00	10000,00	12 = 5000,00 G
	25	19	5000,00		
RESULTADOS					
PESO INICIAL (g)		10000,00	DESGASTE (%)		SITUAÇÃO DO AGREGADO
RETIDO NA # 1,7mm		5377,60	OBTIDO	46,22%	
PASS. NA # 1,7 mm		4622,40			
DESGASTE		46,22%	ADMISSÍVEL	<50%	

Fonte: Autor, 2018

O ensaio de granulometria do seixo (Figura 4.3) mostrou que o material possui granulometria uniforme. Segundo Souza (1980), agregados uniformes em que o tamanho mínimo está acima da peneira nº4 são chamados de agregados do tipo macadame.

Figura 4.3 – Curvas granulométricas do seixo

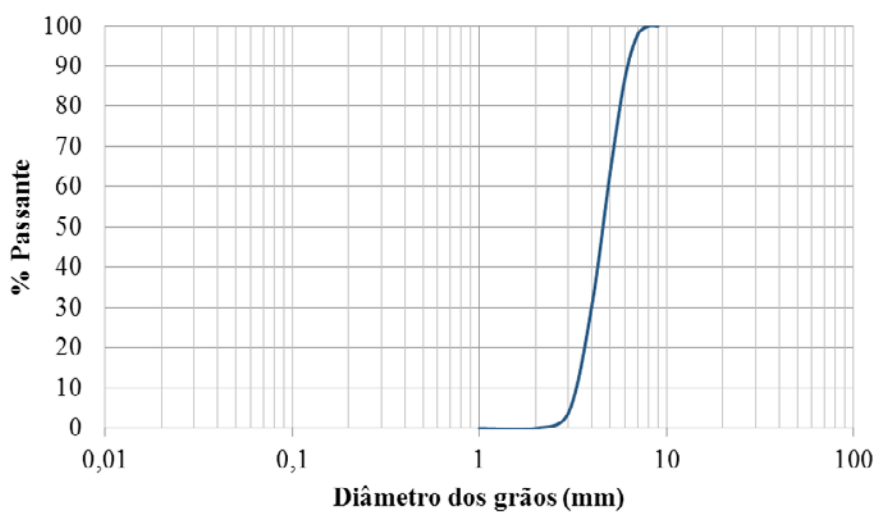


Fonte: Autor (2018)

4.3 Caracterização da brita

A brita mostrou ser um agregado de curva granulométrica uniforme, assim como o seixo (Figura 4.4).

Figura 4.4 – Curvas granulométricas da brita



Fonte: Autor (2018)

De acordo com os resultados obtidos pelo ensaio de Abrasão Los Angeles (Quadro 4.2), a brita comprovou ser agregado com uma alta resistência ao desgaste. Com um resultado de 29,15%, a brita está de acordo com o limite admissível, de 50% de desgaste, estabelecido pelo Manual de Pavimentação do DNIT (2006).

Quadro 4.2 – Ensaio de abrasão Los Angeles da brita.

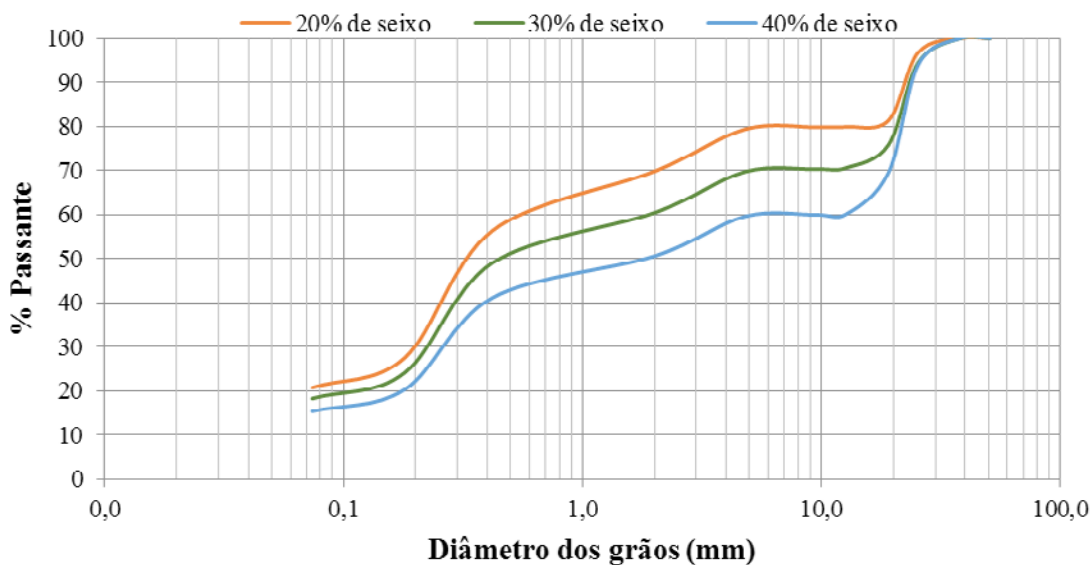
AMOSTRA					CARGA ABRASIVA
FAIXA	PASSA (mm)	RETIDO (mm)	QUANTIDADE (g)	TOTAL (g)	Nº DE ESFERAS
B	19	12,5	2500,00	5000,00	11 = 4584,00 G
	12,5	9,5	2500,00		
RESULTADOS					
PESO INICIAL (g)	5000,00		DESGASTE (%)		SITUAÇÃO DO AGREGADO
RETIDO NA # 1,7mm	3542,45		OBTIDO	29,15%	ACEITÁVEL
PASS. NA # 1,7 mm	1457,55				
DESGASTE	29,15%		ADMISSÍVEL	<50%	

Fonte: Autor, 2018

4.4 Misturas de solo-seixo – 20%, 30%, 40% de seixo

O ensaio de granulometria feito com as misturas solo-brita é apresentado na figura 4.2. Os valores para a mistura de 20% de seixo se enquadraram na faixa “F” da tabela de granulometria para base granular. Já as misturas de 30% e 40% enquadraram-se na faixa “D”. Segundo o manual de pavimentação do DNIT (2006), no caso de $N > 5 \times 10^6$, a mistura deve se enquadrar em uma das quatro faixas A, B, C e D e, no caso de $N \leq 5 \times 10^6$, a mistura deve se enquadrar em uma das seis faixas (A, B, C, D, E e F). De acordo com essas especificações, constatou-se que as misturas solo-seixo obedecem ao especificado pelo manual do DNIT.

Figura 4.5 – Curvas granulométricas das misturas solo-seixo

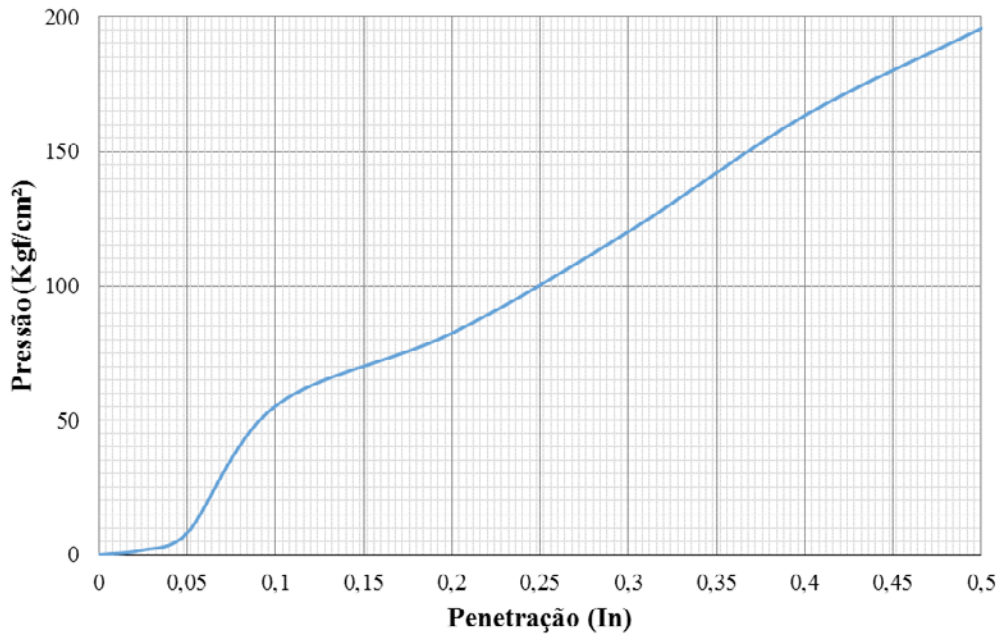


Fonte: Autor (2018)

Os resultados foram aceitáveis para a compactação, pois a densidade máxima foi crescente mediante a adição de seixo. Para os CBR's também se obteve resultados satisfatórios, pois seus valores aumentaram com a adição de seixo, ficando enquadrado dentro das especificações do DNIT (2006) para base. A expansão para as misturas se manteve constante e também atenderam às especificações.

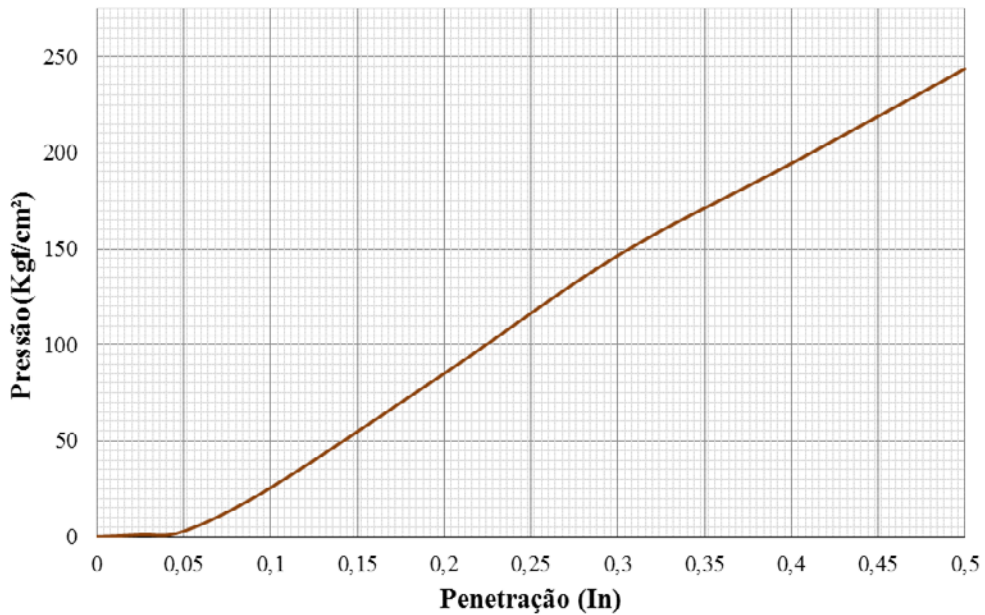
As figuras abaixo apresentam as curvas do ensaio CBR com as misturas solo-seixo nas proporções de 20%, 30% e 40%.

Figura 4.6 – Curvas do ensaio CBR das misturas solo-seixo a 20%



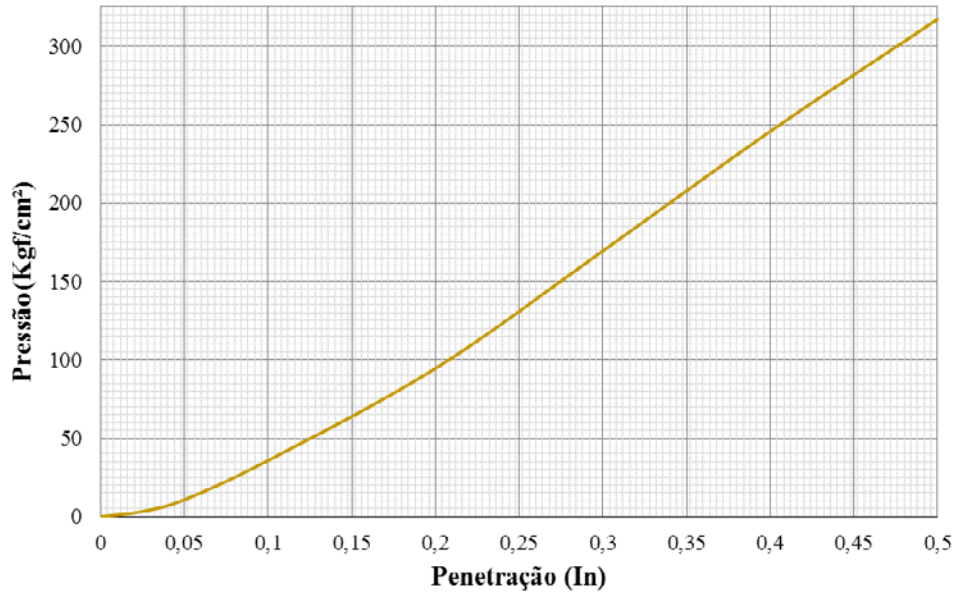
Fonte: Autor (2018)

Figura 4.7 – Curvas do ensaio CBR das misturas solo-seixo a 30%



Fonte: Autor (2018)

Figura 4.8 – Curvas do ensaio CBR das misturas solo-seixo a 40%



Fonte: Autor (2018)

Os resultados obtidos para os ensaios de compactação, CBR e faixas granulométricas das misturas estão relacionados no quadro 3.3.

Quadro 4.3 – Resumo dos ensaios com as misturas solo-seixo.

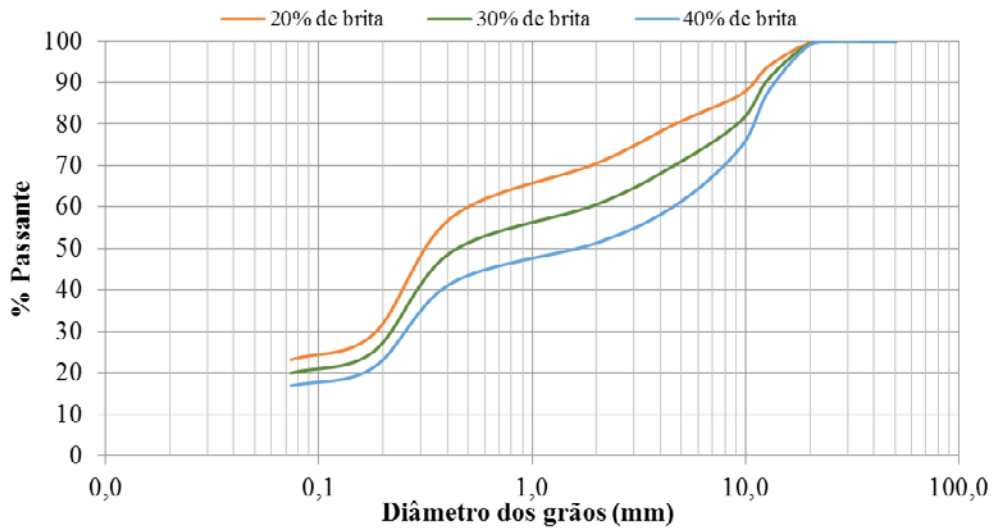
MISTURA SOLO-BRITA	FAIXA DNIT	COMPACTAÇÃO		CBR	
		Umidade ótima (%)	Densidade máxima (%)	Expansão (%)	CBR (%)
20%	F	8,4	2,012	0,014	98,6
30%	D	9,3	2,072	0,014	116,2
40%	D	8,6	2,086	0,011	141,9

Fonte: Autor, 2018

4.5 Misturas solo-brita a 20%, 30% e 40% de brita

O ensaio de granulometria feito com as misturas solo-brita (Figura 4.7) seguiram o mesmo roteiro das misturas solo-seixo. A mistura com 20% de brita se enquadraram na faixa “F” e as misturas com 30% e 40% se enquadraram na faixa “D”.

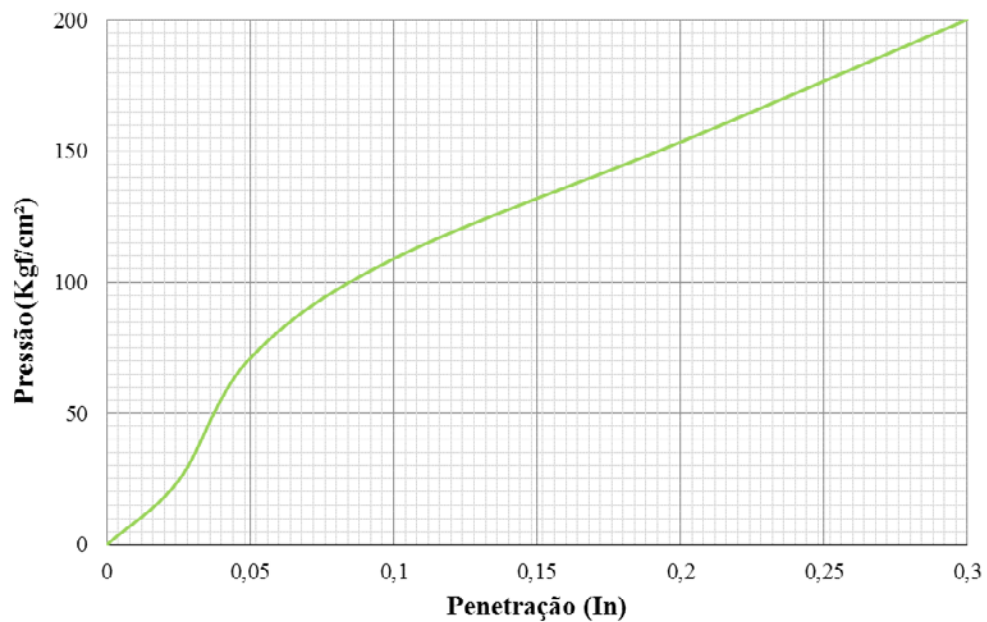
Figura 4.9 – Curvas granulométricas das misturas solo-brita.



Fonte: Autor (2018)

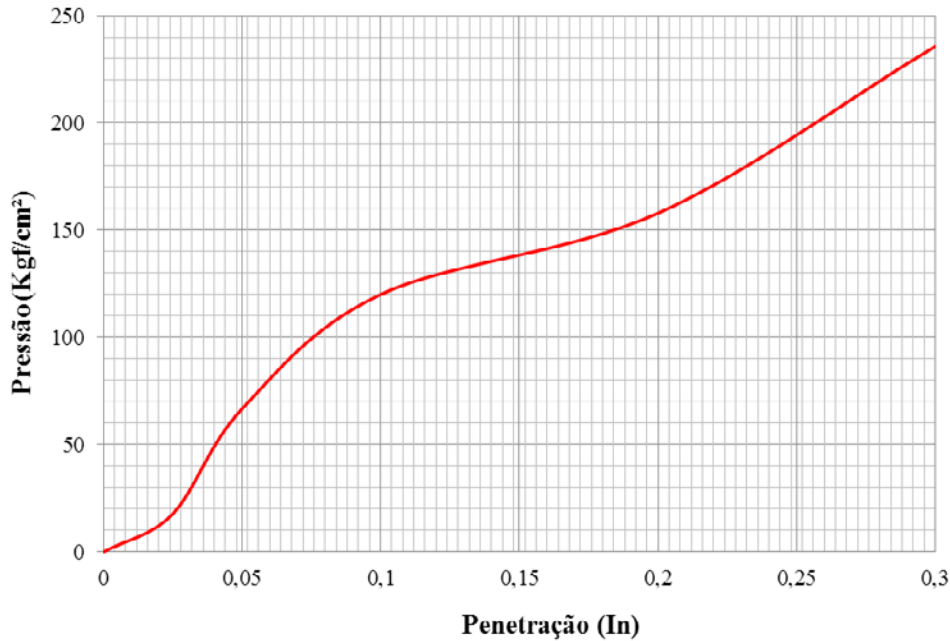
As figuras abaixo apresentam as curvas do ensaio CBR com as misturas solo-brita nas proporções de 20%, 30% e 40%.

Figura 4.10 – Curvas do ensaio CBR das misturas solo-brita a 20%



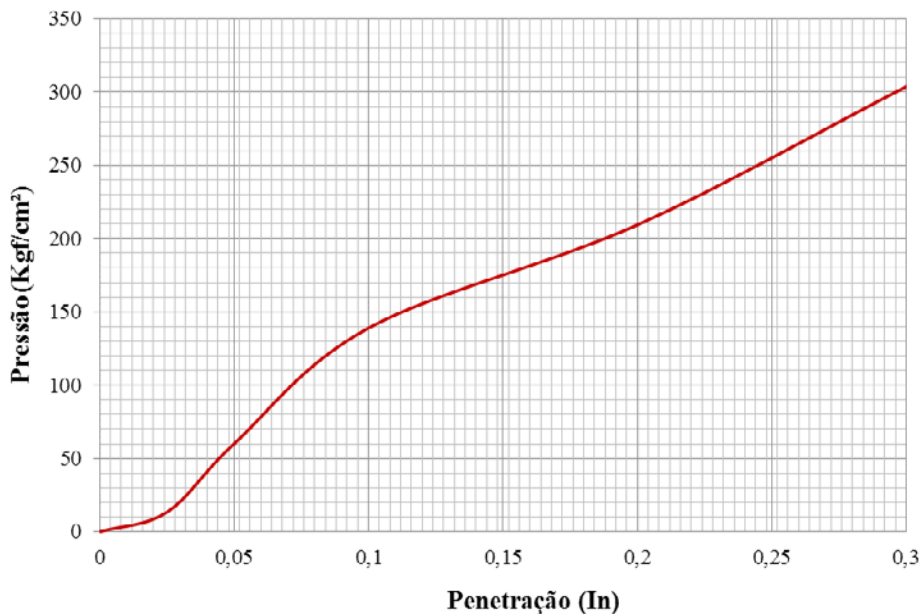
Fonte: Autor (2018)

Figura 4.11 – Curvas do ensaio CBR das misturas solo-brita a 30%



Fonte: Autor (2018)

Figura 4.12 – Curvas do ensaio CBR das misturas solo-brita a 40%



Fonte: Autor (2018)

O quadro 4.4 mostra os resultados encontrados para os ensaios de compactação, CBR e faixas granulométricas das misturas solo-brita. Obtiveram-se resultados aceitáveis para compactação das misturas, pois a densidade máxima cresceu mediante a adição de brita e alcançou valores superiores aos das misturas solo-seixo. Os valores de CBR também tiveram resultados satisfatórios e com elevadíssimos ganhos de resistência mediante a adição de brita. Resultados bem maiores do que os exigidos pelo manual do DNIT.

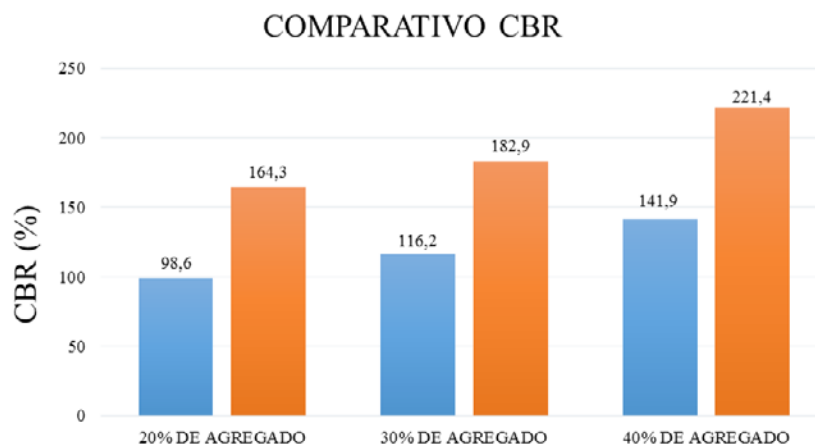
Quadro 4.4 – Resumo dos ensaios com a mistura de solo brita.

MISTURA SOLO-BRITA	FAIXA DNIT	COMPACTAÇÃO		CBR	
		Umidade ótima (%)	Densidade máxima (%)	Expansão (%)	CBR (%)
20%	F	7,5	2,185	0,043	164,3
30%	D	7,3	2,200	0,026	182,9
40%	D	7,0	2,211	0,026	221,4

Fonte: Autor, 2018

4.6 Comparativo entre as misturas

O aumento no valor do CBR da mistura solo-brita é, em média, 60% maior que os valores da mistura solo-seixo. Na proporção de 20% é, aproximadamente, 67% maior; para 30% de agregados essa diferença cai para cerca de 57%; para 40% de agregado é em torno de 56%. Para se ter uma melhor visualização do ganho de resistência com a adição do agregado, elaborou-se a figura 4.11 com os valores de CBR das misturas estudadas.

Figura 4.13 – Curvas granulométricas das misturas de solo brita.

Fonte: Autor (2018)

4 Conclusão

O solo utilizado neste trabalho foi analisado de acordo com as especificações do manual do DNIT para pavimentação rodoviária. Através dos ensaios de caracterização, o solo foi classificado como A-2-4, uma areia ou pedregulho siltoso. Os resultados dos ensaios atenderam todos os requisitos exigidos pela norma, tornando viável a sua utilização na composição das misturas com seixo e com brita. Quando foi submetido ao ensaio de CBR, com a energia de compactação modificada, o solo apresentou um resultado de 72,1%, tornando-o apto para ser utilizado nas camadas de sub-base, mas impedindo sua utilização nas camadas de base. Esses resultados justificaram a adição de um agregado graúdo ao solo com a finalidade de melhorar suas propriedades físicas e, conseqüentemente, possibilitar o seu uso em camadas de base.

Os agregados utilizados nas misturas foram submetidos ao ensaio de abrasão Los Angeles para que se fosse verificada a durabilidade. O manual do DNIT limita o desgaste de um agregado para base granular em até 50%. O resultado do ensaio de desgaste do seixo foi de 46,22% e, para a brita, de 29,15%. Assim, ambos atenderam às exigências da norma, mas percebe-se nos resultados que o seixo tem uma resistência bem menor do que a brita.

As misturas do solo com os agregados, feitas com o intuito de aumentar a capacidade de suporte da base, obtiveram resultados satisfatórios. Os resultados foram, em média, 65% maiores. Na primeira composição, com 20% de seixo, obteve-se um valor de CBR de 98,6%, com um ganho de resistência de 36,75% em relação à capacidade de suporte do solo natural. Na mistura de 30% de seixo, o CBR obteve um valor de 116,2%, com um ganho de resistência de aproximadamente 61,16%. Na mistura de 40% de seixo, o CBR atingiu o valor de 141,9%, obtendo um ganho de resistência de aproximadamente 96,81%. As expansões das misturas obtiveram valores aproximados e dentro das especificações do DNIT.

Os resultados apresentados demonstram a viabilidade da utilização do seixo rolado como agregado para composição de base estabilizada granulometricamente, pois se verificou que, mesmo na menor proporção, a adição de seixo ao solo possibilitou um melhoramento na capacidade de suporte enquadrando-se dentro dos limites especificados pelo manual do DNIT.

Ao se comparar as misturas solo-seixo e solo-brita, percebeu-se uma grande diferença em relação a capacidade de suporte. A mistura solo-brita mostrou valores de CBR, em média, 60% maior do que a mistura solo-seixo. Essa diferença na capacidade de suporte entre as misturas deve-se ao fato da brita ter uma resistência ao desgaste bem maior do que o seixo, demonstrada no ensaio de abrasão Los Angeles. Outro fator importante é a distribuição granulométrica dos agregados. A brita mostrou-se ser um agregado de graduação densa, conduzindo a uma mistura com pequena quantidade de vazios e de boa estabilidade.

Diante dos resultados apresentados neste trabalho, conclui-se que a utilização do seixo rolado na estabilização de base rodoviária é uma opção viável, mantendo as mesmas características físicas quando comparada com a base composta por solo e brita.

Referências

- BERNUCCI, L. B; MOTTA, L. M. G; CERATI, J. A. P; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica**. Rio de Janeiro, 2008.
- CNT – Confederação Nacional dos Transportes – **Pesquisa CNT de rodovias 2017**. Disponível em <<http://pesquisarodovias.cnt.org.br/>>. Acesso em: 09/02/2018.
- DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER ME 035/1998, **Agregados- Determinação da abrasão “Los Angeles”** – Método de ensaio. Rio de Janeiro 1998.
- DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER ME 049/94, **Solos- Determinação do Índice de suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas** – Método de ensaio. Rio de Janeiro 1994.
- DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER ME 080/94, **Solos- Análise granulométrica por peneiramento** – Método de ensaio. Rio de Janeiro 1994.
- DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER ME 082/94, **Solos- Determinação do limite de plasticidade** – Método de ensaio. Rio de Janeiro 1994a.
- DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER ME 122/94, **Solos- Determinação do limite de liquidez** – Método de ensaio. Rio de Janeiro 1994.
- DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER ME 162/94, **Solos- Ensaio de compactação utilizando amostras trabalhadas** – Método de ensaio. Rio de Janeiro 1994.
- DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER ME 054/97, **Solos- Equivalente de areia- Método de ensaio**. Rio de Janeiro 1997.
- DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER ME 93/94, **Solos- Determinação da densidade real** – Método de ensaio. Rio de Janeiro 1994.
- DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de pavimentação**. 3ª ed. Rio de Janeiro. 2006.
- NBR 7217 – **Agregados – Determinação da composição granulométrica** – Procedimento. Rio de Janeiro 1987.
- OLIVEIRA, R.F.V. **Análise de dois solos modificados com cimento para dimensionamento de pavimentos**. Dissertação (Mestrado em engenharia Geotécnica) Ouro Preto: Escola de Minas/UFOP, 2011.
- RIBEIRO, V.A. **Revisão de estudos sobre o reuso de materiais na estabilização de solos para pavimentação**. TCC – Centro de ciências exatas e tecnologia, Universidade de Fortaleza, Fortaleza, CE, 2014.

SOUZA, M.L. **Pavimentação rodoviária**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos: DNER – Instituto de pesquisas rodoviárias, 1980.

YODER, E.J. e WITCZAK, M. W. **Principles of Pavement Design**, 2, ed. John Wiley & Sons, 1975.

Sobre os autores

José Mamede Rebouças de Oliveira Júnior

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade de Fortaleza – Unifor (2016)

Carla Beatriz Costa de Araújo

Doutoranda em Engenharia Civil, área de concentração Recursos hídricos, pela Universidade Federal do Ceará - UFC. Mestre em Engenharia Civil, área de concentração Geotecnia, pela Universidade Federal do Ceará - UFC (2015). Professora da Universidade de Fortaleza – Unifor.

Thiago Moura da Costa Ayres

Graduado de Engenharia Civil pela Universidade de Fortaleza – Unifor (2017). Participante de Grupo de Estudos Tecnológicos Geotecnia: fundações e obras de terra.

Recebido em: 07/05/2018

Avaliado em: 30/05/2018

Aceito em: 30/05/2018