

Influência da Variação do Teor de Betume em Misturas Asfálticas para Aplicação em Barragem de Enrocamento com Núcleo de Concreto Asfáltico

Alexandre Prizmic Melo

Centro Universitário FEI, São Paulo, Brasil, alexandre.p.melo@hotmail.com

Bruna da Silva Cardoso

Centro Universitário FEI, Santo André, Brasil, brunascardoso@yahoo.com.br

Rinaldo Rosa Sobires

Centro Universitário FEI, São Paulo, Brasil, rinaldo747@yahoo.com.br

RESUMO: Com a crescente demanda por abastecimento de água e eletricidade, o país encontra-se em necessidade de expandir sua rede de barragens para atendê-la, mas com os recursos limitados atualmente é preciso se valer de projetos e tecnologias mais eficientes. Um novo tipo de barragem promete oferecer tal eficiência, sendo esta denominada Barragem de Enrocamento com Núcleo de Concreto Asfáltico (BENCA). O presente trabalho visa estudar a influência do teor e tipo de CAP na deformação e resistência em concreto asfáltico, tomando como base o concreto asfáltico utilizado em BENCA em estado de má compactação. Para o estudo da mistura será adotado como ensaio de referência o “Ensaio de Tração por Compressão Diametral”, devido à maneira de simular os esforços submetidos ao núcleo durante a construção da barragem e após o enchimento do reservatório. O concreto asfáltico para este tipo de obra possui necessidades especiais por conta de seu uso diferenciado, no caso, atuando como impermeabilizante, sendo necessário índice de vazios menor que 3% para obter a impermeabilidade requerida, além de apresentar alta ductilidade para que não perca desempenho com o recalque e outros deslocamentos da barragem. Para o estudo foi utilizado a Dosagem Marshall através da curva granulométrica de Füller, a partir da qual os agregados à serem utilizados tivessem diâmetro máximo de 16 mm, permitindo teoricamente obter-se melhor compactação e impermeabilidade. Nos ensaios realizados foram utilizados dois tipos de CAP, sendo estes o CAP 50/75 e CAP 85/100, obtendo um total de 48 corpos de prova. Com os ensaios de compressão diametral, tornou-se nítida a relação entre a ductilidade e o teor e viscosidade do CAP utilizado na mistura, porém o espaço amostral não permite ainda definir algum padrão.

PALAVRAS-CHAVE: Barragem de enrocamento, Núcleo de concreto asfáltico, Deformabilidade.

1 INTRODUÇÃO

A necessidade da produção de energia por fontes renováveis e armazenamento de água para o consumo são necessidades que estão sempre em crescimento, juntamente com o desenvolvimento econômico e aumento da população. Uma das maneiras de alcançar este objetivo é realizar a construção de barragens,

pois permite planejar e gerenciar as fontes naturais hídricas de uma região.

Há diversos tipos de barragens, com as mais variadas técnicas e materiais para execução, todas apresentando suas vantagens e desvantagens. Uma das técnicas recentemente empregadas para se realizar tal obra no Brasil é a barragem de enrocamento com núcleo de concreto asfáltico, que emprega o uso de

material betuminoso como agente impermeabilizante no núcleo.

O dimensionamento do núcleo depende do estudo do tipo de material agregado a ser utilizado e o tipo de cimento asfáltico de petróleo. Esta técnica apresenta grande potencial econômico, pois é um dos métodos mais rápidos de construção, podendo apresentar um rápido retorno do investimento.

O emprego desse material dá-se, em grande parte, no uso da construção de pavimentação. Todos os estudos, análises e testes de características para o cimento asfáltico de petróleo dão-se, basicamente, para este tipo de uso.

Neste estudo será feito uma análise da influência do tipo e teor de cimento asfáltico de petróleo sobre as capacidades de deformação e de resistência à tração diametral. Para tal será utilizando corpo-de-prova com granulometria seguindo os conceitos recomendados para aplicação, porém adotando uma condição de má compactação.

2 CONCEITOS GERAIS

2.1 Barragem de Enrocamento com Núcleo de Concreto Asfáltico (BENCA)

A barragem de enrocamento com núcleo de concreto asfáltico, apresenta elemento de vedação no centro do maciço, sendo este o grande diferencial desta técnica em relação a outros tipos de barragem de enrocamento, pois o núcleo possui capacidade de suportar grandes deformações. A construção deste tipo de barragem é um tema novo no Brasil, tendo somente duas barragens: UHE Foz de Chapecó, concluída em 2010 e UHE Jirau, 2012.

Segundo ICOLD (1992), o núcleo de concreto asfáltico deve ser impermeável, flexível, ter capacidade de deformação, resistente à força erosiva e apresentar resistência ao envelhecimento.

A barragem é composta por vários elementos, variando conforme as possibilidades de aplicação, materiais e técnicas empregadas em seu projeto e execução. Os elementos estruturais podem ser divididos

esquemáticamente, conforme a Figura 1.

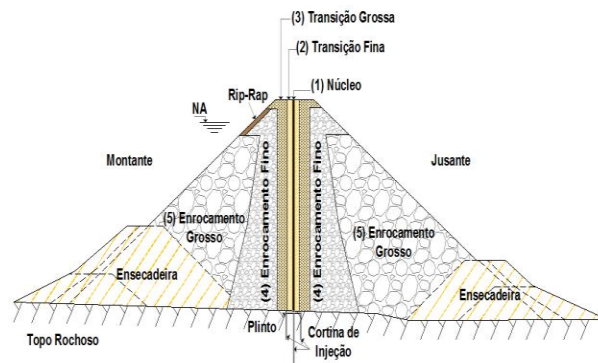


Figura 1. Layout esquemático da BENCA
Fonte: “adaptado de” Humes; Vincenzo; Ruiz, 2011.

Tal zoneamento se dá ao fato da necessidade de resistir à alta pressão de coluna de água, sendo necessário o uso de material granular robusto para se fazer a estrutura de suporte, aplicados nas zonas 4 e 5 de enrocamento fino e grosso. Porém, por conta de apresentarem grandes dimensões, eles não possuem impermeabilidade para conter a água, sendo necessário a aplicação de um núcleo composto por transições e uma parte central altamente impermeável, representados pelas zonas 3, 2 e 1.

A estrutura formada pelo núcleo, transições e enrolamentos atua em conjunto contra o carregamento provocado pela água gerando grande carga sobre a fundação existente, assim como um caminho mais favorável à percolação de água, em virtude do novo obstáculo no terreno. Para suportar tais cargas é necessária a utilização de uma laje de fundação, denominada como plinto. Este serve de base ao núcleo a ser executado, bem como as perfurações para tratamento de solo, para se evitar a percolação de água, denominadas como cortinas de injeção.

Ensecadeiras são estruturas de caráter usualmente temporário para o desvio do fluxo do rio, podendo ser incorporadas à estrutura, caso bem executadas, como visto na Figura 1.

Rip-rap é uma estrutura de suporte que serve de proteção à degradação na barragem causada por ondas do lago artificial.

2.2 Núcleo de Concreto Asfáltico

A base de aplicação de núcleos asfálticos em barragens é justamente a capacidade elástica do

betume. O núcleo da barragem deve ser capaz de se ajustar com os recalques diferenciais e do enrocamento, assim como os recalques futuros, se mantendo impermeável. Caso ocorra rachaduras de pequena dimensão, conforme o fluxo de água os finos carregados acabam fechando a rachadura, por conta da viscosidade do material, sendo tal habilidade denominada Self Healing (HÖEG, 1993).

O núcleo ainda é capaz de ser moldado em formatos diferentes para melhor aproveitamento da topografia, podendo até ser utilizado inclinado ou em arco, conforme necessidade e possibilidade. Além disso, por conta da elasticidade do material a barragem acaba sendo resistente a terremotos.

Para se obter a impermeabilidade, elasticidade e trabalhabilidade necessárias para execução do núcleo é necessário se verificar as possíveis misturas betuminosas para o projeto. Tão importante quanto um concreto bem dosado e uniforme é o controle em sua execução, pois para se obter as características necessárias de impermeabilidade é necessário atender uma taxa inferior a 3% de índice de vazios. Tal índice é obtido através da compactação da camada aplicada do núcleo, sendo de grande influência, conforme Figura 2, exemplo de uma simulação de barragem com 150 m.

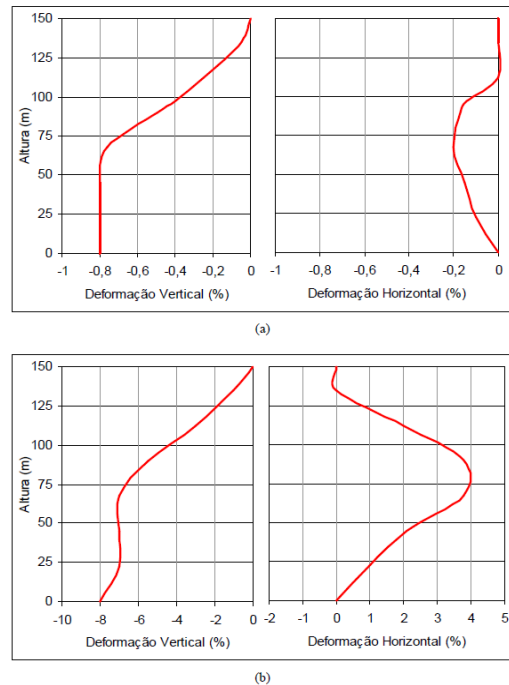


Figura 2. Deformações conforme qualidade de compactação. a) Boa compactação. b) Compactação ruim
Fonte: Guimarães, 2012

A espessura do núcleo geralmente é de cerca de 1% da altura da barragem, podendo ser maior em casos específicos. Conforme Höeg (1993), o núcleo deve ter entre 50 cm a 100 cm de espessura, com sua espessura reduzida em etapas de 10 cm da base ao topo, porém ICOLD (1992) já especifica valores entre 60 cm a 100 cm de espessura, estipulando uma camada constante da base até o topo por conta das tensões múltiplas em que o núcleo está submetido.

3 CIMENTO ASFÁLTICO DE PETRÓLEO (CAP)

3.1 Material

O cimento asfáltico de petróleo (CAP) é o material utilizado para a construção do núcleo da barragem. É obtido através do processamento do material residual do refinamento do petróleo, sendo obtido no final do processo a altíssimas temperaturas.

Há no Brasil quatro tipos de classificação do CAP: o CAP 30/45, CAP 50/70, CAP 85/100 e CAP 150/200, onde é realizado o ensaio de penetração para determinar sua classe de acordo com resultados esperados, conforme apresentado na tabela 1.

Tabela 1. Características físicas do CAP conforme seu tipo de classificação

Carac.	Unid.	CAP 50/70	CAP 85/100	CAP 150/200
Penetração (100g, 5s, 25°C)	0,1 mm	50 a 70	85 a 100	150 a 200
Ponto de amolecimento mínimo	°C	46	43	37
Ductilidade a 25°C mínima	mm	600	1000	1000

Fonte: Balbo, 2007

As características impermeáveis e flexíveis esperadas do núcleo dão-se devidamente à mistura do CAP com os agregados. A viscosidade é o que dá ao núcleo a propriedade “autocicatrizante”, a capacidade da mistura

fechar eventuais fissuras devido à movimentação e acomodações. Para a aplicação em barragens, o uso de CAP com maior viscosidade permite obter misturas betuminosas com maiores viscosidades, resultando em maior habilidade “autocicatrizante”

O tratamento geral do CAP não varia muito dos estudos realizados para o material quando utilizado em pavimentação asfáltica. Os ensaios realizados para o uso dos agregados e o ligante são praticamente os mesmos, sendo fixados, porém, outros parâmetros de resistência, ductibilidade e flexibilidade da mistura.

3.2 Dosagem

Para a composição do CAP, deve-se manter o índice de vazios numa porcentagem menor do que 3%, valor determinado pela relação entre volume de vazios da mistura e o volume de sólidos; amostras com volume de vazios maior que 3% apresentam maior permeabilidade, segundo ensaio realizado em laboratório por Höeg (1993), como pode ser observado na Figura 3, há uma ponderação nesses valores a ser considerada, pois existe uma diferença na capacidade de compactação ao realizar-se o ensaio em laboratório e na execução do núcleo em campo. Mostra-se que com os vazios inferiores a esse valor garante-se a impermeabilidade do núcleo mesmo quando submetido à grande solicitação devido à pressão da água (HÖEG, 1993).

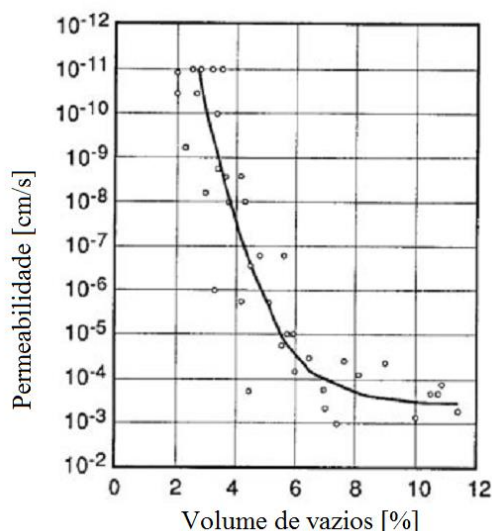


Figura 3. Permeabilidade do concreto asfáltico em função do volume de vazios

Fonte: “adaptado de” Höeg, 1993

Os agregados que compõem a mistura devem estar numa curva entre 0 mm e 16 mm de diâmetro e, como foi informado anteriormente, devem obedecer a curva ideal de Fuller (Figura 4), podendo ser aproximada pela Equação 1, e garantir uma alta quantidade de finos, para assim assegurar o valor de vazios estipulado.

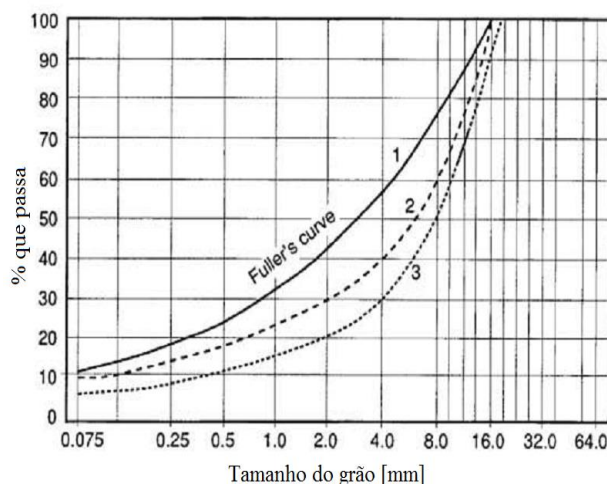


Figura 4. Curva de Fuller para três tipos de curvas granulométricas

Fonte: “adaptado de” Höeg, 1993

$$P_i = \left(\frac{d_i}{d_{\max}} \right)^{0,41} \times 100(\%) \quad (1)$$

Onde:

P_i = Porcentagem em massa que passa na peneira de abertura igual a d_i .

d_i = Diâmetro do grão no ensaio de análise granulométrica por peneiramento.

$d_{\max}$ = Diâmetro máximo do agregado.

O valor base para estudo de teor de betume está em torno de 6%, sendo que este valor pode ser alterado para adequar-se ao tipo de CAP que será utilizado, para garantir sua trabalhabilidade e escoamento, para tanto, é feito o ensaio de Marshall (Figura 5), obtendo-se o comportamento do material variando-se o teor de betume da mistura. A principal característica a ser atentada no estudo do teor de betume é garantir que se consiga a compactação da mistura para obter-se o valor de vazios estipulados e manter a propriedade autocicatrizante do núcleo.

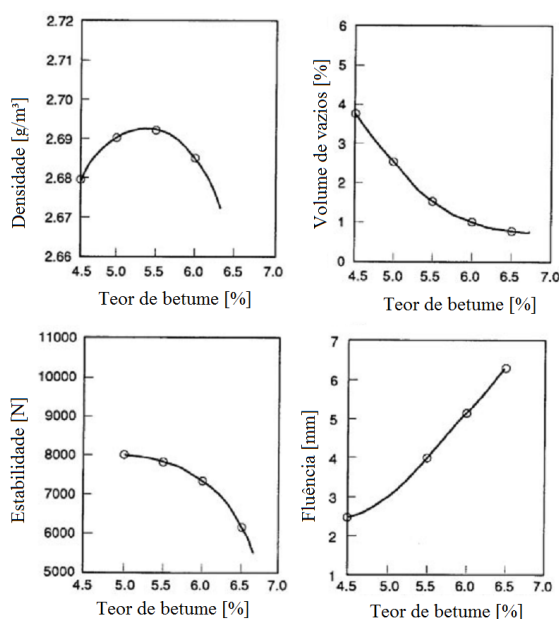


Figura 5. Alguns dos resultados a serem obtidos pelo ensaio Marshall

Fonte: “adaptado de” Höeg, 1993

Conforme Höeg (1993), os limites para variação do teor dos materiais de modo a manter as especificações de projeto são os seguintes:

- $\pm 0,3\%$ para o CAP em relação a seu teor de asfalto especificado em projeto.

Para a granulometria dos agregados, tem-se:

- $\pm 6\%$ para grãos > 2 mm;
- $\pm 4\%$ para grãos entre 0,25 e 1 mm;
- $\pm 3\%$ para grãos entre 0,125 e 0,25 mm;
- $\pm 2\%$ para grãos menores que 0,075 mm.

4 ENSAIOS

4.1 Moldagem dos corpos-de-prova

Os procedimentos utilizados para moldagem dos corpos-de-prova seguiram as recomendações da norma NBR 15785:2010, a qual trata da preparação de corpos-de-prova cilíndricos de misturas asfálticas a quente empregando o método Marshall.

A granulometria adotada seguiu a curva de Füller com diâmetro máximo de 16 mm, porém foi utilizado material até 19mm. Os agregados utilizados foram brita 1, brita 0, areia média, quartzo e cimento. Para melhor acertar a curva granulométrica definida, os agregados foram

peneirados e separados conforme seu diâmetro do grão. Para a parte mais fina, material das peneiras nº 50, nº 100 e nº200, foi feita a mistura da brita, areia e quartzo. Para o material fíller da mistura, foi utilizado somente cimento. A densidade para cada granulometria pode ser observada na tabela 2 a seguir:

Tabela 2. Porcentagem retida e densidade dos agregados por peneira.

Peneira	Porcentagem retida (%)	Densidade (g/cm³)
3/4"	0,00	0,00
1/2"	9,40	2,63
3/8"	9,60	2,73
1/4"	5,90	2,57
4,00	13,90	2,66
10,00	18,50	2,69
16,00	8,00	2,59
30,00	8,60	2,63
50,00	6,50	2,59
100,00	4,80	2,64
200,00	3,70	2,61
filler	11,10	3,19

Em cada batelada foi usando quantidades de CAP diferentes, sendo utilizado as porcentagens de 5,0%, 5,5%, 6,0% e 6,5%.

A compactação dos corpos-de-prova foi realizada manualmente, adotando energia de compactação de 622,7 Nm, metade da energia de compactação para aplicação em barragens. Para trabalhar a situação de má compactação foi adotado dois modos de compactação, uma utilizando 30 golpes em uma única face e outra com 15 golpes por face.

4.2 Ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral

Os ensaios de resistência à tração por compressão diametral foram realizados utilizando as recomendações da norma NBR 15087:2012.

Para realizar os ensaios, os corpos-de-prova foram posicionados no dispositivo centralizados e levados à prensa mecânica, na qual ficaram sujeitos a uma carga de compressão progressiva, a uma velocidade de deslocamento de $0,8 \pm 0,1$ mm/s até a ruptura.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com as informações obtidas de cada ensaio de compressão foi feita a curva média para cada porcentagem, sendo demonstrado este resultado na Figura 6 para as misturas realizadas com o CAP 50/70 e, na Figura 7, para o CAP 85/100, ambas compactadas com 30 golpes em apenas uma face.

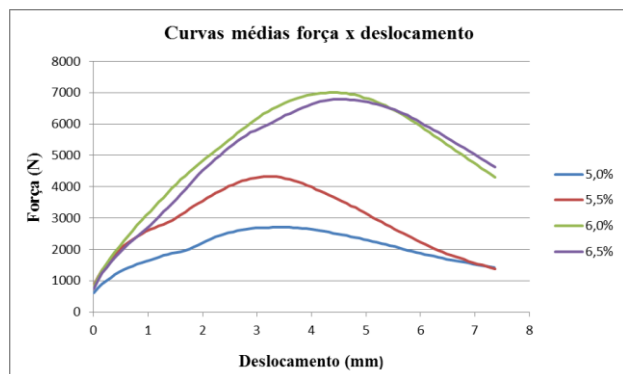


Figura 6 - Gráfico das curvas médias da força versus deslocamento do CAP 50/70

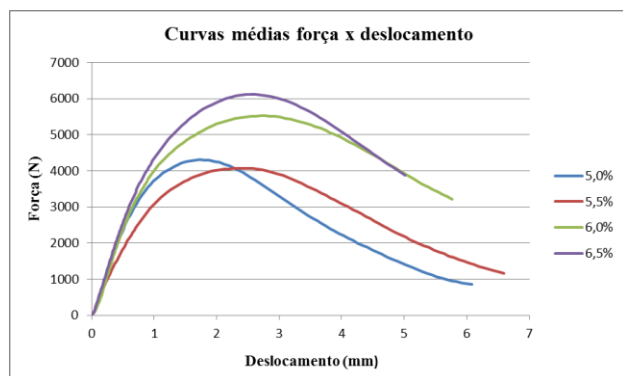


Figura 7 - Gráfico das curvas médias da força versus deslocamento do CAP 85/100

A seguir, as curvas para as misturas de CAP 50/70 (figura 8) e CAP85/100 (figura 9) compactadas com 15 golpes em cada face.

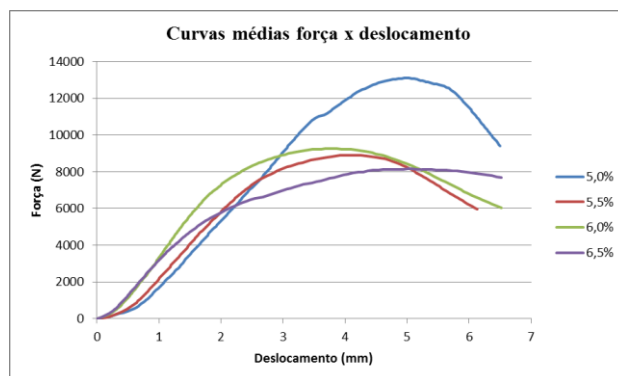


Figura 8 - Gráfico das curvas médias da força versus deslocamento do CAP 50/70

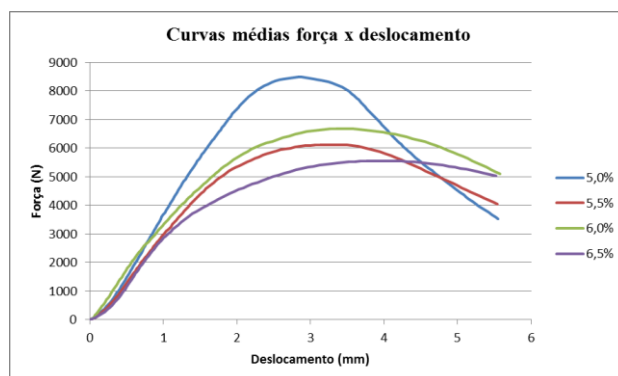


Figura 9 - Gráfico das curvas médias da força versus deslocamento do CAP 85/100

Para melhor avaliar os dados, foram feitas as curvas verificar a influência da porcentagem pelo deslocamento para cada CAP (Figura 10, Figura 11, Figura 12 e Figura 13) e as curvas de influência da porcentagem pelo deslocamento (Figura 14, Figura 15, Figura 16 e Figura 17).

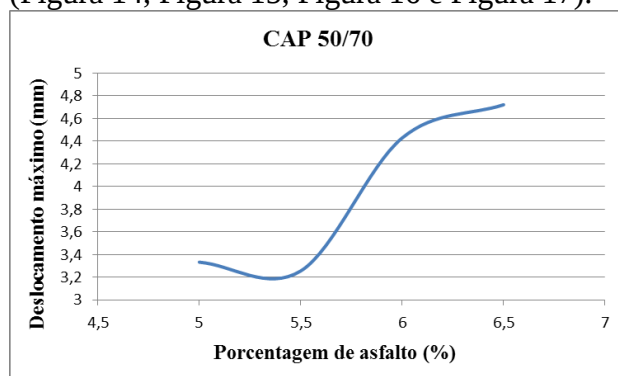


Figura 10 - Gráfico da porcentagem de asfalto pelo deslocamento máximo do CAP 50/70, 30 golpes

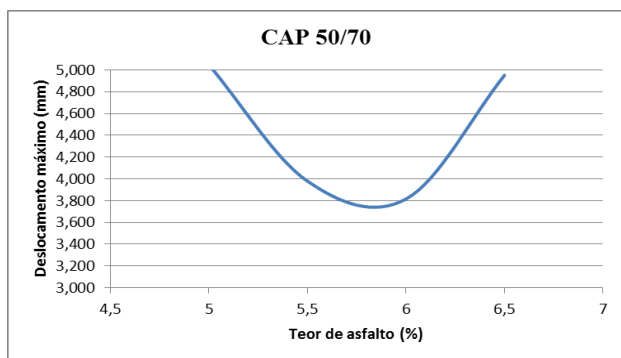


Figura 11 - Gráfico da porcentagem de asfalto pelo deslocamento máximo do CAP 50/70, 15+15 golpes

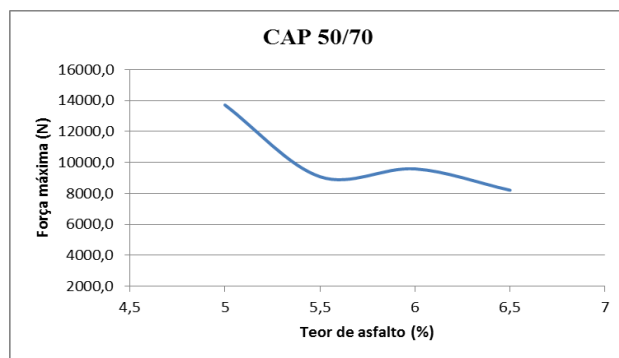


Figura 15 - Gráfico da porcentagem de asfalto pela força máxima do CAP 50/70, 15+15 golpes

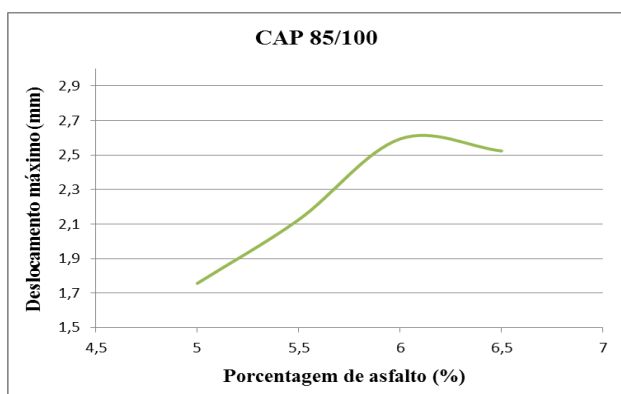


Figura 12 - Gráfico da porcentagem de asfalto pelo deslocamento máximo do CAP 85/100, 30 golpes

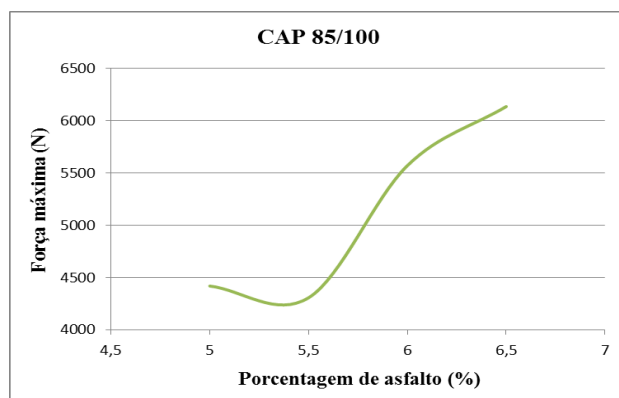


Figura 16 - Gráfico da porcentagem de asfalto pela força máxima do CAP 85/100, 30 golpes

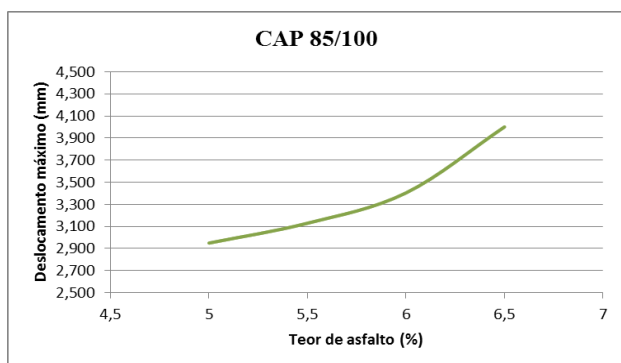


Figura 13 - Gráfico da porcentagem de asfalto pelo deslocamento máximo do CAP 85/100, 15+15 golpes

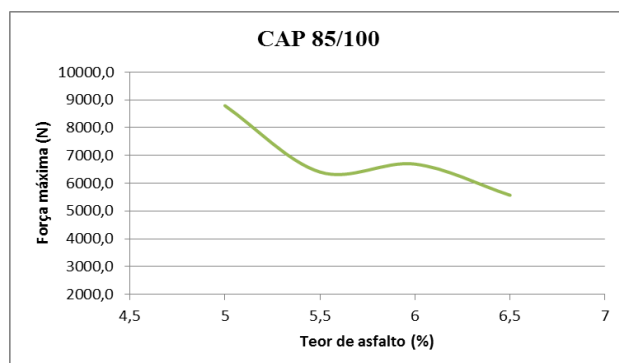


Figura 17 - Gráfico da porcentagem de asfalto pela força máxima do CAP 85/100, 15+15 golpes

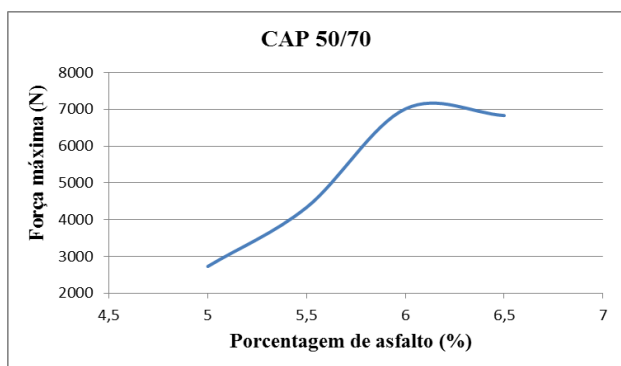


Figura 14 - Gráfico da porcentagem de asfalto pela força máxima do CAP 50/70, 30 golpes

Ao analisar os dados, nota-se que há uma tendência ascendente do deslocamento máximo conforme o aumento crescente do teor de asfalto da mistura, para ambas as condições de compactação.

Para a condição de força máxima, verifica-se que, nos ensaios onde os corpos-de-prova foram compactados com 30 golpes em uma face, apresentam um comportamento ascendente conforme o aumento de teor; porém esta tendência é oposta no corpos compactados com 15 golpes em cada face, apresentando

comportamento descendente. É possível perceber, também, que os CP's compactados com 15 golpes em cada face apresentaram uma resistência maior sendo que, o máximo suportado é praticamente o dobro do apresentado a 30 golpes em apenas uma face.

Com os resultados obtidos nos ensaios, pode-se verificar, possivelmente, a condição de compactação quem melhor representa a “*in-loco*” da obra. A maneira de verificar esta afirmação seria com a retirada de testemunhos e realizar o ensaio de compressão diametral.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme os resultados obtidos, pode ser observado a influência do tipo de CAP na mistura, sendo possível notar uma tendência de um comportamento mais homogêneo no material menos viscoso, no caso o CAP 85/100, mas com ponto de ruptura com deformação e cargas inferiores ao CAP de maior viscosidade. Em relação a porcentagem de asfalto é visível o aumento da resistência da mistura resultante conforme o aumento de asfalto, devido a saturação da mistura.

Conclui-se que a prerrogativa do trabalho foi alcançada, permitindo um melhor entendimento da influência do teor e CAP utilizados nas misturas. Além disso, por conta da adoção de dois métodos de compactação nas amostras também é possível se verificar a importância do controle de compactação em obras deste porte onde, apesar de ter sofrido a mesma energia de compactação, foi observado quase o dobro de resistência quando realizada homogênea.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro Universitário da FEI pelo apoio e recursos colocados a nossa disposição para a elaboração do trabalho.

Ao professor Dr. Ciro Humes e ao professor Valter Prieto, por transmitir grandes conhecimentos, sempre com paciência, serenidade,presteza e profissionalismo, que possibilitaram o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 15087 (2012). *Misturas asfálticas. Determinação da resistência à tração por compressão diametral*, Rio de Janeiro.
- ABNT NBR 15785 (2010). *Misturas asfálticas a quente. Utilização da aparelhagem Marshall para preparação dos corpos-de-prova com diferentes dimensões e aplicações*, Rio de Janeiro.
- Balbo, J. T (2007). *Pavimentação Asfáltica: Materiais, projeto e restauração*, São Paulo: Oficina de Textos.
- Guimarães, R. C. *Barragem com Núcleo de Concreto Asfáltico: Análise do Comportamento Mecânico e Hidráulico do Núcleo* (2012), Tese de Doutorado em Geotecnia, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.geotecnia.unb.br/downloads/teses/076-2012.pdf>>. Acesso em 26 abr. 2015.
- Høeg, K (1993). *Asphaltic Concrete Cores for Embankment Dams*, Oslo, Norway: Norwegian Geotechnical Institute, StikkaTrykk.
- Humes, C; Vincenzo, M.; Ruiz, A. P. T. (2011). *Projeto e Desempenho da Barragem de Enrocamento de Foz do Chapecó*, Rio de Janeiro: Comitê Brasileiro De Barragens - CBDB - XXVIII Seminário de Grandes Barragens.
- INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS – ICOLD (1992), *Bulletin 84: Bituminous Cores for Fill Dams: State of The Art*. Paris: CIGB ICOLD.