

ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DA FRESAGEM DE ASFALTO (RAP) EM BASES DE PAVIMENTO: COMPORTAMENTO À FLEXÃO E CAPILARIDADE DA MISTURA

Felipe Molin

Gislaine Luvizão

Fabiano Alexandre Nienov

Lucas Quiocca Zampieri

Universidade do Oeste de Santa Catarina – UNOESC, Joaçaba - SC

RESUMO

O presente estudo tem por objetivo avaliar a utilização do RAP como substituto de agregados pétreos virgens na construção de bases de pavimentos, com foco no comportamento a flexão e capilaridade da mistura. Os agregados foram submetidos a ensaios de caracterização de acordo com as prescrições das normas vigentes. Utilizou-se uma mistura composta por 50% de BGS, 33,3% de RAP e 16,7% de pó de pedra, além de adições de cimento na ordem de 2%, 3% e 4%. Foram moldados corpos de prova cilíndricos e prismáticos, utilizados para a aferição da capilaridade e resistência à flexão, respectivamente, onde comparou-se as diferentes misturas com adições de cimento distintas. Os resultados obtidos mostram que quanto maior a porcentagem de cimento presente na amostra menor é a absorção e a ascensão de água e maior é a resistência à flexão das misturas.

ABSTRACT

The present study aims to assess the use of RAP as a substitute for virgin asphalt aggregates in the construction of base course material, focusing on the flexural and capillary behavior of the mixture. The aggregates were subjected to characterization tests according to the requirements of the current regulations. Was used a mixture consisting of 60% of BGS, 40% of RAP and adction of 20% of grit, with additions of cement in the order of 2%, 3% and 4%. Spicemens were shaped cylindrical and prismatic, used for the measurement os capillarity and flexural strength, respectively, where the different mixtures compared with distinct cement additions. The results obtained regarding the capillarity shows that the higher the percentage of cement present in the sample is less absorption and the rise of wates and the higher is the flexural strength of mixture, as expected.

1. INTRODUÇÃO

A escassez de recursos para financiar a manutenção da infraestrutura rodoviária e a necessidade de um sistema rodoviário com maior eficiência, segurança e economia, constituem um conjunto de fatores necessários e importantes para se promover a recuperação dos pavimentos rodoviários. Diante deste cenário de debilidade dos pavimentos e insuficiência de recursos, novas técnicas são exigidas, de forma que os recursos disponibilizados resultem em maiores áreas restauradas, com maior desempenho das estruturas projetadas. Tecnologias de reciclagem de pavimentos, entre elas a utilização de resíduo da fresagem de asfalto RAP (*Reclaiment Asphalt Pavement*) tem se mostrado um bom caminho para solucionar esse problema

De acordo com David (2006) o aumento da utilização desses métodos se deve às vantagens que este tipo de solução proporciona, como o aproveitamento de agregados e ligantes do pavimento deteriorado, conservação da geometria e espessura do pavimento existente, redução de custos além da preservação do meio ambiente, aliando as necessidades técnicas, econômicas e ambientais, beneficiando a sociedade com rodovias mais seguras e eficientes.

A utilização do RAP surge como uma alternativa sustentável e viável tanto do ponto de vista ambiental como econômico. O material proveniente da fresagem de asfalto é considerado um passivo ambiental e normalmente não é reutilizado ou tem um descarte adequado. O emprego deste na reciclagem de pavimentos se mostra uma excelente solução, o que diminuiria o

tempo de execução e os custos, além de dispensar o uso de boa parte dos materiais pétreos virgens que seriam necessários.

A análise das propriedades da camada com material reciclado evita gastos desnecessários e desperdícios além de se conhecer as alterações que a utilização do RAP podem causar nas características do pavimento. Neste caso, cita-se a importância do objetivo deste estudo, que busca avaliar a resistência à flexão e a capilaridade da camada com material reciclado utilizando diferentes misturas, sendo estes, fatores que influenciam diretamente na vida útil do pavimento, sujeito às condições do tráfego e do clima.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Restauração

Bernucci et al. (2008) propõe que para a definição de alternativas de restauração é necessário o estudo da condição do pavimento existente, realizado através de uma avaliação funcional e uma avaliação estrutural, de modo que forneçam dados para análise da condição do pavimento e definição das alternativas de restauração apropriadas.

Na avaliação funcional é verificada a condição da superfície do pavimento, através de levantamento e análise de defeitos superficiais, levando em consideração parâmetros como área trincada e severidade, deformações permanentes e irregularidade longitudinal. Já na avaliação estrutural verifica-se a condição da estrutura do pavimento de suportar cargas, tendo como principal parâmetro considerado a deflexão na superfície e a bacia de deformação (BERNUCCI et al., 2008).

2.2. Fresagem

De acordo com a ES 159 (DNIT, 2011), fresagem é a operação em que é realizado o corte ou desbaste de uma ou mais camadas do pavimento asfáltico, por processo mecânico a frio.

A fresagem proporciona o corte do pavimento, podendo ser realizado a quente ou a frio, resultando em partículas de dimensões finas que dependem da profundidade do corte, da velocidade da máquina, do sentido de rotação do cilindro fresador, da quantidade de material e do teor de asfalto, além das condições do revestimento e ambientais (DAVID, 2006).

No material resultante da fresagem deve ser realizado o ensaio de granulometria para dosagem do material pétreo virgem a ser misturado e o correto enquadramento na faixa granulométrica especificada no projeto da mistura (DNIT - ES 169, 2014).

2.3. RAP

O termo “RAP” é atribuído a qualquer material asfáltico recuperado de um pavimento existente. As características principais de um material RAP são o ligante de betume e a granulometria, além da tendência de partículas maiores do material se fragmentarem quando sujeitas às forças da mistura e da compactação (WIRTGEN, 2012).

De acordo com Wirtgen (2012), a granulometria do material RAP resultante é influenciada pelas condições do asfalto existente e da operação de fresagem, como a profundidade de fresagem, velocidade de avanço da fresadora e da rotação do tambor fresador, assim como o sentido no corte.

2.4. Capilaridade

De acordo com Miranda (2013) a capilaridade é a capacidade que um líquido possui de subir por tubos bem finos (capilares). Os fenômenos capilares estão diretamente associados à tensão superficial que atua em toda a superfície de um líquido como decorrência da ação da energia superficial livre.

Durante ou após a construção de pavimentos rodoviários, a água existente própria do lençol freático pode subir por capilaridade e tende a comprometer a durabilidade de pavimentos, desde que o lençol esteja muito próximo ao topo do subleito (MIRANDA, 2013).

Moulton (1990) sugere que a capilaridade ocorre nos poros do solo sobre a linha de saturação devido a ação da tensão superficial. O formato e a altura abrangida pela altura da ascensão capilar é função, principalmente, da distribuição granulométrica e da densidade.

2.5. Resistência à flexão

O ensaio de tração na flexão com um cutelo apresenta tendência de ruptura na seção central de momento fletor máximo, porém não obrigatória. A resistência, caso a ruptura ocorra fora dessa seção, deve ser estimada linearmente em função do momento fletor que ocorre na distância de ruptura considerada a partir do apoio mais próximo;

2.6. Estudo da Arte

2.6.1 Reciclagem de pavimentos com adição de cimento: comportamento à flexão de misturas contendo BGTC e fresado asfáltico

Trabalho realizado por Vinicius Eich D'Avila, orientado por Washington Pereira Núñez, na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRS) em Porto Alegre, no ano de 2015. Focou-se na determinação da resistência à flexão e da deformação à tração, em misturas de BGTC (Brita Graduada Tratada com Cimento) e fresado asfáltico recicladas e moldadas em formato prismático, em laboratório, para aplicação em modelos de fadiga que utilizam esses parâmetros.

Seguiu-se uma metodologia internacional de estudo de vida de fadiga de materiais cimentados. Primeiramente as amostras coletadas in situ, revestimento asfáltico e base, foram caracterizados, em seguida realizaram-se ensaios de compactação para determinação da umidade ótima e do peso específico aparente seco máximo, com porcentagens de material fresado asfáltico (20%, 50% e 70%) e teores de cimento (2%, 4% e 6%) pré-determinados, com tempo de cura de 28 dias. Com os parâmetros de compactação obtidos, foram realizados os ensaios de resistência à flexão em viga quatro pontos, definindo assim, os resultados de caracterização mecânica das misturas.

Os resultados obtidos mostraram que apenas a mistura com 2% de cimento e 20% de fresado apresentou discrepâncias entre os dados. As demais misturas obtiveram valores semelhantes, com coeficientes de variação que caracterizam uma boa representatividade dos ensaios realizados. Os resultados de resistência à tração na flexão ficaram no intervalo de 0,32 a 1,34MPa, enquanto que a deformação na ruptura apresentou grande variabilidade, com valores situados numa faixa entre 165 e 1.200 $\mu\epsilon$.

Além disso, notou-se que o teor de fresado não afetou significativamente a resistência à flexão

dos corpos de prova, independente do teor de cimento utilizado. Já as deformações na ruptura, misturas com 70% de fresado apresentaram comportamento altamente deformável, atingindo valores muito acima do esperado para materiais cimentados. Quanto ao cimento, o acréscimo deste material, como se espera, resultou em maiores resistências, porém, não houveram mudanças significativas em relação as deformações.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a composição da mistura a ser utilizada, utilizou-se brita graduada simples (BGS), resíduo fresado de pavimento asfáltico (RAP), pó de pedra e cimento CP II F-32. A mistura foi utilizada para a aferição da resistência à flexão e capilaridade, sendo que foi previamente caracterizada e enquadrada na Faixa II sugerida pela ES-P 09 (DEINFRA, 2016) para misturas recicladas.

3.1. Mistura, Moldagem e Cura dos Corpos de Prova

A mistura foi composta de 50% de brita graduada simples e 33,3% de resíduo de pavimento asfáltico fresado, com adição de 16,6% de pó de pedra, com variações na adição de cimento na ordem de 2%, 3% e 4%.

Inicialmente realizou-se a homogeneização da BGS com o RAP, seguidos da adição de pó de pedra e cimento. Adicionou-se água na ordem de 7%, valor de umidade ótima obtido anteriormente através do ensaio de Próctor, realizando então a homogeneização final da mistura.

Para o estudo referente a resistência a flexão foram moldados três corpos de prova prismáticos com dimensões de 10x10x40cm para cada porcentagem de adição de cimento, seguindo as prescrições da NBR 5738 (ABNT, 2004). Os mesmos foram compactados com o auxílio de prensa mecânica, como observa-se na Figura 1, em três camadas iguais, adaptado da norma que recomenda a compactação em cinco camadas devido à dimensão máxima dos agregados. Durante a cura de 28 dias os corpos de prova ficaram armazenas em caixas térmicas, e foram umedecidos diariamente com o intuito de controlar da melhor maneira a temperatura e umidade.

Figura 1: Moldagem CP Prismático



Para a avaliação do comportamento de capilaridade, seguiu-se as prescrições da NBR 9779 (ABNT, 1995). Neste caso foram utilizados dois corpos de prova cilíndricos com diâmetro de

10cm e altura de 20cm, compactados com energia modificada de forma manual, em cinco camadas com 41 golpes cada utilizando o soquete grande, para cada porcentagem de cimento adicionada na mistura, tal qual a Figura 2. Os mesmos permaneceram durante o período de cura em caixas térmicas onde foram umedecidos diariamente para melhor controlar a temperatura e a umidade.

Figura 2: Compactação em moldes cilíndricos



3.2. Resistência à Flexão

Para a aferição da resistência a tração por flexão seguiu-se as recomendações da NBR 12142 (ABNT, 2010). Inicialmente pesou-se os corpos de prova e realizou-se a medição da largura, altura e comprimento dos mesmos, além disso demarcou-se onde seriam posicionados os apoios na extremidade inferior e o local de aplicação de carga na extremidade superior. Neste caso os apoios foram posicionados a uma distância de 5cm da extremidade lateral dos corpos de prova, adaptado da norma que recomenda uma distância de 2,5cm, devido à baixa resistência apresentada nos cantos, que estavam muito frágeis. O local de aplicação de carga foi posicionado no meio do copo de prova, com uma distância de 15cm dos apoios.

Os corpos de prova foram posicionados centralizados sobre os apoios e a carga foi aplicada perpendicularmente as faces superior e inferior, sem excentricidades. O posicionamento do corpo de prova na prensa, assim como os dispositivos de apoio e aplicação de carga podem ser observados na Figura 3. A força foi aplicada continuamente e sem choques, aumentando gradativamente a tensão sobre os corpos de prova, até que os mesmos rompessem por flexão, anotando o valor da força máxima registrado pela prensa. O corpo de prova após o rompimento pode ser observado na Figura 4.

Figura 3: CP e elementos



Figura 4: Rompimento CP por Flexão



A resistência à tração por flexão foi calculada a partir da Equação 1.

$$f_{ct,f} = \frac{3 * F * l}{2 * b * d^2} / 10 \quad (1)$$

Onde:

$f_{ct,f}$ – resistência à tração por flexão (MPa);

F – força máxima registrada na máquina de ensaio (Kgf);

l – dimensão do vão entre os apoios (cm);

b – largura média do corpo-de-prova (cm);

d – altura média do corpo-de-prova (cm).

3.3. Capilaridade

Inicialmente retirou-se dois corpos de prova de cada porcentagem de cimento da cura úmida, deixando os mesmos secarem em temperatura ambiente durante um período de 24 horas, e então pesou-se os mesmos, obtendo o peso seco. Colocou-se os corpos de prova dentro de formas com superfície inferior nivelada, sobre grades, de modo a permitir que a base dos mesmos estivesse em contato com a água. Em seguida foi colocada a água no interior da forma, de modo que o nível ficasse 5mm acima da face inferior do corpo de prova, evitando a molhagem de outras superfícies, como pode ser visto na Figura 5.

Figura 5: Corpos de prova sobre lâmina de água



Durante o ensaio, foi determinada a massa dos corpos de prova com 3h, 6h, 24h, 48h e 72h, contadas a partir da colocação destes em contato com a água, sendo que os mesmos foram previamente secos superficialmente com pano úmido, tal qual a Figura 6, determinando o peso úmido no respectivo tempo. Além disso mediu-se a altura da ascensão capilar em centímetros em cada pesagem, como observa-se na Figura 7, sendo que após cada etapa os corpos de prova retornaram imediatamente ao recipiente de ensaio.

Figura 2: Secagem superficial do CP



Figura 3: Medição da ascensão capilar



Em cada medição aferiu-se a altura da lâmina de água, e sempre que necessário foi adicionada a quantia necessária para que o nível de 5mm acima da face inferior fosse mantida.

A absorção de água por capilaridade foi obtida a partir da Equação 2.

$$C = \frac{A - B}{S} \quad (2)$$

Onde:

C – absorção de água por capilaridade (g/cm²);

A – massa do cp em contato com a água durante determinado tempo especificado ensaio (g);

B – massa do cp seco em temperatura ambiente (g);

S – área da seção transversal (cm²).

3.4. Resistência à compressão simples

Para a aferição da resistência à compressão simples efetuou-se os procedimentos descritos na DNER –ME 201 (DNIT, 1994). Inicialmente fez-se a medição do diâmetro e da altura, além da pesagem de cada corpo de prova. Além disso verificou-se que a base dos mesmos apresentava superfície horizontal e nivelada, não sendo necessário dessa forma a realização do capeamento.

Os corpos de prova foram colocados sobre o prato fixo da prensa, posicionando-os para que ficassem centralizados e com eixo vertical alinhado com o centro de aplicação de carga. Em seguida abaixou-se suavemente o prato móvel da prensa sobre a superfície superior do corpo de prova, tomando cuidado para que não danificasse o mesmo (Figura 8).

Figura 8: Secagem superficial do CP



4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1. Resistência à Flexão

Os valores médios obtidos para a resistência à flexão e as respectivas densidades para cada mistura são demonstrados na Tabela 1. Na Figura 6 observa-se os valores médios de resistência obtidos para se ter uma melhor visualização dos resultados.

Tabela 1: Resultados de Resistência à Flexão

Ensaio	Porcentagem de Cimento na Mistura		
	2%	3%	4%
Resistência média à Flexão 28 dias (MPa)	0,34	0,39	0,73
Densidade média (g/cm ³)	2,29	2,28	2,31

Pode-se aferir que os corpos de prova com porcentagem maior de cimento apresentaram resistência superior. A mistura com 4% de cimento apresentou uma melhora significativa de resistência quando comparada as misturas com 2% e 3% de cimento, apresentando um acréscimo de 114,70% e 87,18%, respectivamente.

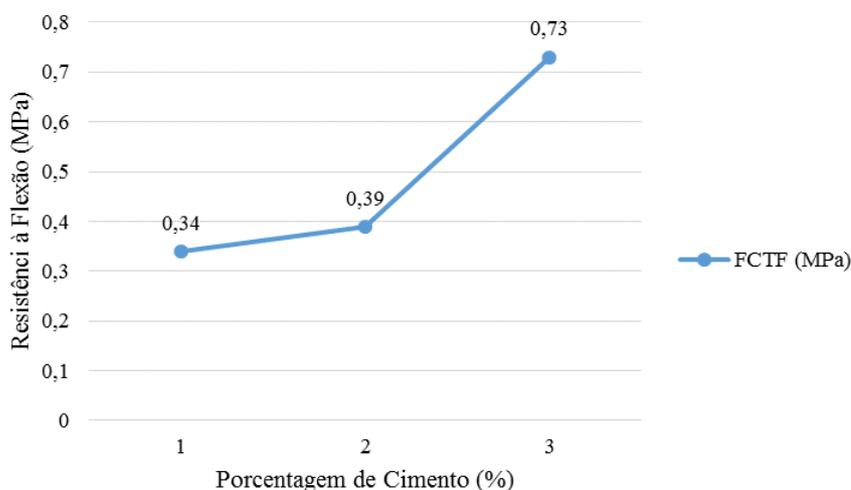


Figura 6: Resultados de Resistência à Flexão

O cimento age como um aglomerante, unindo os demais insumos da mistura, assim quanto maior a porcentagem do mesmo na mistura, menor a quantidade de vazios internos e maior a densidade. Isso explica a maior resistência obtida nas misturas com maior quantidade desse material.

A Tabela 2 mostra as umidades aferidas no momento de moldagem e de rompimento por flexão dos corpos de provas prismáticos.

Tabela 2: Umidades CP's Prismáticos

Cimento %	Umidade média CP's Prismáticos (%)	
	Moldagem	Rompimento
2%	7,13	7,82
3%	7,10	7,58
4%	7,36	7,48

Pode-se notar que no momento da moldagem a umidade ficou bem próxima da ideal de 6,90%, sendo que neste momento foi adicionado 7%, 0,1% a mais para que compensasse a perda de umidade que poderia ocorrer, essa pequena diferença na umidade não interfere significativamente no grau de compactação e na densidade dos corpos de prova. A umidade aferida no momento de rompimento mostrou-se acima do esperado, isso pode ter ocorrido pelo excesso de umedecimento dos corpos de prova durante o processo de cura. A água é necessária ao cimento durante o processo de cura para que inicie as reações químicas e haja o ganho de resistência, porém a umidade acima do ideal pode ter deixado os valores de resistência inferiores aos que teriam sido obtidos caso a mesma estivesse mais próxima da ótima.

4.2. Capilaridade

A partir do ensaio de capilaridade foi possível aferir a absorção e a ascensão capilar de água nas diferentes misturas. Neste caso utilizou-se dois corpos de prova para cada porcentagem de cimento, sendo estas de 2%, 3% e 4%.

A Tabela 3 e a Figura 7 a seguir, mostram os resultados obtidos quanto a absorção de água por capilaridade, nos períodos de 3, 6, 24, 48 e 72 horas.

Tabela 3: Resultados da absorção de água por capilaridade

Cimento %	Absorção por Capilaridade (g/cm ³)				
	3h	6h	24h	48h	72h
2%	0,81	1,09	1,99	2,39	2,48
3%	0,56	0,79	1,46	1,81	1,96
4%	0,46	0,63	1,25	1,62	1,69

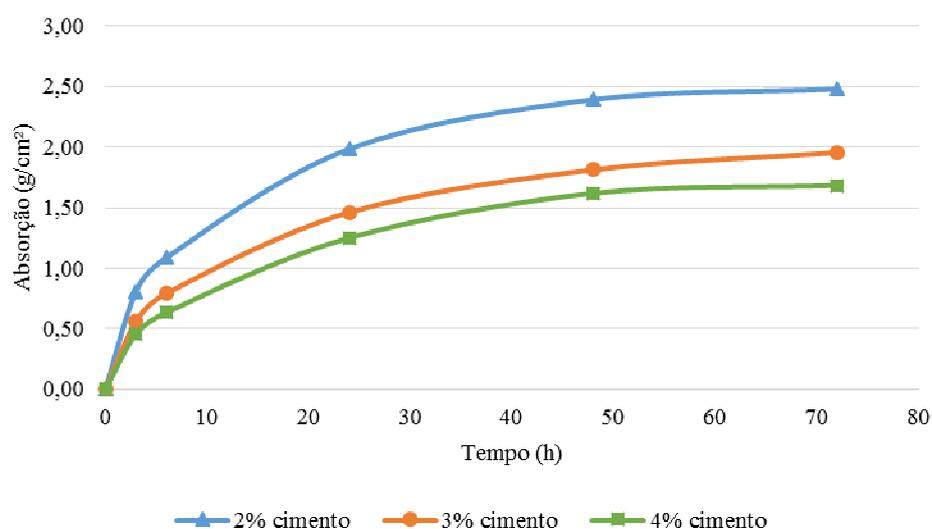


Figura 7: Resultados da absorção de água por capilaridade

Na Tabela 4 pode-se visualizar as densidades médias dos corpos de prova ensaiados no momento do rompimento.

Tabela 4: Densidade média CP's Cilíndricos

Ensaio	Porcentagem de Cimento na Mistura		
	2%	3%	4%
Densidade média (g/cm³)	2,36	2,41	2,42

Na mistura com adição de 2% de cimento houve um acréscimo de peso ocasionado pela absorção de água de 5,58% em 72 horas, já nos corpos de prova com adição de 3% e 4% este acréscimo de peso foi de 4,22% e 3,58%, respectivamente. Pode-se notar que quanto maior a porcentagem de cimento menor é a absorção de água, isso ocorre devido a menor quantidade de vazios e a maior densidade das amostras com maior porcentagem de cimento, o que dificulta a absorção por capilaridade (Tabela 4).

Os resultados referentes a ascensão capilar de água podem ser vistos na Tabela 5, os mesmos podem ser melhor visualizados na Figura 8.

Tabela 5: Resultados ascensão capilar de água

Cimento %	Ascensão Capilar (cm)				
	3h	6h	24h	48h	72h
2%	5,2	5,6	6,1	6,35	6,4
3%	4,0	4,3	4,65	4,9	5,1
4%	3,1	3,6	3,9	4,15	4,2

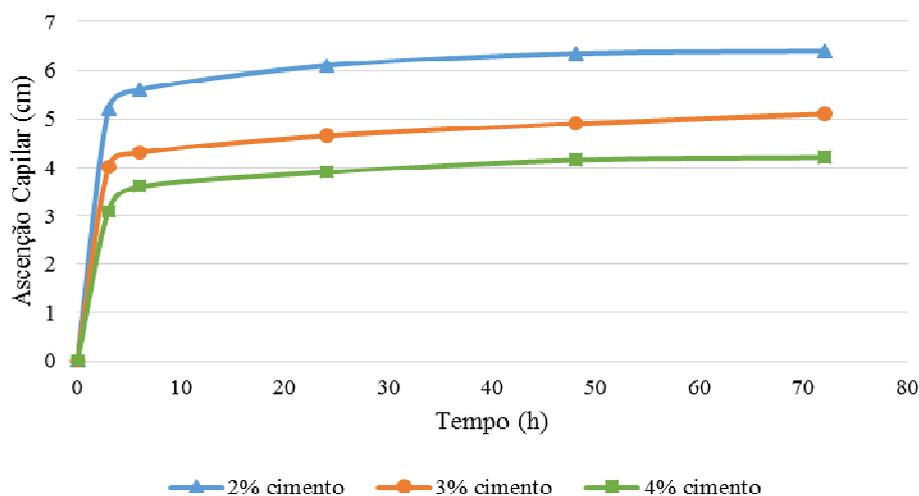


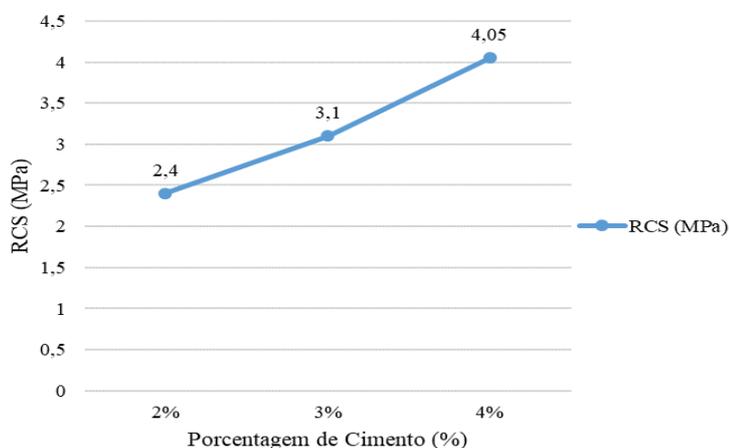
Figura 8: Resultados ascensão capilar de água

Pode-se aferir que quanto menor a porcentagem de cimento maior é a ascensão de água, a diferença é melhor percebida nas primeiras 3h de contato com a água, onde a amostra com 2% de cimento apresentou grande diferença com relação as demais, a partir daí o ganho de ascensão em centímetros ocorre gradualmente quase de forma igualitária entre as três amostras. Percebe-se também que nas três amostras o ganho em ascensão ocorreu quase por completo nas primeiras horas, após isso a variação de altura foi baixa. Vale citar que foi realizada apenas a medição da ascensão externa dos corpos de prova.

4.3. Resistência à compressão simples

Aferiu-se a resistência à compressão simples em corpos de prova com variação de cimento de 2%, 3% e 4% na mistura reciclada composta por 60% de BGS, 40% de RAP e adição de 20% de pó de pedra, sendo três corpos de prova para cada porcentagem de cimento. Neste caso aferiu-se a resistência apenas aos 36 dias, já que dois corpos de prova de cada porcentagem de cimento foram utilizados anteriormente para aferição da capilaridade. Os resultados obtidos através do ensaio podem ser melhor observados nos Apêndices E, G e J. A Figura 9 mostra os resultados quanto a resistência obtida no ensaio de RCS para uma melhor visualização dos resultados.

Figura 9: Resultados de RCS em diferentes misturas



Percebe-se que os corpos de prova com maior teor de cimento apresentaram resistência superior. A mistura com 3% de cimento apresentou uma melhora de resistência de 29,17% com relação a mistura com 2%, já a mistura com 4% de cimento apresentou uma melhora na resistência de 68,75% com relação a mistura com 2%, mostrando a grande influência dessa adição quanto a melhora do desempenho.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise dos resultados obtidos quanto a resistência à flexão e capilaridade, é possível dizer que a utilização do resíduo fresado de asfalto em bases recicladas de pavimento mostra-se como uma alternativa viável levando em consideração estes aspectos.

Apesar da importância destes dois fatores quanto à qualidade e vida útil da camada do pavimento é recomendada a avaliação de outros parâmetros, afim de viabilizar com certeza a utilização do agregado reciclado para este fim.

A reciclagem de pavimentos e a utilização de agregados reciclados tem se mostrado cada vez mais uma alternativa viável para a diminuição dos custos e do potencial impacto ao meio ambiente, reduzindo o uso de agregados pétreos virgens e diminuindo o tempo de execução do serviço.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12142 - Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9779 - Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1995.
- BERNUCCI, Liedi Bariani; MOTTA, Laura Maria Goretti da; CERATTI, Joge Augusto Pereira; SOARES, Jorge Barbosa. Pavimentação Asfáltica: Formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobras. 2008. 501 p.
- CARNIN, R. L. P. (2008). Reaproveitamento do resíduo de Areia Verde de Fundição como Agregado em Misturas Asfálticas. Tese de doutorado, Universidade Federal do Paraná.
- DAVID, D. Misturas asfálticas recicladas a frio: estudo em laboratório utilizando emulsão e agente de reciclagem emulsionado. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Departamento de Infraestrutura do estado de Santa Catarina. DEINFRA ES-P 09 – Pavimentação: reciclagem profunda de pavimentos. Florianópolis, 2016.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT 159 – Pavimentos asfálticos – Fresagem a frio – Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2011.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT 169 – Pavimentação - Reciclagem de pavimento em usina com espuma de asfalto - Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, 2014.
- JUNGES, T. O. et al. Compósitos cimentícios super deformáveis para engenharia: Análise da estrutura de poros. 2014. Salão de Iniciação Científica UFRGS, Porto Alegre.
- MIRANDA, L. P. Análise do comportamento mecânico de pavimento reforçado com geossintético sob carregamento cíclico em modelo físico de verdadeira grandeza. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Pontifícia Universidade Católica (PUC), Rio de Janeiro.
- MOULTON, L. K. Highway Subdrainage Design. Report n° FHWA – TS – 80.224 – Federal Highway Administration. 1980.
- SENÇO, Wlastemiler. Manual de técnicas de pavimentação. São Paulo. 1997. 746p.
- WIRTGEN Group. Manual de reciclagem a frio. 1. Ed. Windhagen: Alemanha. 2012. 370 p.
- D'ÁVILLA, V. Reciclagem de pavimentos com adição de cimento: comportamento à flexão de misturas contendo BGTC e fresado asfáltico. 2015. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.