

Comparativo Da Caracterização Mecânica De Camadas De Base De Uma Obra No Estado Do Ceará Utilizando Recicladora. Comparative Of The Mechanical Characterization Of Basic Layers Of A Work In The State Of Ceará Using A Recycler.

Silva, Felipe;

Centro Universitário UNINOVAFAPI, Teresina/PI, Brasil, feliperochasilva12@hotmail.com

Santana, Claudeny;

Centro Universitário UNINOVAFAPI, Teresina/PI, Brasil, cl_deny@yahoo.com.br

RESUMO: A reciclagem de pavimentos tem se mostrado um bom caminho não apenas pela rapidez executiva, mas também pelo aspecto da preservação ambiental. Outra vantagem está em reaproveitar o material deteriorado, os quais protegem o meio ambiente da degradação pela exploração de novos agregados, apresenta rapidez na execução, manutenção do greide original e economia. Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo além do foco em gestão ambiental, comparativo da caracterização mecânica de camadas de base de uma obra utilizando recicladora. Este estudo apresenta a caracterização deste material avaliando a restauração do pavimento com uso da recicladora, especificamente na camada de base. Dentre os ensaios realizados destacam-se ensaios mecânicos (Ensaio de compactação e Índice de Suporte Califórnia). Com os resultados encontrados da pesquisa foi possível caracterizar bem o emprego da tecnologia de reciclagem utilizada no país e a sua importância ambiental, onde se pode destacar uma redução de custos tanto com agregados provenientes de jazidas. Vale ressaltar que todas as propriedades mecânicas do pavimento reciclado estão em conformidade com quesitos de resistência, condições de rolamento, deformabilidade. Com isso é esperado que a técnica seja aumentada nos próximos anos.

PALAVRAS-CHAVE: Reciclagem de pavimentos, meio ambiente, recicladora.

ABSTRACT: The recycling of pavements has proven to be a good way not only by executive speed, but also by the environmental preservation aspect. Another advantage is to reuse deteriorated material, which protects the environment from degradation by the exploration of new aggregates, presents speed in the execution, maintenance of the original greide and economy. In this sense, the present work has as objective besides the focus in environmental management, comparative of the mechanical characterization of base layers of a work using recycler. This study presents the characterization of this material evaluating the restoration of the pavement with use of the recycler, specifically in the base layer. Among the tests carried out are mechanical tests (Compression Test and California Support Index). With the results of the research, it was possible to characterize well the use of the recycling technology used in the country and its environmental importance, where it is possible to highlight a reduction of costs both with aggregates coming from deposits. It is worth mentioning that all the mechanical properties of the recycled floor are in compliance with resistance, rolling conditions, deformability. This is expected to increase the technique in the coming years.

KEYWORDS: Recycling of floors, environment, recycler.

1 Introdução

Os pavimentos são estruturas de múltiplas camadas, sendo o revestimento a camada que se destina a receber a carga dos veículos e mais diretamente a ação climática. De acordo com o Banco Mundial, existem mais de 15 milhões de quilômetros de estradas pavimentadas e rodovias no mundo inteiro, cada ano, centenas de milhares de quilômetros das mesmas requerem grandes restaurações (COSTA; FILHO, 2010).

De acordo com Moreira (2005), a reciclagem de pavimento asfáltico não é uma ideia recente. Teve início na Índia e Singapura, no ano de 1930. Foi nesta época que o Road Research Laboratory iniciou experimentos com reciclagem a frio *in situ*. Porém, apenas a partir do ano de 1970 nos Estados Unidos esse assunto ganhou mais atenção, onde nesta época o petróleo estava em alta com seus valores, atingindo seu pico mais elevado, fazendo com que os custos cada vez mais aumentassem para a realização de novas estruturas de pavimentos. Já no Brasil, deu início em meados dos anos 80, pelo qual vinha enfrentando problemas sobre a demanda de pavimentação, que não era nada fácil de ser atendida por possuírem estradas muito carentes de pavimentação, possuindo trechos avaliados como deficiente ou até de péssima qualidade, que assim, exigiriam um serviço de conservação e manutenção muito rígida, não superando assim, as carências que o Brasil tinha que enfrentando em matéria de estrutura viária.

Segundo Miranda e Silva (2000) a reciclagem de pavimentos tem se mostrado um bom caminho não apenas pela rapidez executiva, mas também pelo aspecto da preservação ambiental. As vantagens do processo de reciclagem de pavimento asfáltico estão no reaproveitamento do material deteriorado, os quais protegem o meio ambiente da degradação pela exploração de novos agregados, apresenta rapidez na execução, manutenção do greide original e economia, além de outras importantes vantagens em relação ao método convencional de reconstrução do pavimento.

Como todo material, se torna viável conhecer e caracterizar o solo antes da sua utilização, identificar a natureza e composição do solo, entender o seu comportamento, e estudar as suas propriedades físicas e mecânicas. Ensaio de laboratório tornam possível a determinação de propriedades como composição granulométrica, massa volumétrica, limites de consistência, retração, teor de umidade e grau de compactação. Estas características permitem aferir a adequabilidade e a necessidade de correção da composição do solo para determinado uso na construção, e facilitam a escolha da técnica construtiva mais indicada (SANTOS, 2012).

2 Processo de reciclagem do pavimento asfáltico *in situ* com brita.

A reciclagem de pavimento *in situ* a frio com adição de agregado é o processo de restauração de pavimento executado no local, com reaproveitamento total ou parcial do revestimento existente, eventualmente utilização de parte ou de toda base granular existente, incorporação de agregados e adição de água, espalhamento e compactação da mistura resultante, obtendo-se desta forma uma nova base do pavimento, isto é, uma base reciclada.

O equipamento básico para a execução da reciclagem de pavimento *in situ* com brita compreende: recicladora, distribuidor de agregados, caminhão tanque para abastecimento de água, motoniveladora, rolo vibratório liso, rolo vibratório pé de carneiro e rolo pneumático.

Segue abaixo os passos para execução do serviço de reciclagem de pavimento:

1º passo (Reciclagem):

Inicia-se a operação com a fresagem do revestimento existente, em seguida a incorporação dos agregado junto a adição de água, ocorrendo simultaneamente. A mistura é processada no interior da

recicladora e em seguida espalhada e compactada. A água e os agregados adicionados ao material reciclado devem ser previamente dosados em laboratório.

Em seguida, o agregado adicional deve ser espalhado na quantidade determinada, a fim de atender a porcentagem definida no projeto da mistura, com emprego de distribuidor de agregados. A reciclagem do pavimento deve ser executada na extensão e espessura de corte indicada no projeto, incorporando-se simultaneamente o agregado adicional, com a concomitante adição de água, nas quantidades fixadas pelo projeto de dosagem, tendo como parâmetro para umedecimento a umidade ótima definida no ensaio de compactação da mistura reciclada.

Imediatamente após atuação da recicladora, como visto na figura 1, atua a motoniveladora, de modo a conformar a camada reciclada aos perfis transversais e longitudinais de projeto, sem provocar segregação da mistura reciclada.

Devem ser tomadas todas as precauções a fim de serem evitados os processos que levem a segregação da mistura reciclada.



Figura 1. Recicladora em ação (próprio autor, 2018)

2º passo (Compactação):

Após a conformação da mistura reciclada, deve-se iniciar imediatamente as operações de compactação como apresentado na figura 2. A compactação deve iniciar-se das bordas para o eixo, nos segmentos em tangente, e da borda interna para a borda externa, isto é, do lado mais baixo para o mais alto, nos segmentos em curva. Os rolos compactadores devem cobrir uniformemente, em cada passada, pelo menos metade da largura coberta na passagem anterior.

O desvio máximo admitido do teor de umidade da mistura reciclada é de (-2,0 % a +1%). Em relação à umidade ótima, o grau de compactação deve ser igual ou superior a 100%, já em relação à massa específica aparente seca máxima, ambas são obtidas no ensaio de compactação, conforme NBR 7182, na energia modificada.

O teor de umidade é a variável mais crítica na obtenção da densidade mínima exigida, devido o tempo decorrido entre a reciclagem e o acabamento. Se necessário, deve-se aspergir água na superfície, com o auxílio do caminhão tanque distribuidor de água.

Eventuais manobras do equipamento de compactação que impliquem variações direcionais prejudiciais, devem ser processadas fora da área de compressão. A compactação deve ser conduzida de modo que a espessura compactada final seja de no máximo 20 cm, e nunca inferior a 12 cm.



Figura 2. Compactação do solo (próprio autor, 2018)

3º passo (Acabamento):

O acabamento é executado mediante o emprego de motoniveladora, atuando exclusivamente em operação de corte. Complementarmente, a camada de base reciclada recebe um número adequado de coberturas com emprego de rolos compactadores utilizados.

A imprimação da camada de base reciclada deve ser realizada após a conclusão da compactação, tão logo se constate a evaporação do excesso de umidade superficial.

A liberação do tráfego da camada reciclada só é permitida após a cura da imprimação, por período de pelo menos 12 horas, e proteção adequada com salgamento da camada.

3 Processo Experimental

3.1 Coleta de material

Foi feita uma visita de reconhecimento ao local da obra, no trecho entre CE – 354 (Morrinhos) – CE – 232 (Santana do Acaraú), Rodovia: CE 178, que visa a restauração da mesma. Em seguida, realizou-se coleta completa do material da base existente como apresentado na figura 3 e após o uso da recicladora. Foi feita retirada do material nas estacas 130,150, 227, 1165. Para estudo completo, foi realizado de projeto coleta cada 300 metros de pista. Coletado em 4 sacos de 30 quilos.



Figura 3. Coleta de material (próprio autor, 2018)

3.2 Preparação de amostras

Após a coleta, a amostra de solo foi preparada de acordo como é mostrado na sequência na figura 4, para a realização do ensaio de compactação, passando por uma secagem prévia e quartejamento, como rege a NBR 6457/1986.



Secagem ao ar e
 quarteamento do material

Destorroamento

Pesagem do material

Figura 4. Preparação de amostras (próprio autor, 2018)

Nesta pesquisa optou-se por moldar um corpo de prova para cada período de imersão, e submeter à prensa. Após isso é determinado a expansão do solo, onde as amostras foram colocadas em um reservatório com água, e assim feito leituras, a cada 24 horas, seguindo com elaboração de gráficos para melhor distinguir os resultados.

3.3 Compactação do solo

O ensaio de compactação foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR 7182/1986. Com isso, é feito para diferentes teores de umidade, determinando-se, para cada um deles, o peso específico aparente. Com os valores obtidos, traça-se a curva V_s x teor de umidade, obtendo-se o ponto correspondente a umidade ótima (hot) e a densidade máxima aparente seca ($V_{s,max}$). Para o traçado da curva é conveniente a determinação de, pelo menos, cinco pontos, de forma a que dois deles se encontrem no ramo ascendente (zona seca), um próximo à umidade ótima e os outros dois no ramo descendente da curva (zona úmida), calculada pela expressão:

$$E = \frac{P \cdot h \cdot N \cdot n}{V} \quad (1)$$

Em que:

E = Energia específica de compactação, por unidade de volume;

P = Peso do soquete (kg);

h = Altura de queda do soquete (cm);

N = Número de golpes por camada

n = Número de camadas;

V = Volume do solo compactado (cm^3).

A Figura 5 exibe o processo de compactação assim como os equipamentos utilizados durante esse procedimento: são eles: peneiras; bandeja metálica, pá de mão, almofariz; disco espaçador; cilindro, colarinho; e o soquete.



Substituição

Umidificação

Compactação

Figura 5. Ensaio de compactação e equipamentos utilizados (próprio autor, 2018)

3.4 Determinação do ISC – Índice de Suporte Califórnia

O ensaio é padronizado no Brasil pela norma ABNT 9895, sendo composto por três etapas:

- Compactação do corpo de prova segundo o método Proctor.
- Obtenção da curva de expansão: Após a compactação, sobre o corpo de prova dentro do molde cilíndrico, no espaço deixado pelo disco espaçador, é colocado o prato com haste perfurado e sobre este o disco anelar de aço que é dividido em duas, sendo que cada parte da carga anular (5 lbs) corresponde a sobrecarga de aproximadamente 2,5 polegadas de pavimento. Sobre a haste do prato perfurado, é apoiada a haste do relógio comparador fixado no porta-extensômetro, anotando-se a leitura inicial. Coloca-se o corpo de prova imerso por 4 dias, medindo-se a expansão que é definida como a relação entre o aumento de altura do corpo de prova (expansão) e a sua altura inicial, expresso em porcentagem .
- Medida da resistência à penetração: Retira-se o corpo de prova da embebição e de sobre ele o prato perfurado com a sobrecarga e deixa escorrer (drenar) por 15 minutos. Após, recoloca-se a sobrecarga e leva-se o corpo de prova à prensa para ser rompido através da penetração do pistão a uma velocidade de 1,27 mm/min. São anotadas as leituras para as penetrações de 0,63; 1,27; 1,90; 2,54; 3,17; 3,81; 4,44; 5,08; 6,35; 7,62; 8,89; 10,16; 11,43 e 12,70 mm, sendo que esta última leitura corresponde ao tempo de 10 minutos. A velocidade de penetração do pistão é controlada com o auxílio de um cronômetro e do acompanhamento dos valores da penetração registrados no relógio comparador fixado no pistão e com a haste apoiada no molde.

O valor do CBR ou ISC é dado pela equação:

$$\text{CBR} = (\text{Pressão calculada (lida) ou corrigida} / \text{Pressão padrão}) \times 100 \quad (2)$$

4. Resultados e análises

4.1 Compactação

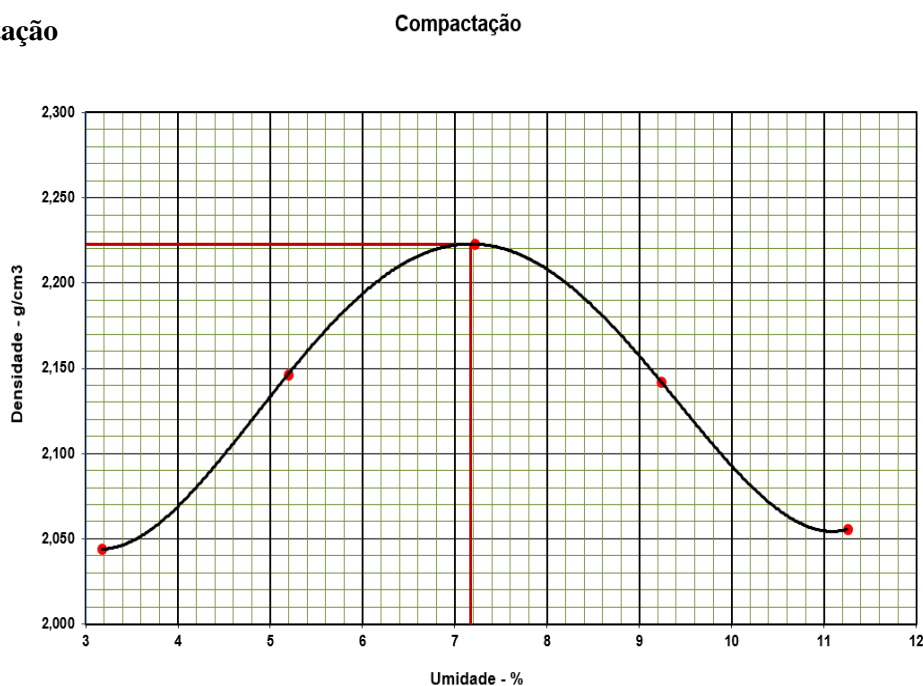


Figura 6. Gráfico do ensaio de compactação da base existente na estaca 150.

Compactação

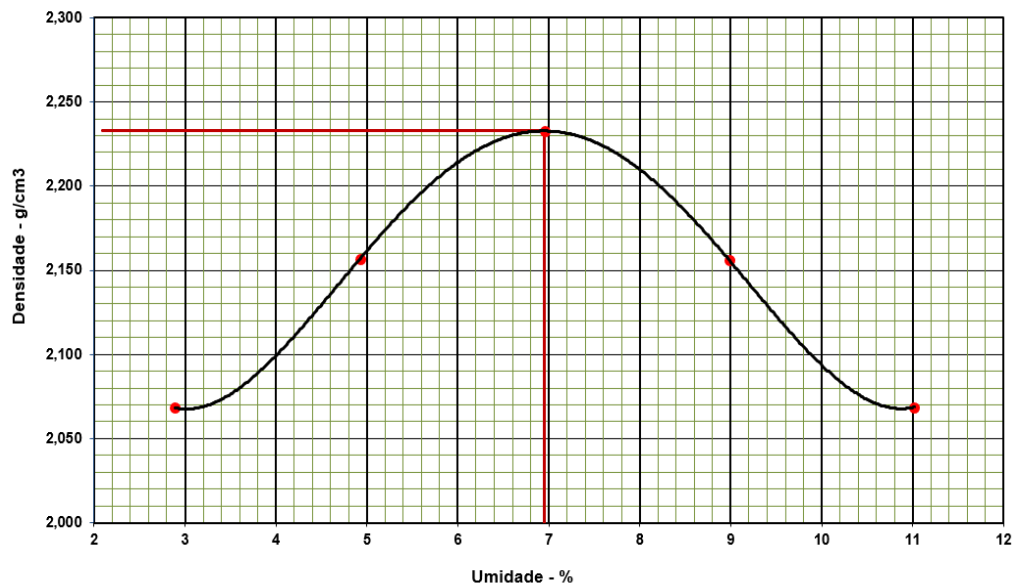


Figura 7. Gráfico do ensaio de compactação da base após a reciclagem do material na estaca 150.

Com relação a efetividade do uso da recicladora, observa-se que nas figuras 6 e 7, que houve um incremento dos valores de compactação antes e após a utilização da recicladora. Em relação à densidade máxima, o valor da base existente foi menor em relação ao material reciclado. Comparando os valores do material de base e do material reciclado, os valores foram muito próximos.

Em relação a umidade ótima, houve pouca variação entre os materiais estudados. Podemos notar uma pequena redução desse valor no material reciclado em relação ao material de base. Em campo, isso significa uma economia, mesmo que pequena na utilização de água para se atingir a umidade ótima do material.

Tabela 1. Valores referentes aos ensaios de compactação.

Cápsulas (Nº)	Umidade ótima da base existente (%)	Densidade Máxima da base existente (g/cm³)	Umidade ótima base reciclada (%)	Densidade Máxima da base reciclada (g/cm³)
1	7,2	2,223	6,8	2,213
2	7,1	2,178	6,7	2,214
3	6,8	2,186	6,9	2,233
4	6,7	2,169	7,1	2,242
Média	7,0	2,189	6,9	2,225
Desvio padrão	0,2	0,018	0,1	0,011

Mesmo que essa variação da porcentagem seja pequena como mostra na tabela 1 e gráfico 1, em uma construção de uma rodovia, no valor final de projeto, pode ser bastante significativo. Já com relação aos ensaios de compactação, de acordo com os valores médios obtidos, obteve-se que praticamente manteve os valores de umidade ótima e densidade máxima, evidenciando que há um aumento da densificação e uma diminuição dos vazios para camada de base.

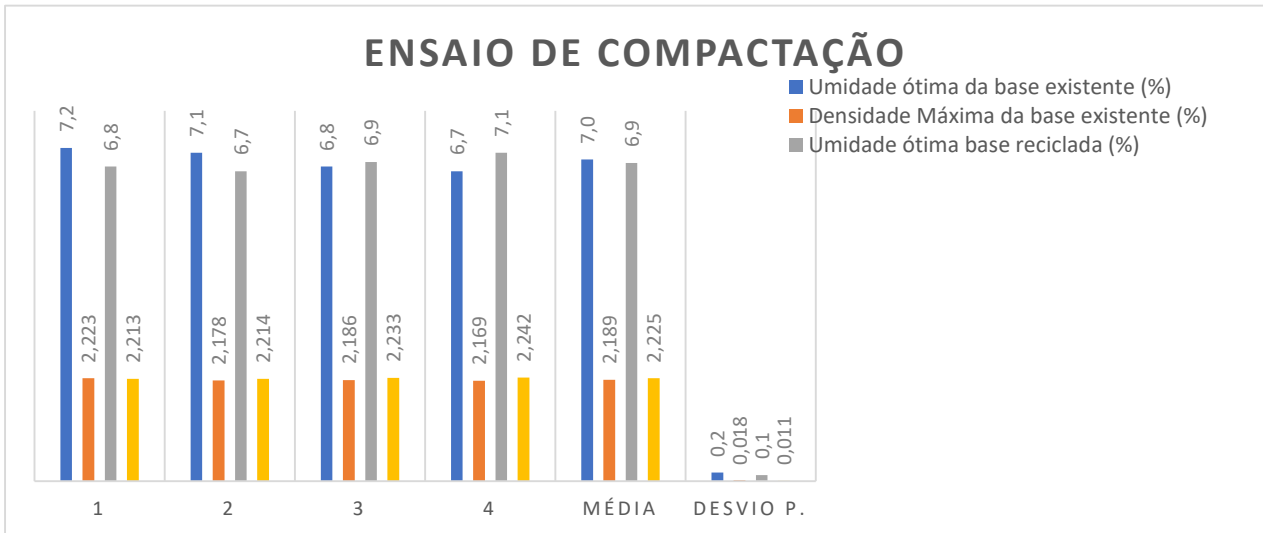


Gráfico 1. Detalhamento do ensaio de compactação.

4.2 CBR OU ISC.

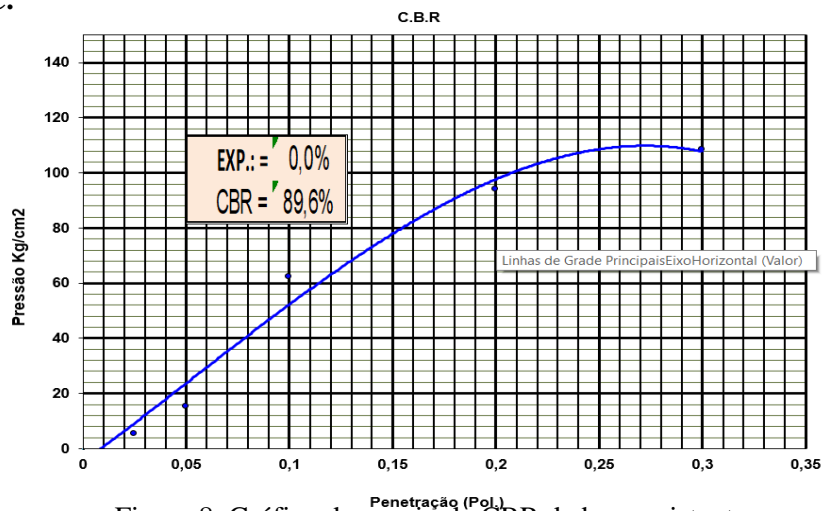


Figura 8. Gráfico do ensaio de CBR da base existente.

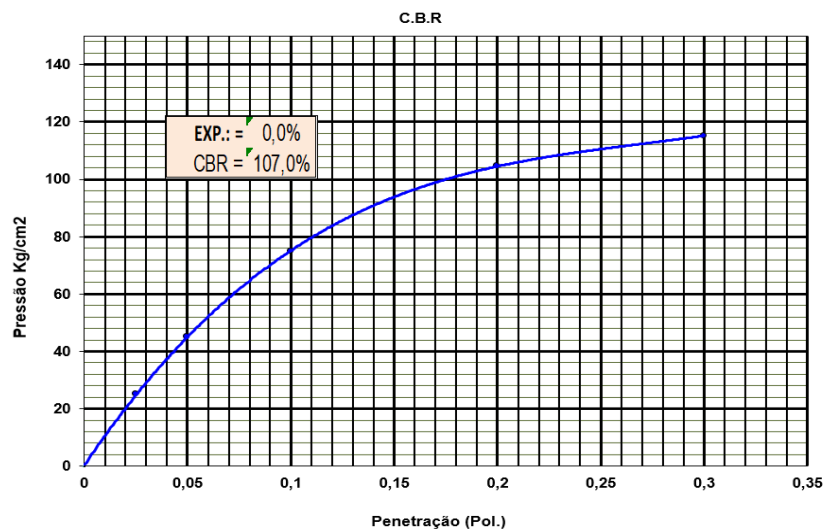


Figura 9. Gráfico do ensaio de CBR da base após o uso da recicladora.

Tabela 2. Valores referente ao ensaio de CBR.

Ensaio CBR	Base existente (%)	base reciclada (%)
1	89,6	107,0
2	89,8	102,9
3	75,4	96,0
4	75,8	109,7
Média	82,7	103,9
Desv. Padrão	6,3	4,6

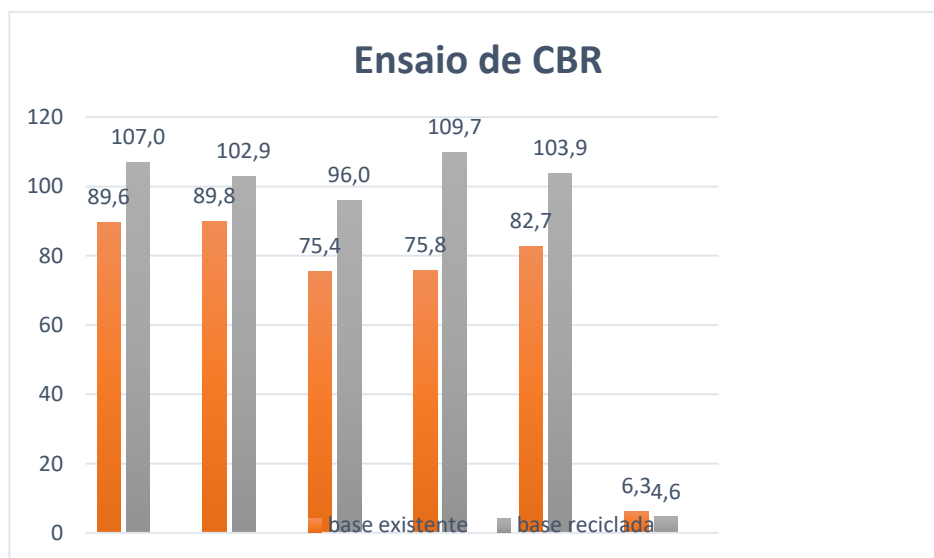


Gráfico 2. Detalhamento do ensaio de CBR

Como apresentado respectivamente, na figura 7 e 8, tabela 2 e gráfico 2, podemos concluir que com o uso da recicladora, obteve um aumento de 14% na resistência do material, sendo assim, obtendo bastante eficiência, pois aumentou mais de 10% do valor previsto. Apresentando também um desvio padrão alto, significando assim um problema de ensaio na parte de homogeneização do material, consequentemente, uma maior dispersão.

Em relação ao material reciclado, se mostrou uma metodologia eficiente, pois proporcionou o uso como material de base de rodovia, tendo seu valor de CBR maior que 80, valor preconizado pelo DNIT para o uso em rodovias.

5 Conclusão

A técnica de se reciclar pavimentos é relativamente recente, porém não menos importante. O reaproveitamento dos materiais existentes do pavimento antigo como fonte principal para a construção de pavimentos novos, pode gerar benefícios como: a conservação do greide da pista evitando-se problemas com alturas sob viadutos, túneis e passarelas e o não aparecimento de degraus nos acostamentos provocados pela aplicação sucessiva de camadas de recapeamento, qualidade adequada e resistência do pavimento reciclado, a redução do prazo de execução da obra, o menor tempo de interrupção do tráfego durante o trabalho, nova concepção de recuperação asfáltica, às vezes até com possibilidade de redução de espessuras do revestimento, sem perda de qualidade e finalmente, pode permitir redução dos custos em relação à

restauração convencional. Em relação a preservação do meio ambiente, evita a exploração excessiva de jazidas minerais (caixas de empréstimos), evitando, assim, o acúmulo e/ou geração do passivo ambiental.

Como analisado, no solo da base existente já era de boa qualidade, e mesmo com a passagem da recicladora, teve um aumento considerável na resistência do solo, afirmando assim que o uso da recicladora, equipamento de última geração, que corrige umidade, faz a mistura do material de forma adequada, é de grande importância para uma obra.

Observa-se que para os ensaios realizados de cunho prático em uma obra na cidade de Santana do Acaraú no estado do Ceará a utilização da recicladora tem se mostrado eficiente devido a melhora no desempenho da camada de base, possibilitando assim, um pavimento com uma vida útil em conformidade com a de projeto.

AGRADECIMENTOS

À empresa MAGNA ENGENHARIA, pelo apoio e disponibilização de materiais e máquinas para ensaios, e minha orientadora e professora Claudeny Santana, por todos os ensinamentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COSTA, Cláudio et al. O uso de reciclagem de pavimentos, como alternativa para o desenvolvimento sustentável em obras rodoviárias no Brasil. *Revista Traços*, v. 12, n. 26, 2017.
- SALDANHA, Cláudia Terezinha; SOUZA, Daiane de; GIACOMITTI, Gabriel Saldanha. *Análise do método de reciclagem de pavimento asfáltico utilizado pela Prefeitura Municipal de Curitiba*. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- DA SILVA CORREIA, Rodrigo. *Estudo de viabilidade econômica para o uso de resíduos de construção e demolição em camadas de base e sub-base de pavimentos*. 2014. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- BERNUCCI, Liedi Bariani et al. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. *Rio de Janeiro*, v. 504, 2008.
- HILÁRIO, Ronderson Queiroz. *Uso de pavimento reciclado adicionado com cimento para uso como reforço de base para rodovias: estudo de caso: BR-120*. 2016.
- DNIT, Rio de Janeiro. *Manual de pavimentação*. 2006.
- DE SENCO, Wlastermiller. *Manual de técnicas de pavimentação*. Pini, 1997.
- SANCHES, Felipe Gustavo; GRANDINI, Fernando Henrique Bueno; BAIERLE JUNIOR, Orlei. *Avaliação da viabilidade financeira de projetos com utilização do asfalto-borracha em relação ao asfalto convencional*. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- NBR, ABNT. 6457 (1986). *Amostras de solo—Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*, Rio de Janeiro, RJ.
- ABNT, N. B. R. 7182 (1986). *Solo: ensaio de compactação*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- NBR, ABNT. 9895. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Solo—Índice de Suporte Califórnia*, 1987.