



## 26° Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 49ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPV)

# AVALIAÇÃO MECÂNICA DA BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO CONTENDO FIBRA DE POLIPROPILENO MULTIFILAMENTO

*Helen Mariana Ribeiro Fontes<sup>1</sup>; Fernando Silva Albuquerque<sup>1</sup>*

### RESUMO

Com o aumento das cargas de tráfego nas rodovias o potencial de danos à estrutura dos pavimentos também aumentou ao longo do tempo. Nos anos 1970 a brita graduada tratada com cimento (BGTC) passou a ser muito aplicada em vias de grande volume de tráfego pesado. A BGTC promove ao pavimento alta rigidez, controlando as deformações permanentes, porém é um material susceptível à fadiga, gerando trincamentos excessivos, reflexão de trincas às camadas asfálticas, causando a degradação completa ao pavimento. Consequentemente, mesmo sendo mais resistente, devido a adição do cimento, que materiais granulares, ainda pode conferir durabilidade menor que a desejada ao pavimento, o que gera mais gastos e transtornos para a malha rodoviária e usuários. Com isso, essa pesquisa teve como objetivo avaliar o desempenho mecânico de uma BGTC+fibras de polipropileno multifilamento para uso em pavimentos semirrígidos, comparando seu desempenho ao de uma BGTC tradicional com 4% de cimento Portland (CP-IV). A interação da BGTC+fibras resultou em um material de menor rigidez, sem perda de resistência à tração da matriz cimentada, mas com tenacidade ampliada, além de elevada resistência à fadiga, quando comparada à BGTC tradicional. O compósito estudado de BGTC+fibras configura-se como um material de grande potencial para uso em pavimentação de alto volume de tráfego, devido ao seu elevado desempenho, mesmo a um baixo custo de implementação.

**PALAVRAS-CHAVE:** brita graduada tratada com cimento, fibras, camadas cimentadas, pavimento de alto desempenho

### ABSTRACT

With the increase in traffic loads on highways, the potential for damage to pavement structures has also increased over time. In the 1970s, cement-treated stones became widely applied in high-volume heavy traffic roads. Cement-treated stones provide high pavement stiffness, controlling permanent deformations, but it is susceptible to fatigue, leading to excessive cracking, crack reflection to asphalt layers, causing complete pavement degradation. Consequently, even though it is more resistant than granular materials, it may still provide less durability than desired to the pavement, leading to increased expenses and disruptions for the road network and users. Therefore, this research aimed to evaluate the mechanical performance of cement-treated stones with multifilament polypropylene fibers for use in semi-rigid pavements, comparing its performance to that of traditional cement-treated stones with 4% Portland cement (Type IV). The interaction of CTGG with fibers resulted in a material with lower stiffness, without loss of tensile strength of the cementitious matrix, but with increased toughness and high fatigue resistance compared to traditional cement-treated stones. The studied composite of cement-treated stones with fibers represents a material with great potential for use in high-traffic volume pavement due to its high performance, even at a low implementation cost.

**KEY WORDS:** Cement-treated graded aggregate; Fibers; Cement-treated layers; High-performance pavement

<sup>1</sup> Universidade Federal de Sergipe, Laboratório de Topografia e Transportes (LTT), marianafontes0103@academico.ufs.br; albuquerque.f.s@academico.ufs.br



## INTRODUÇÃO

A sustentabilidade na construção é de extrema importância, pois são gerados diariamente toneladas de resíduos oriundos de obras de pavimentação, que em sua grande maioria, são descartados de forma indevida no meio ambiente. No Brasil, os pavimentos dimensionados possuem uma vida útil bem curta devido às restrições econômicas e com isso geram-se mais manutenções em curto ou médio prazo, o que representa um custo maior em longo prazo para manter a malha rodoviária, além de mais produção de resíduos e uso de recursos.

A degradação dos pavimentos é causada em parte pelas condições ambientais, mas em maior escala devido alta frequência de carregamento nas vias e ao excesso de suas cargas. De acordo com Medina e Motta (2005), esse excesso de carga resulta no desgaste acelerado dos pavimentos, podendo causar o trincamento por fadiga, que nada mais é que o dano causado pela repetição de cargas do tráfego, ou por deformações plásticas, causado pelo cisalhamento nas camadas. Desse modo, torna-se necessária a construção de um pavimento com vida útil maior, de forma a ser mais econômico em longo prazo.

Segundo Bernucci et al. (2022), as estruturas de pavimentos brasileiros são geralmente dimensionadas para uma vida útil muito curta por conta de restrições econômicas de médio prazo, embora no longo prazo isso signifique um maior custo para as organizações que gerenciam malhas rodoviárias. Os pavimentos asfálticos são comumente projetados para uma vida de serviço de 10 anos, enquanto que os pavimentos de concreto (com alto consumo de cimento Portland) são a opção para uma vida de serviço mais prolongada (até 25 anos).

Por outro lado, alguns materiais bem conhecidos na engenharia rodoviária podem cumprir a função da camada de sub-base ou base de alto desempenho, geralmente cimentadas, para constituir uma pavimentação asfáltica semirrígida. A Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC) pode ser uma alternativa mais econômica para isso, já que seu consumo de cimento é um dos menores entre as camadas cimentadas, insumo esse considerado o mais relevante nesses materiais.

Segundo Bernucci et al. (2008), a BGTC é constituída de granulometria muito semelhante à Brita Graduada Simples, mas com a adição de cimento. Em meados da década de 1970, passou a ser muito aplicada para via com alto volume de tráfego no Estado de São Paulo. Os mesmos autores mencionam que a grande limitação da BGTC é sua ruptura quase frágil, ou seja, com baixíssimas deformações.

Essa deficiência foi estudada por Bacelar (2019), que desenvolveu um compósito pela mistura da BGTC com fibras. Com isso, foi estudado nesta pesquisa o uso de BGTC com fibras para atingir uma vida útil de serviço elevada, capaz de resistir ao alto volume de tráfego pela ampliação da vida de fadiga.

Nessa ótica, o presente estudo analisou o desempenho de uma BGTC com a adição de fibras de polipropileno para uso como camada de pavimentos semirrígidos. O intuito foi avaliar os ganhos ao desempenho mecânico pelo uso desse compósito frente a uma BGTC tradicional.

A partir dos resultados observou-se que, pelo fato de ter desempenho mecânico superior, o compósito BGTC+fibras apresenta uma relação benefício/custo melhor em longo prazo. A redução do consumo de recursos naturais e da geração de passivos ambientais pela menor frequência de atividades de manutenção pode ser outro benefício.



## MATERIAIS E MÉTODOS

### Materiais estudados

Em consonância com Bernucci et al. (2008), na BGTC é utilizado o mesmo material da BGS, entretanto com acréscimo de cimento, que varia entre 3 a 5% em relação a massa total, respeitando as recomendações da ABNT NBR 12261 (1991d), ABNT NBR 12262 (1991e) e DER-SP ET-DE-P00/009/2005.

De acordo com a mesma referência, para o aumento da resistência e durabilidade da BGTC é necessário que a compactação seja realizada na energia modificada. É importante destacar que o uso do cimento inadequado ou em grande quantidade provoca a retração importante devido à cura, conseqüentemente há o surgimento de trincas e fissuras. É preciso cuidado ao empregar a BGTC como camada de base, pois, após trincamento dessa, pode haver reflexão de trincas para a camada asfáltica.

Nessa pesquisa, com o propósito que diminuir os efeitos da retração, optou-se por dosar a mistura com granulometria do *South African Pavement Engineering Manual* (SAPEM, 2014), que tem maior quantidade de materiais passantes na #4 e é de alta densidade. A porcentagem de cimento escolhida foi de 4%, cujo consumo de cimento é relativamente baixo, mas intermediário de acordo com as recomendações normativas.

De acordo com a ABCP (2002), o Cimento Portland resistente à sulfatos possui baixo calor de hidratação, o que reduz a probabilidade de retração. Possui também boa interação com agregados reativos e boa resistência à agentes químicos. O cimento CP IV 32- RS possui em sua composição de 15 a 30% de pozolana. Com isso, o alto teor de pozolana reduz a reatividade dos agregados em ambientes que tem a presença de sulfatos. Em princípio, uso desse cimento atinge menor resistência que cimentos comuns nos primeiros dias, o que ajuda também a reduzir os efeitos da retração (ABCP, 2002). Este tipo de cimento atende a NBR 16697.

A inserção da fibra na mistura de BGTC teve o objetivo de melhorar o desempenho do material na tração, pois, devido a BGTC convencional ser um material de comportamento quase-frágil, pode trincar facilmente. Devido a isso, a fibra aumenta a tenacidade (ou seja, o quanto o material vai absorver energia antes de fraturar) e a resistência à fadiga. A fibra utilizada nesta pesquisa foi a de polipropileno multifilamento (BACELAR, 2019).

De acordo com Bacelar (2019), a vantagem deste tipo de fibra é o bom entrosamento com os agregados e cimento e o elevado número de filamentos por kg, conforme a Figura 1.

Como pode ser visto na Figura 1, para ser utilizada na mistura é preciso separar os filamentos de fibras, que são fornecidas entrelaçadas, para a obtenção de uma mistura mais homogênea.

De acordo com Bacellar (2019), a fibra possui 54 mm e tem formato em multifilamento. É um tipo de fibra sintética e é composta por mescla de poliolefinas. Essa característica química promove bom desempenho com agregados e cimento. A fibra utilizada possui outras características que são: a) Módulo de elasticidade: 7GPa; b) Resistência à tração: 550-650 MPa; c) Densidade (g/cm<sup>3</sup>): 0,91; d) Resistência à álcalis: total; e) Condutividade elétrica: nula; f) Absorção: nula; e g) Ancoragem: físico/química.

Os materiais pétreos utilizados nesta pesquisa foram coletados na usina de asfalto da Empresa Municipal de Obras e Urbanização (EMURB), localizada em São Cristóvão/SE. Foi utilizada brita



1, brita 3/8, fíleres da pedra britada, areia e pó de pedra. Observa-se na Figura 2a a distribuição dos materiais na curva granulométrica do SAPEM (2014).



Figura 1. Fibra de Polipropileno Multifilamento

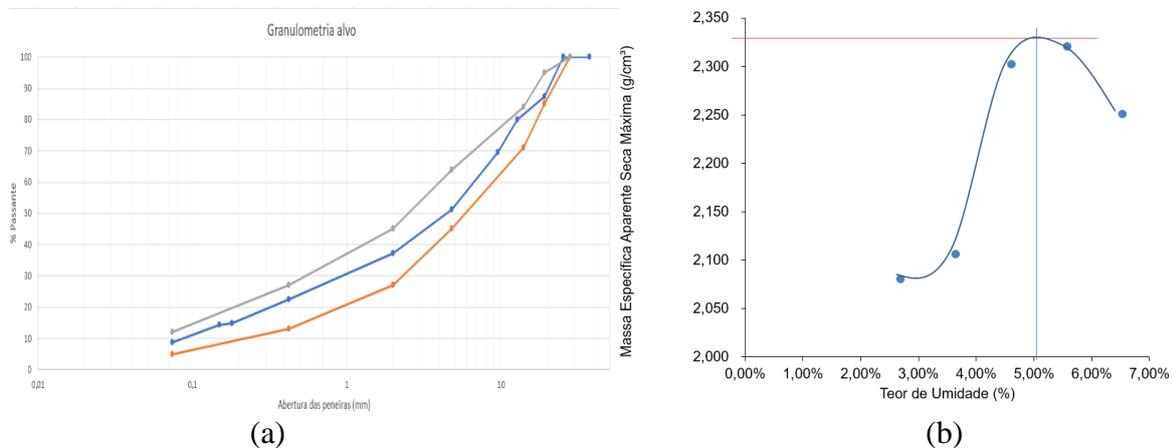


Figura 2. (a) Curva Granulométrica utilizada para a BGTC; (b) Curva de Compactação

O cimento utilizado foi coletado por meio de doação na Usina de cimento da Votorantim, localizada no município de Laranjeiras/SE. O teor utilizado, conforme já mencionado, foi 4%, dentro da faixa recomendada para BGTCs.

A água utilizada nas misturas foi da própria rede. A umidade ótima foi obtida através do ensaio de compactação referenciado pelo DNER-ME 162/64, na energia Proctor modificada, com 55 golpes por camada e amostra total de 7kg. A umidade ótima ( $W_o$ ) foi obtida conforme Prado (2018), de acordo com a água adicionada à mistura.

$$M_{seca} = \frac{100}{100 + W_o} * M_{total}$$

Diante disso, pôde-se observar na curva de compactação da Figura 2b que o teor de umidade ótima da BGTC com 4% de cimento foi 5,2% e massa específica aparente seca máxima de 2,33 g/cm<sup>3</sup>.



## Determinação do teor de fibras

Apresenta-se na Figura 3 o desempenho das fibras na avaliação da resistência à tração e tenacidade, conforme definido por Bacelar (2019) e Bacelar et al. (2020).

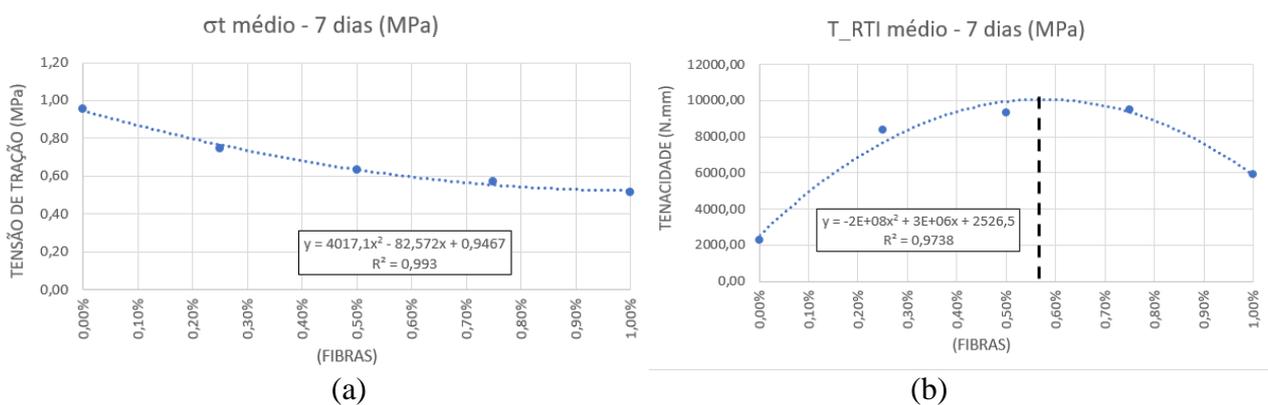


Figura 3. (a) RTCD pela porcentagem de fibras; (b) tenacidade pela porcentagem de fibras

Mesmo que a resistência à tração (Figura 3a) seja um bom indicador de desempenho para a mistura cimentada, o parâmetro levado em consideração para a dosagem das fibras foi a tenacidade (Figura 3b), pois é a que reúne o melhor desempenho à deformabilidade e ancoragem às fibras. Essa avaliação tem o propósito de indicar qual das misturas oferece maior capacidade de deformação até atingir 40% da tensão de ruptura à tração, conforme Bacellar (2019), ou seja, indica o material compósito que melhor converteu o comportamento quase-frágil para tenaz. Com isso, a mistura que apresentou o melhor desempenho à tenacidade foi com aproximadamente 0,5% de fibras em volume na mistura.

## Ensaio mecânicos para avaliação da BGTC+fibras

Foram realizados ensaios mecânicos a fim de se determinar parâmetros como a Resistência à Compressão Simples (RCS), Resistência à Tração por Compressão Diametral (RTCD) e na Flexão (RTF), Módulo de Resiliência (MR), Módulo Dinâmico ( $E^*$ ) e Vida Fadiga.

Para o ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral (RTCD) foi utilizado o procedimento da norma DNIT 136/2018-ME (Figura 4a). Este ensaio foi realizado em corpos de prova (CPs) com e sem o acréscimo de fibras e ensaiados com 7 e 28 dias de cura.

Para o ensaio de Resistência à tração na flexão (RTf) foi utilizado o procedimento da norma NBR 12142 (Figura 4b). Este ensaio foi realizado com e sem o acréscimo de fibras e apenas para 28 dias de cura.

Para o ensaio de Resistência à compressão simples (RCS) foi utilizado o procedimento da norma DNER-ME 201/94 (Figura 4c). Este ensaio foi realizado com e sem o acréscimo de fibras e CPs com 28 dias de cura.



Para o ensaio de Módulo de resiliência (MR) foi utilizado o procedimento da norma DNIT 181/2018-ME (Figura 4d). Este ensaio foi realizado com e sem o acréscimo de fibras e CPs com 28 dias de cura.

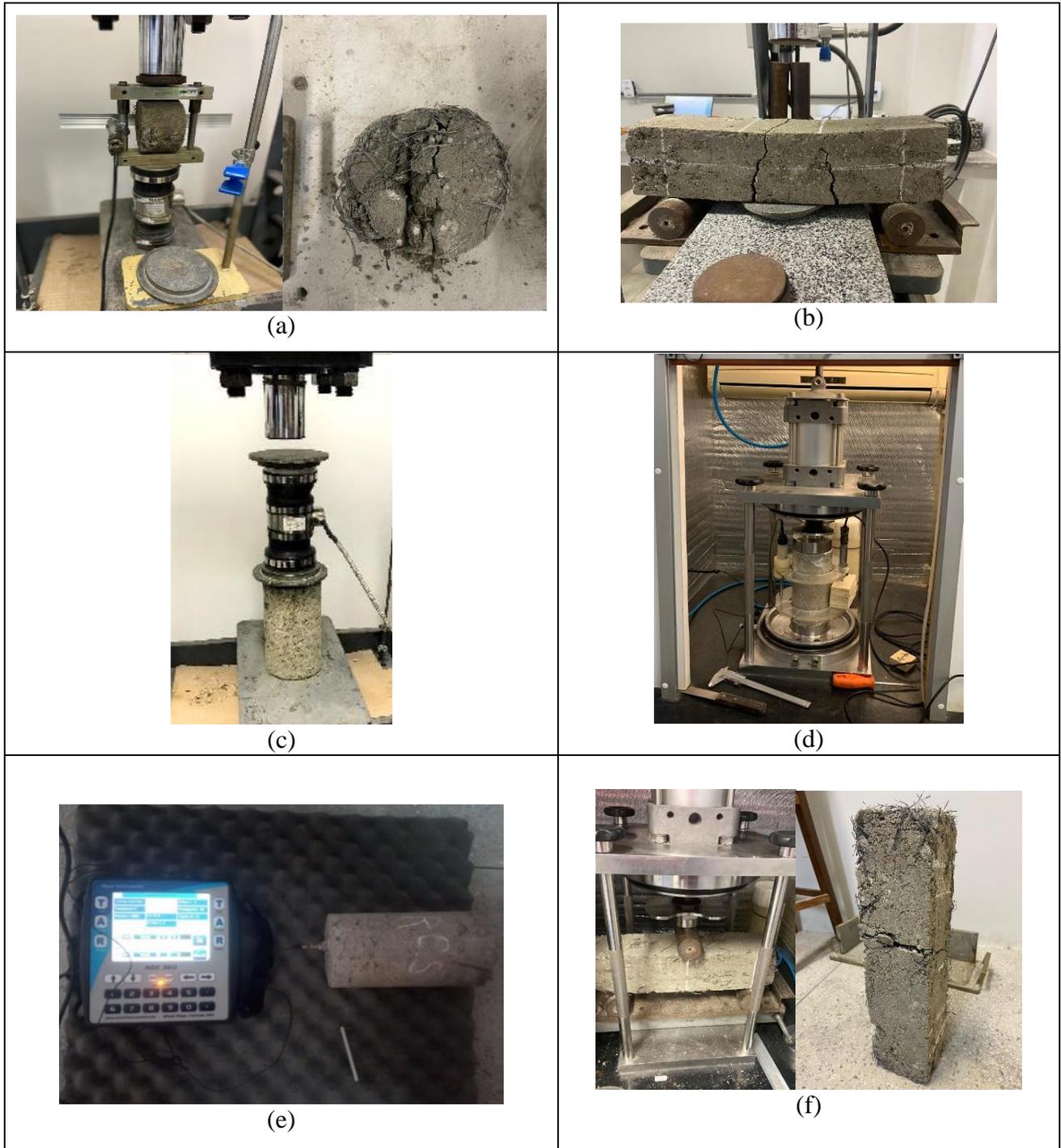


Figura 4. Imagens dos ensaios realizados na pesquisa:  
 (a) RTCD; (b) RTf; (c) RCS; (d) MR; (e) E\*; (f) Fadiga.



Para o ensaio de Módulo dinâmico longitudinal ( $E^*$ ) foi utilizado o procedimento da ASTM C215/2014 (Figura 4e). Este ensaio foi realizado com e sem o acréscimo de fibras e CPs com 28 dias de cura.

E para o ensaio de Vida de Fadiga foi utilizado o procedimento da AUSTROADS (2004) para materiais cimentados (Figura 4f). Este ensaio foi realizado com e sem o acréscimo de fibras e CPs prismáticos com 28 dias de cura. O armazenamento dos CPs nos processos de cura foi comum a todas as geometrias, sempre com o material envolto a plástico filme e depositado em câmara úmida.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As discussões foram feitas analisando o impacto da inserção da fibra na BGTC para cada ensaio realizado. Dessa forma, o objetivo foi avaliar o comportamento da inserção da fibra no que diz respeito ao desempenho mecânico adquirido pelo compósito em comparação com a BGTC tradicional.

Os resultados obtidos para RTCD estão apresentados graficamente na Figura 5 para melhor entendimento. Para isso, foram ensaiados três corpos de prova controle (sem fibra) e outros três com fibra para obter uma média da tensão de tração e poder fazer um comparativo do resultado.

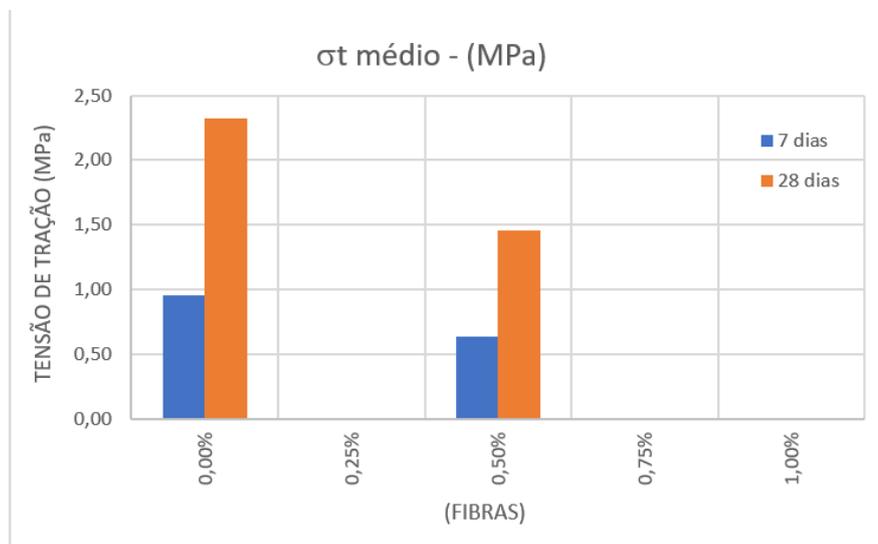


Figura 5. Comparativo do desempenho do RTCD com 7 dias e com 28 dias

A partir da Figura 5, nota-se um aumento esperado nos valores médios de RTCD tanto para mistura padrão quanto para mistura com fibra dos 7 dias para 28 dias de cura. Entretanto, o aumento foi maior para a mistura padrão. Essa variação, já conhecida pelo grupo de pesquisa, ocorreu devido ao procedimento de moldagem e ensaio, pois como os corpos de prova são pequenos não teve uma homogeneização adequada das fibras à matriz da mistura. Apesar disso, quando comparado os resultados obtidos com os de Bacellar (2019), nota-se que são satisfatórios, pois superaram as



misturas por ele realizadas com 5% de cimento, muito devido ao aprimoramento da faixa granulométrica (SAPEM, 2014) e tipo de cimento (CP-IV) adotados pelo grupo de pesquisa. Os resultados obtidos para RCS estão apresentados na Figura 6 de forma gráfica para melhor visualização. Foram ensaiados três corpos de prova controle (sem fibra) e três com fibra para obter uma média da tensão de compressão máxima e poder fazer um comparativo dos resultados.

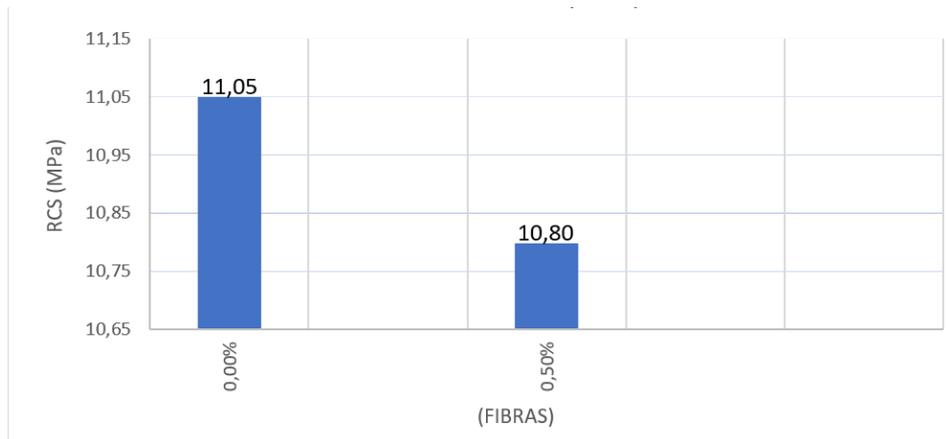


Figura 6. Desempenho do RCS com 28 dias

De acordo com o gráfico da Figura 6, o maior resultado de RCS foi para a mistura padrão, o que reflete a possibilidade de uma menor rigidez da mistura com fibras. Esse resultado, pelo fato de que ambos atingiram RCS acima da mínima, é desejável, já que um material menos rígido tende a apresentar menos retração e tensões internas pela atuação do tráfego.

Quando comparando os resultados obtidos com os de Bacelar (2019), nota-se comportamento semelhante ao obtido por ele, com decréscimo da RCS com uso de fibra de polipropileno.

Os resultados obtidos no MR estão apresentados na Figura 7. Também foram ensaiados três corpos de prova controle (sem fibra) e três com fibra seguindo a norma do DNIT 181/2018-ME, para obter uma análise de rigidez das misturas.

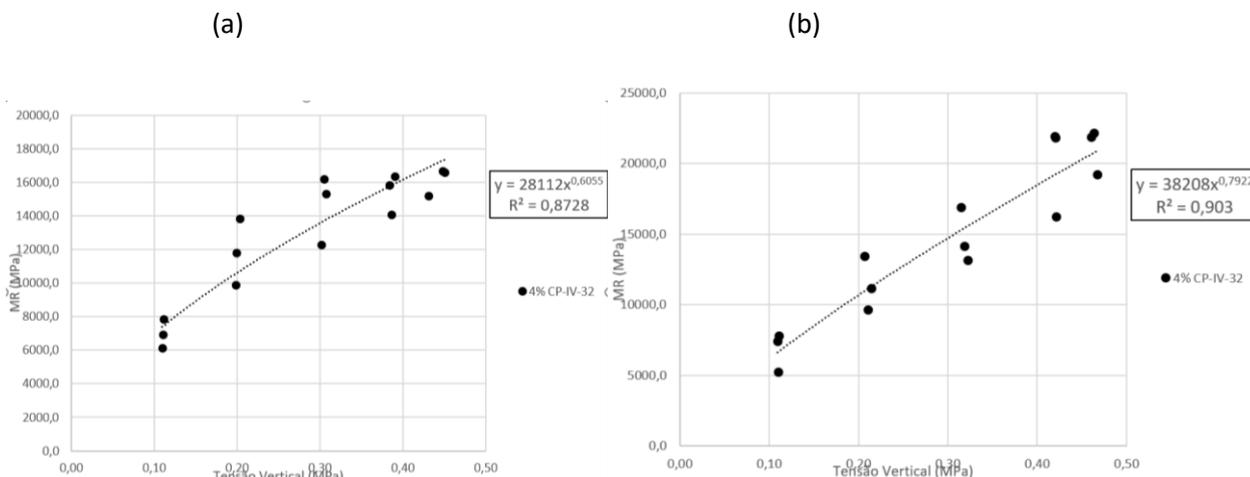


Figura 7. MR de misturas: (a) sem fibra (b) com fibra



Fazendo um comparativo das Figura 7a e 7b, nota-se um aumento no valor do MR com a adição de fibra em relação a mistura controle. Esse aumento ocorreu devido aos CPs com fibra terem sido ensaiados com idade maior (3 dias) que as misturas de controle. Além disso, os CPs com fibra ficaram três dias fora do processo de cura com plástico filme (de forma não programada), o que ocasionou uma secagem acentuada da mistura, provocando o enrijecimento adicional. Esse comportamento não se repetiu na análise do módulo dinâmico apresentado na sequência, já que ambos foram ensaiados em uma mesma idade e nas mesmas condições de cura.

Os resultados obtidos no módulo dinâmico torcional estão apresentados na Figura 8 de forma gráfica. Foram ensaiados três corpos de prova controle (sem fibra) e outros três com fibra para obter uma média do  $E^*$  e poder fazer um comparativo dos resultados.

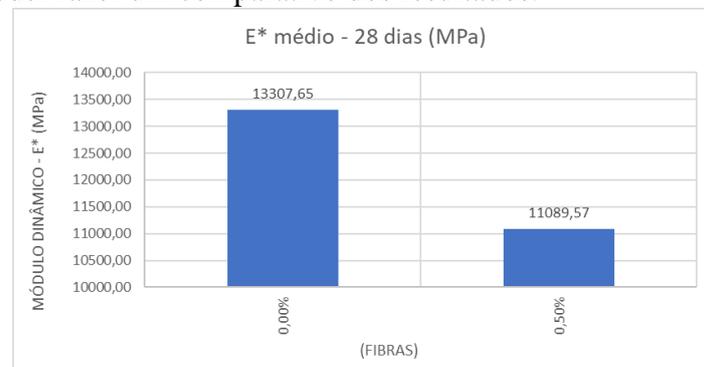


Figura 8. Desempenho do  $E^*$  torcional para mistura padrão e com fibra

É possível visualizar nos resultados que a mistura sem fibras é mais rígida que com fibras, porém ambas com rigidez elevada e apropriada para uso em camadas de alta resistência à deformação permanente, o qual é o foco das camadas cimentadas. Como ambas as misturas foram ensaiadas na mesma idade e nas mesmas condições de cura, observa-se, conforme esperado, que a mistura com fibras é menos rígida que a sem fibras. Isso é um bom indicador para redução de problemas de retração e maior resiliência aos carregamentos, conforme já indicado nos ensaios de RCS.

O ensaio foi feito pela avaliação da frequência natural que transita pelo corpo de prova, através de tensões bem pequenas e sem deformações. Portanto, a flexibilidade das fibras em conjunto com a matriz cimentada é identificada pela mudança ocorrida na frequência natural captada no ensaio.

Os ensaios de RTf foram realizados combinando a leitura de deformação das vigas prismáticas após a ruptura dos CPs por tração, avaliando assim a tenacidade da mistura, obtida pela área formada no gráfico de força aplicada no ensaio de RTf versus deslocamento no topo do CP, até atingir 40% da força de ruptura da matriz cimentada. Os resultados obtidos na RTf estão apresentados na Figura 9a. Três corpos de prova controle (sem fibra) e três com fibra foram ensaiados para obter uma média das tensões de tração de ruptura na flexão.

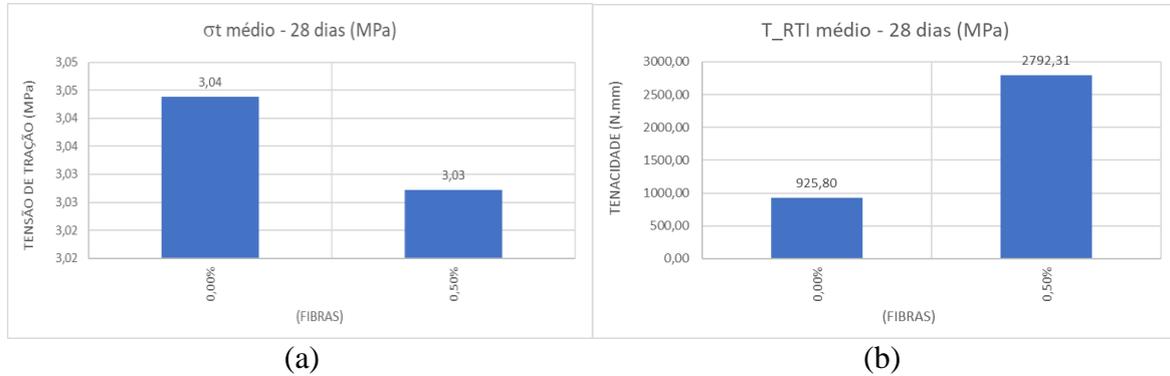
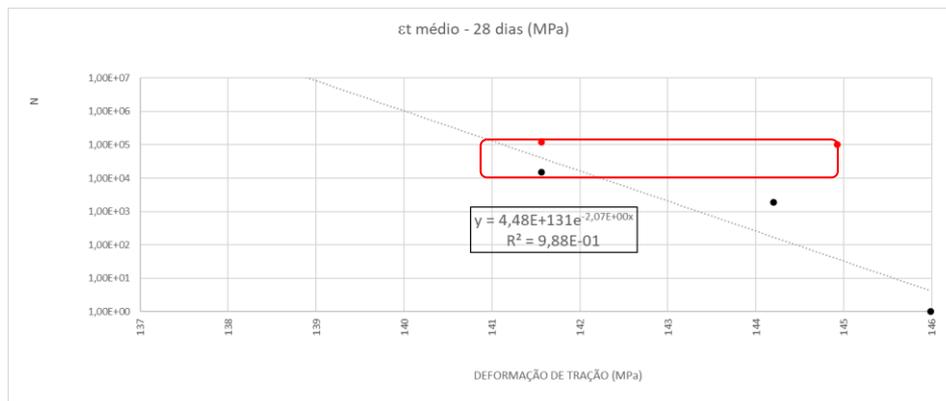


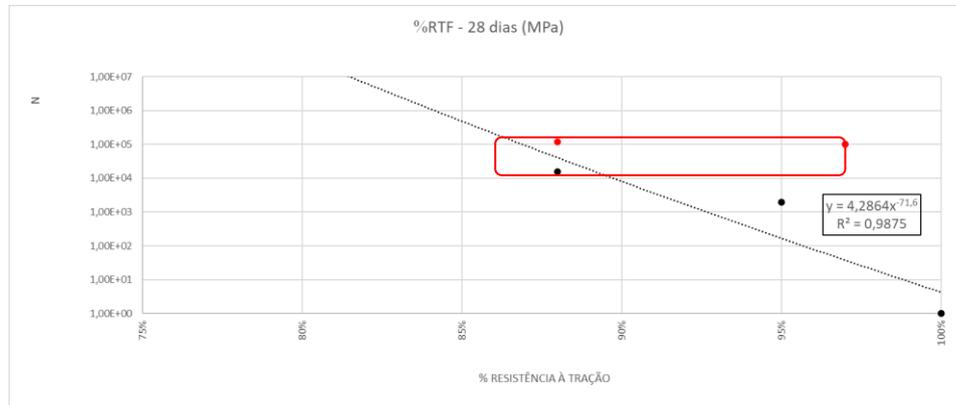
Figura 9. a) Resistência obtida no ensaio de RTf; b) Tenacidade na flexão

Os valores de resistência à tração na flexão apresentados na Figura 9a representam apenas o pico no momento da ruptura da matriz cimentada, já que a mistura com fibras apresentou resistência residual (maior tenacidade) devido à atuação das mesmas (Figura 9b). De fato, as RTfs em 3 pontos de ambas as misturas foram muito semelhantes. Provavelmente, as dimensões dos CPs prismáticos tenham traduzido melhor a preservação da resistência à tração mesmo com o ganho de flexibilidade das amostras, o que é um fator de grande valia. As fibras conferiram ainda uma maior resistência à propagação do trincamento à mistura cimentada, além de ser indicador de maior vida de fadiga.

Os resultados obtidos no ensaio de vida de fadiga estão apresentados na Figura 10. Foram ensaiados apenas cinco corpos de prova da mistura com fibras, sendo 03 CPs aos 28 dias de cura e 02 CPs com 28 dias de cura e 5 dias de secagem ao ar. Os CPs que passaram por secagem ao ar adquiriram uma resistência à fadiga adicional (pontos identificados em vermelho nos gráficos), quando comparada aos CPs que não passaram por esse processo. Os CPs com secagem ao ar atingiram 100.000 ciclos de elevado carregamento ( $> 88\%$  da RTf) e não romperam. De qualquer forma, a atuação das fibras foi muito importante para que a mistura pudesse atingir o potencial de suportar  $10^7$  ciclos com até  $82\%$  da RTf, o que é um valor bastante considerável comparado ao desempenho da mistura sem fibras estudada por Prado (2018). A mistura estudada por Prado (2018) atingiria  $10^6$  ciclos (vida de fadiga indeterminada, segundo Austroads, 2004) com uma tensão não superior à  $80\%$  da RTf, enquanto a mistura com fibras aqui estudada atingiria esse desempenho com uma tensão não superior à  $84\%$  da RTf. Isso pode credenciando a mistura para ser de alto módulo e alta resistência à fadiga.



(a)



(b)

Figura 10. Resultado obtido no ensaio de fadiga para (a) deformação de tração (b) %RTf

## CONCLUSÃO

A inserção da fibra de polipropileno na BGTC promoveu o melhoramento no que diz respeito ao desempenho mecânico desse material, aumentando a tenacidade que é a principal deficiência da BGTC tradicional.

Observando os resultados de resistência à tração de corpos de prova prismáticos, por possuir dimensões maiores, os resultados para a mistura com e sem fibra foram iguais. Apesar da BGTC com fibras e a BGTC tradicional apresentarem a mesma resistência à tração, vale destacar que a BGTC com a adição de fibras ficou mais flexível, ou seja, com uma rigidez menor, além de tenacidade bastante superior.

Outra característica que apresentou desempenho promissor foi a resistência à fadiga, em razão da mistura poder atingir em laboratório 10 milhões de ciclos sem ruptura com uma tensão menor ou igual a 82% da resistência à tração na flexão. Esse feito é bastante relevante pelo fato do desempenho em campo usualmente ser ampliado.

Os resultados obtidos nesta pesquisa promovem o compósito de BGTC+fibras a um material de grande potencial para uso em pavimentos que necessitam de alto desempenho. Esse fator é um ponto relevante para projetistas e tomadores de decisão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Guia básico de utilização do cimento Portland. 7.ed. São Paulo, 2002. 28p. (BT-106). Disponível em: <<https://solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2012/11/28-Guia-basico-de-utilizacao-do-cimento-portland.pdf>>. Acesso dia 18/06 /2023.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 30: Agregado miúdo – Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. NBR NM 30: Agregado miúdo – Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. NBR NM 248: Agregado – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. NBR 7809: Agregado Graúdo – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro — Requisitos. Rio de Janeiro, 2008b.



- \_\_\_\_\_. NBR 12142: Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão em corpos de prova prismáticos Rio de Janeiro, 2010.
- \_\_\_\_\_. NBR 12261: Dosagem de brita graduada tratada com cimento — Procedimento. Rio de Janeiro, 2013b.
- \_\_\_\_\_. NBR 12262: Execução de base ou sub-base de brita graduada tratada com cimento — Procedimento. Rio de Janeiro, 2013.
- \_\_\_\_\_. NBR 16697: Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.
- ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C 215 A Standard Test Method for Fundamental Transverse, Longitudinal, and Torsional Frequencies of Concrete Specimens da American Society for Testing and Materials, ASTM, 2014.
- AUSTROADS Pavement Design: A Guide to the Structural Design of Road Pavements, Sidney, 2004
- BACELAR, F. S. Influência do uso de fibras no desempenho mecânico da brita graduada tratada com cimento / Felipe Simões Bacelar; orientador Fernando Silva Albuquerque. São Cristóvão, SE, 2019.
- BACELAR, F. S.; ALBUQUERQUE, F. S. Material granular cimentado com adição de fibras naturais ou sintéticas para uso na pavimentação. Depositante: Universidade Federal de Sergipe, BR 202020011843-4 U2. Depósito de patente: 12/06/2020.
- BERNUCCI, L.B.; MOTTA, L.M.G.; CERATTI, J.A.P.; SOARES, J.B. Pavimentação asfáltica – formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2008. BONFIM, V. Fresagem de pavimentos asfálticos. 3.ed. São Paulo: Exceção Editorial, 2007.
- DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. DNERME 162: solos: ensaio de compactação utilizando amostras trabalhadas. Rio de Janeiro: DNER, 1994.
- DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. DNER-ME 201: solo-cimento: compressão axial de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: DNER, 1994.
- DER/SP- DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO DER/SP-ET-DE-P00/009: Especificação Técnica: sub-base ou base de brita graduada tratada com cimento. São Paulo, 2005.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 136-ME: pavimentação asfáltica: misturas asfálticas: determinação da resistência à tração por compressão diametral: método de ensaio. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), 2018
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 181-ME: pavimentação – Material Estabilizado Quimicamente – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), 2018
- INGLES, O. G.; METCALF, J. B. Soil stabilization – principles and practice. Sydney: Butterworths, 1972.
- NEWCOMB, David E.; BUNCHER, Mark; HUDDLESTON, Ira J. Concepts of perpetual pavements. Transportation Research Circular, v. 503, p. 4-11, 2001.
- NEWCOMB, David E.; WILLIS, Richard; TIMM, David H. Perpetual asphalt pavements: A synthesis. 2010.
- PRADO, K. Estudo de critérios de dosagem para melhoria de desempenho mecânico de brita graduada tratada com cimento. 2018. 161p. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2018
- SAPEM, South African Pavement Engineering Manual. 2014. South African National Roads Agency Ltd.
- YODER, E. J.; WITCZAK, M. W. Principles of pavement design. 2.ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1975