

ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE POLÍMEROS PARA ESTABILIZAÇÃO DE CAMADAS DE BASE EM PAVIMENTOS SEMIRRÍGIDOS

Alunos: Anderson Rolemberg da Silva | anderson.rolemberg@hotmail.com
Daniel Maicon Liu | daniliu029@gmail.com
Gustavo Larios Rodrigues | gustavo.lr765@gmail.com
Kevin Ryu Nakagawa | kevin.ryu98@gmail.com

Orientador: Felipe Cava | cava@fei.edu.br



RESUMO

O cimento é um dos materiais mais utilizados no mundo, porém seu processo produtivo é muito nocivo para o meio ambiente, operários da fábrica e pessoas que vivem nos arredores. Os respectivos impactos são a geração de particulados suspensos com óxidos químicos, contaminação dos solos durante a extração de matéria prima, emissão de CO_2 durante a fase de clínquerização do cimento e alto índice de consumo energético para operação de maquinário.

Atualmente o uso do cimento é muito comum para estabilização de camadas granulares, como a brita graduada tratada com cimento para bases e sub-bases de pavimentos. Apesar do aumento de rigidez da camada, o baixo consumo de cimento resulta em retração e leva ao aparecimento de trincas. As trincas de retração podem refletir para o revestimento asfáltico em casos do emprego da BGTC como material de base.

No presente trabalho foi analisada a substituição do cimento por polímero líquido à base de éster acrílico para estabilização de camadas granulares de pavimentos semirrígidos. Foi definido um projeto de mistura e teor de umidade ótima para esta e, a partir desses parâmetros, realizada uma análise comparativa entre o desempenho da BGTC convencional e do material estabilizado com polímero líquido por meio de ensaios laboratoriais, como resistência à tração por compressão diametral, resistência à compressão axial, ensaio de retração e ensaio de flexão a 4 pontos. Com os resultados foi possível observar o comportamento das misturas com diferentes ligantes em concentrações variadas. Apesar do bom desempenho do polímero em relação à resistência mecânica, houve acentuada retração e foi possível identificar os efeitos gerados pela exposição ao calor bem como a diferença de resistência à compressão axial para dois diferentes métodos de compactação.

OBJETIVO

A presente pesquisa tem como objetivo verificar a viabilidade técnica da utilização de polímeros para estabilização química de camadas para bases de pavimentos. Os objetivos específicos são:

Analisar o desempenho de camadas estabilizadas quimicamente com copolímeros com base de éster acrílicos por meio de ensaios laboratoriais em comparação com a estabilização química com cimento.

Verificar a capacidade de substituição total do uso de cimento em camadas estabilizadas quimicamente.

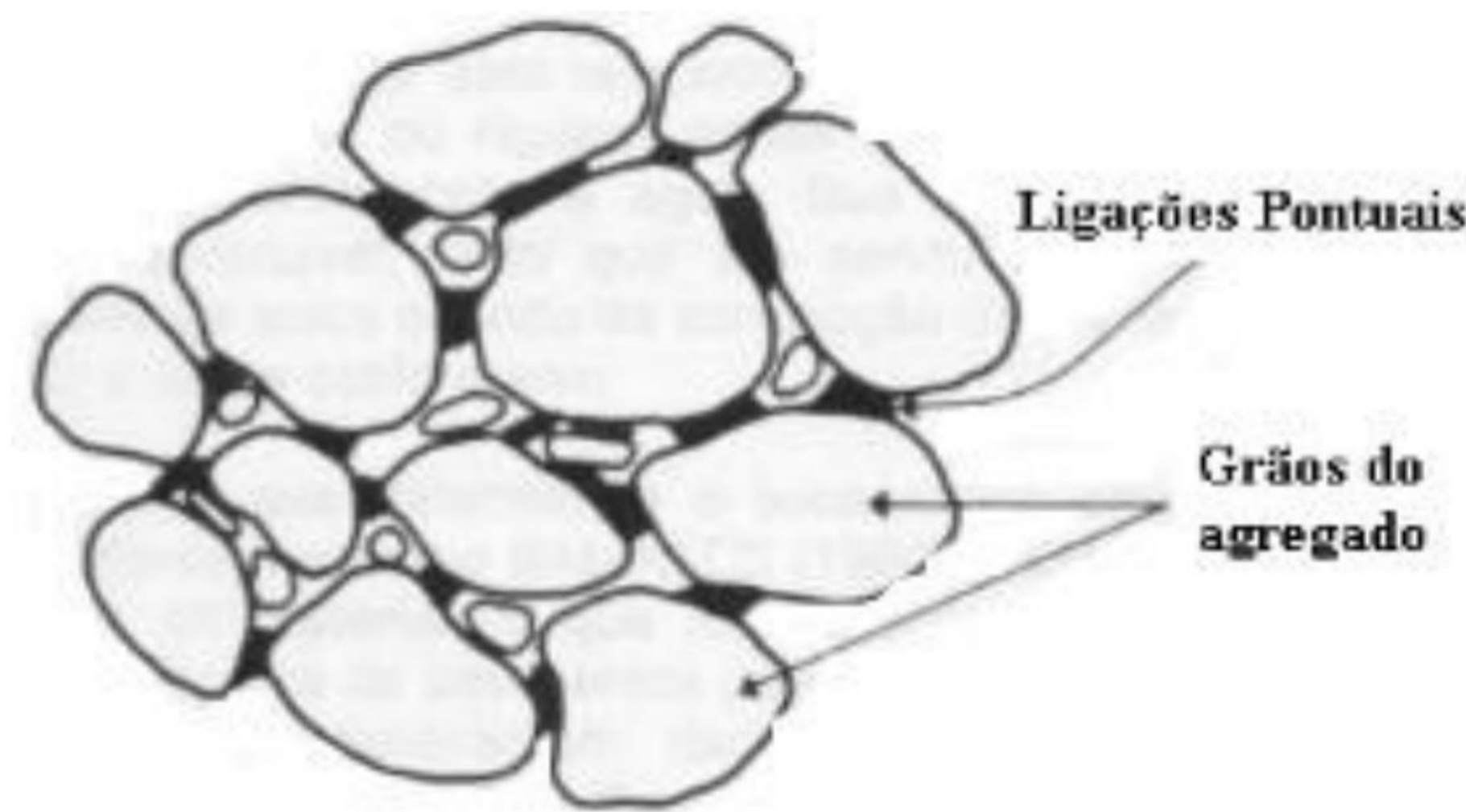
Analisar a viabilidade técnica da utilização de polímeros em camadas de pavimentos.

INTRODUÇÃO

Durante a etapa de projetos de pavimentos rodoviários é necessário considerar previamente vários fatores, dentre eles: os materiais disponíveis na região, características do solo local, carregamentos que serão impostos e fatores ambientais (WU *et al.*, 2011). Dentre as camadas do pavimento, logo abaixo do revestimento, existe a camada de base que é responsável por suportar as solicitações oriundas do tráfego, minimizando as deformações de consolidação e esforços cisalhantes transmitidos para as camadas inferiores.

As camadas de base devem atender certos requisitos técnicos para o bom desempenho dos pavimentos, sendo que para isso podem ser utilizados materiais estabilizados granulometricamente e quimicamente, dentre eles a Brita Graduada Simples, comumente utilizada em pavimentos de comportamento flexível, o Solo-Cimento empregado em pavimentos rígidos, e a Brita Graduada Tratada com Cimento, utilizada em pavimentos semirrígidos e semirrígidos invertidos.

A BGTC se trata de uma mistura de brita graduada simples (BGS) tratada com cimento, normalmente de 3 a 5% em massa do material (BERNUCCI *et al.*, 2008) e é costumeiramente aplicada em rodovias que apresentam tráfego pesado, portanto, rodovias extensas, gerando consumo de grandes quantidades de cimento que, segundo Suzuki (1992), apesar do aumento da capacidade estrutural do pavimento, este método de estabilização, apesar de amplamente utilizado, apresenta problemas como retração hidráulica, baixa resistência à tração e fadiga.



Fonte: BALBO, 2006.

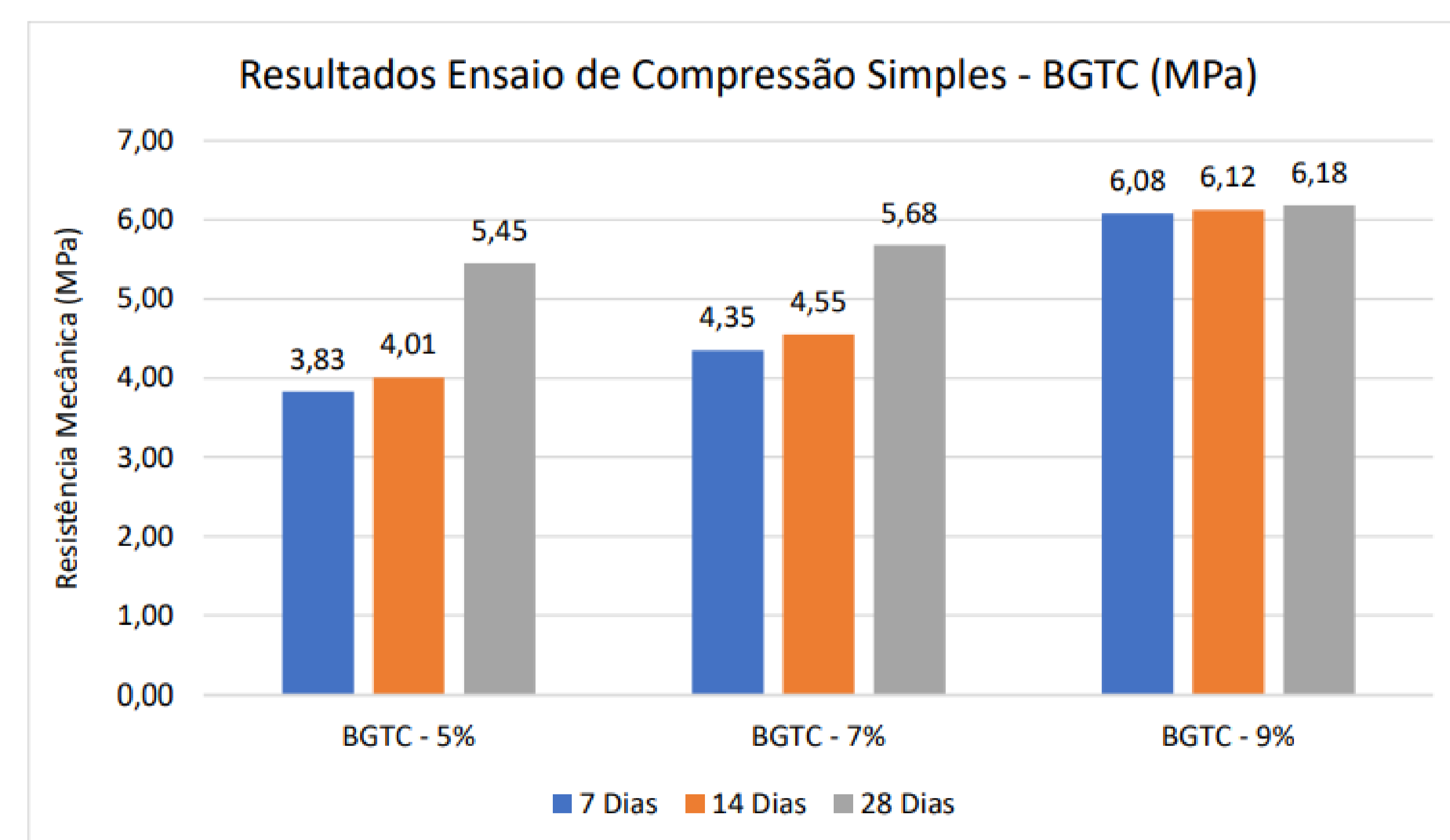
A produção mundial de cimento é responsável pela emissão de cerca de 5% das emissões globais de CO_2 devido a queima de minerais à temperaturas de aproximadamente $1.450^\circ C$. Tendo em vista essa quantidade de poluentes emitidos, países do G20 estabeleceram metas para redução das emissões (FERNANDES, *et al.*, 2020). Desta forma, uma maneira de diminuir os impactos causados por esses gases, é substituir o cimento por um material alternativo de processo produtivo menos poluente, como por exemplo os polímeros.

ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

Determinação da resistência do material quando sujeito aos esforços de compressão simples, onde o corpo de prova é submetido à um esforço axial igualmente distribuído por sobre sua seção transversal, até a ruptura.

Observa-se que das amostras de BGTC, as de 5% de cimento, foram as únicas que não atingiram o valor mínimo de 4,2 MPa aos 7 dias, exigido pela ARTERIS (2016). Já aos 28 dias de cura, nenhuma das 3 análises atenderam o valor mínimo de 7,0 MPa, porém, observando o aumento de 2% nos teores de cimento, resultou em acréscimo (em Mpa) de 4,22% e 8,8%.

Acredita-se que os valores de resistência mínimos não foram atendidos devido a faixa granulométrica utilizada, ou devido ao tipo de cimento incorporado na mistura. Contudo, como o objetivo deste trabalho é comparar a incorporação de cimento e de polímeros para misturas, isto não é considerado um problema pois a mesma distribuição granulométrica foi utilizada para as misturas de incorporação do polímero líquido.



ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE POLÍMEROS PARA ESTABILIZAÇÃO DE CAMADAS DE BASE EM PAVIMENTOS SEMIRRÍGIDOS

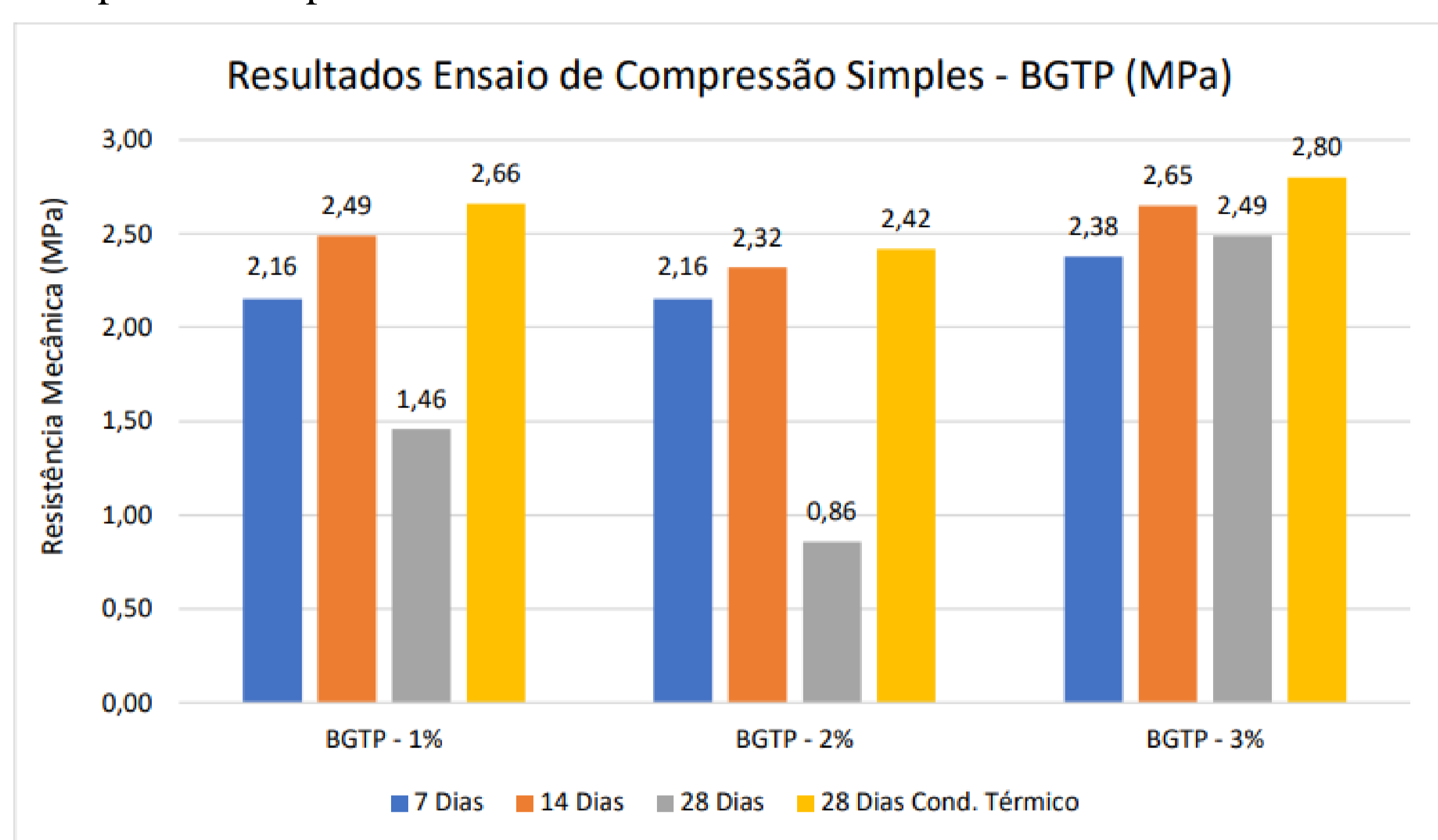
Alunos: Anderson Rolemberg da Silva | anderson.rolemberg@hotmail.com
Daniel Maicon Liu | daniliu029@gmail.com
Gustavo Larios Rodrigues | gustavo.lr765@gmail.com
Kevin Ryu Nakagawa | kevin.ryu98@gmail.com

Orientador: Felipe Cava | cava@fei.edu.br



Analisando os dados coletados da BGTP sob o ponto de vista de condicionamento térmico, observa-se que com o acréscimo gradativo de 1% de polímero à mistura, não há alteração significativa de resistência, apresentando um coeficiente de variação para, 7, 14 e 28 dias de respectivamente 5,69%, 6,64% e 7,32%. Todavia, os dados de resistência obtidos na ruptura à 28 dias das amostras de 1% e 2% de polímero, condicionadas termicamente por apenas 14 dias, indicam reduções em sua resistência mecânica de 41,37% e 62,93% respectivamente, ao passo que a mistura contendo 3% de polímero não sofreu tal efeito, variando 6,04%.

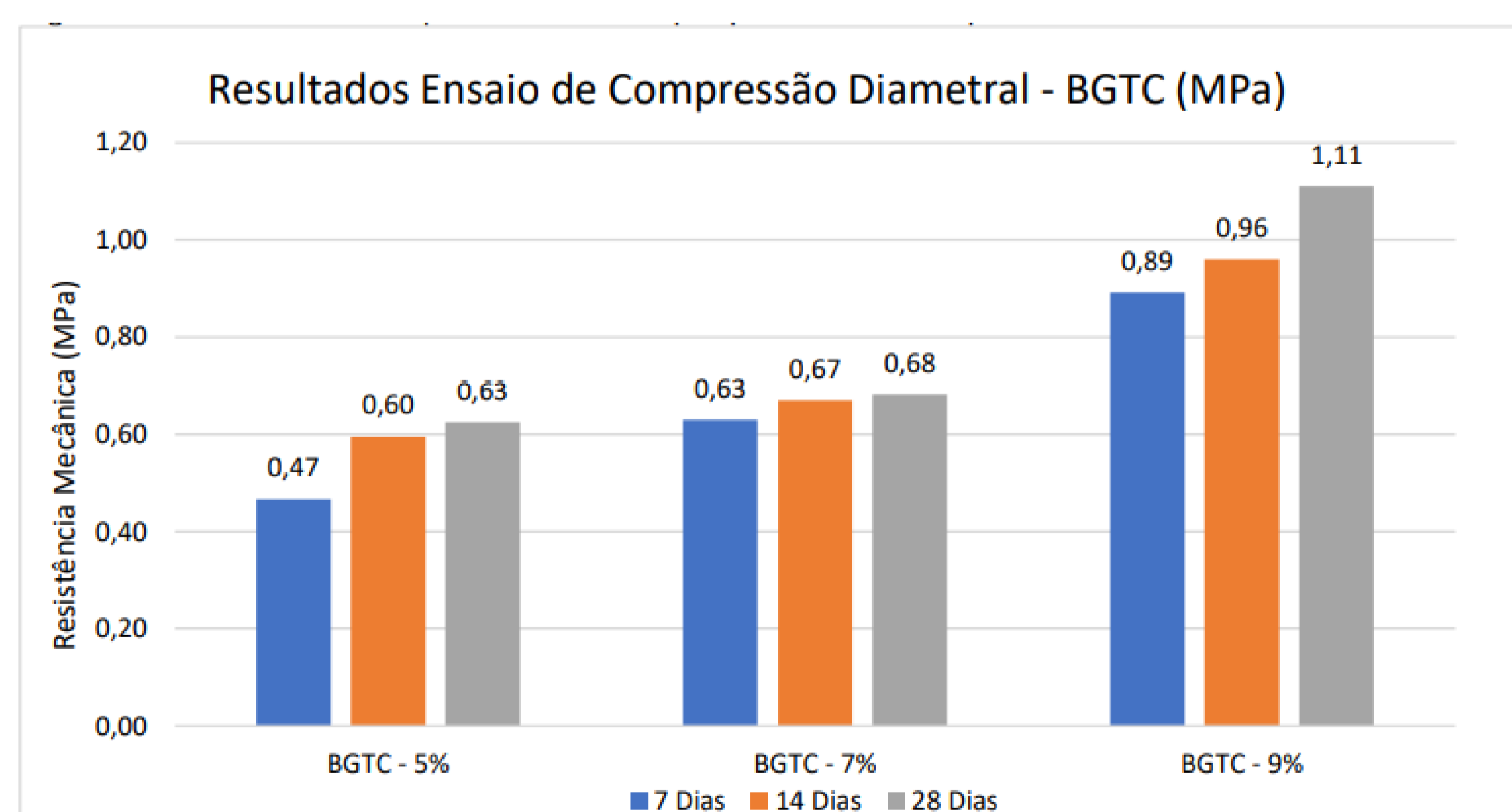
Comparando os dados coletados da BGTC com a BGTP, nota-se que os valores de BGTP apresentam uma resistência mecânica menor, com dispersão entre 2,50 e 3,00 MPa. Com isso, a BGTC apresenta maior resistência à compressão simples.



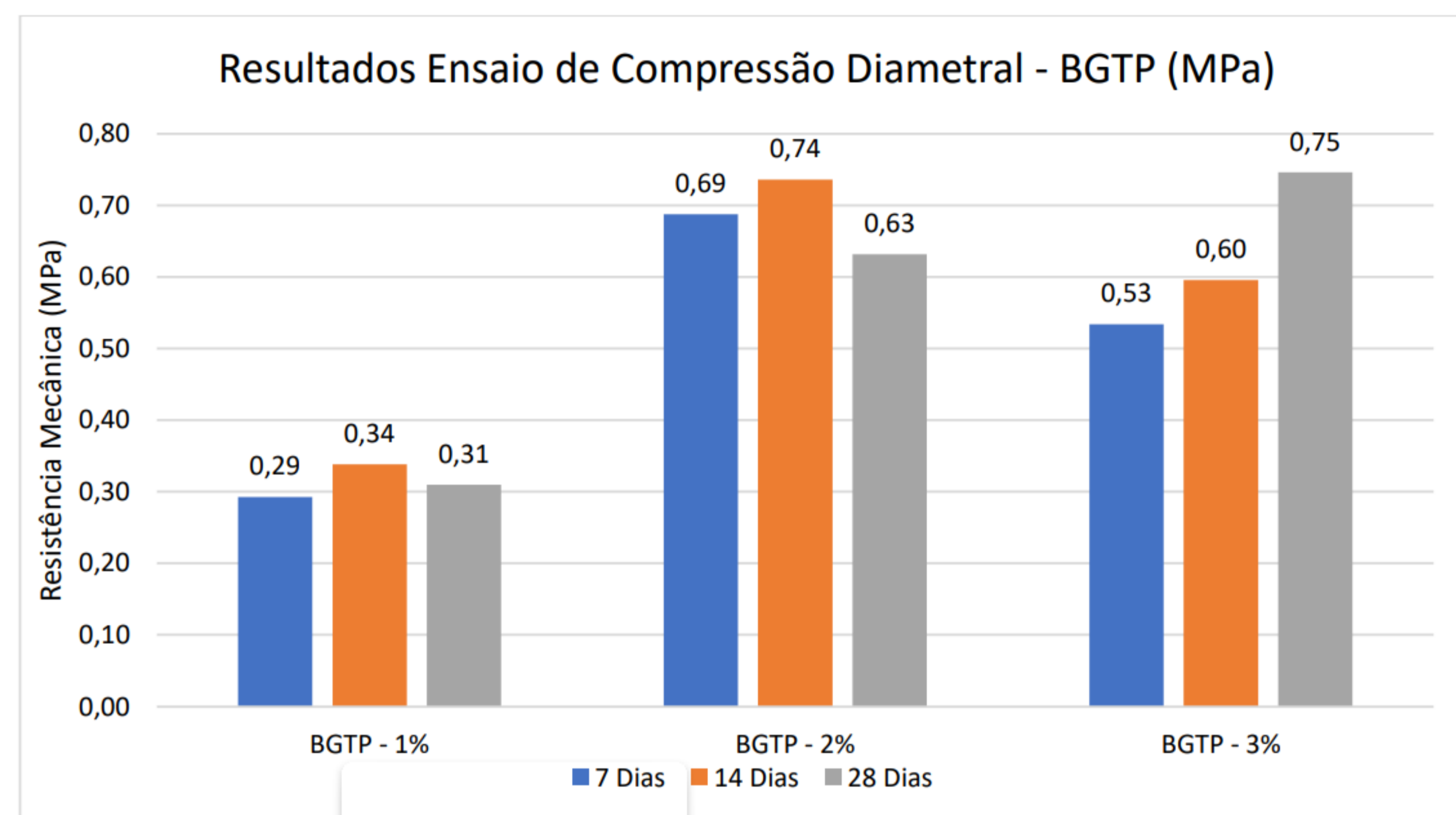
ENSAIO DE COMPRESSÃO DIAMETRAL

O ensaio de tração por compressão diametral consiste em comprimir longitudinalmente um corpo de prova de forma que sua ruptura seja causada por tração, ou seja, ao aplicar um esforço de compressão em paralelo ao plano axial da amostra, é gerada uma tensão de tração ao longo de uma área do plano diametral (SILVA, 2015).

Observa-se que das amostras de BGTC, apenas o teor de 9% de cimento foi atingido o valor mínimo de 1,0 MPa, segundo a ARTERIS (2016) para 28 dias de cura. Para a BGTC com 7% de cimento, a resistência mecânica teve uma pequena variação ao decorrer de seu período de cura. Nota-se é possível notar que houve aumento constante da resistência mecânica da BGTC com 5%, 7% e 9% de cimento agregado às misturas. Os teores de 5% e 7% sofreram aumento de 6,35%, enquanto para 9% houve acréscimo de 65,67% na resistência à sollicitação.



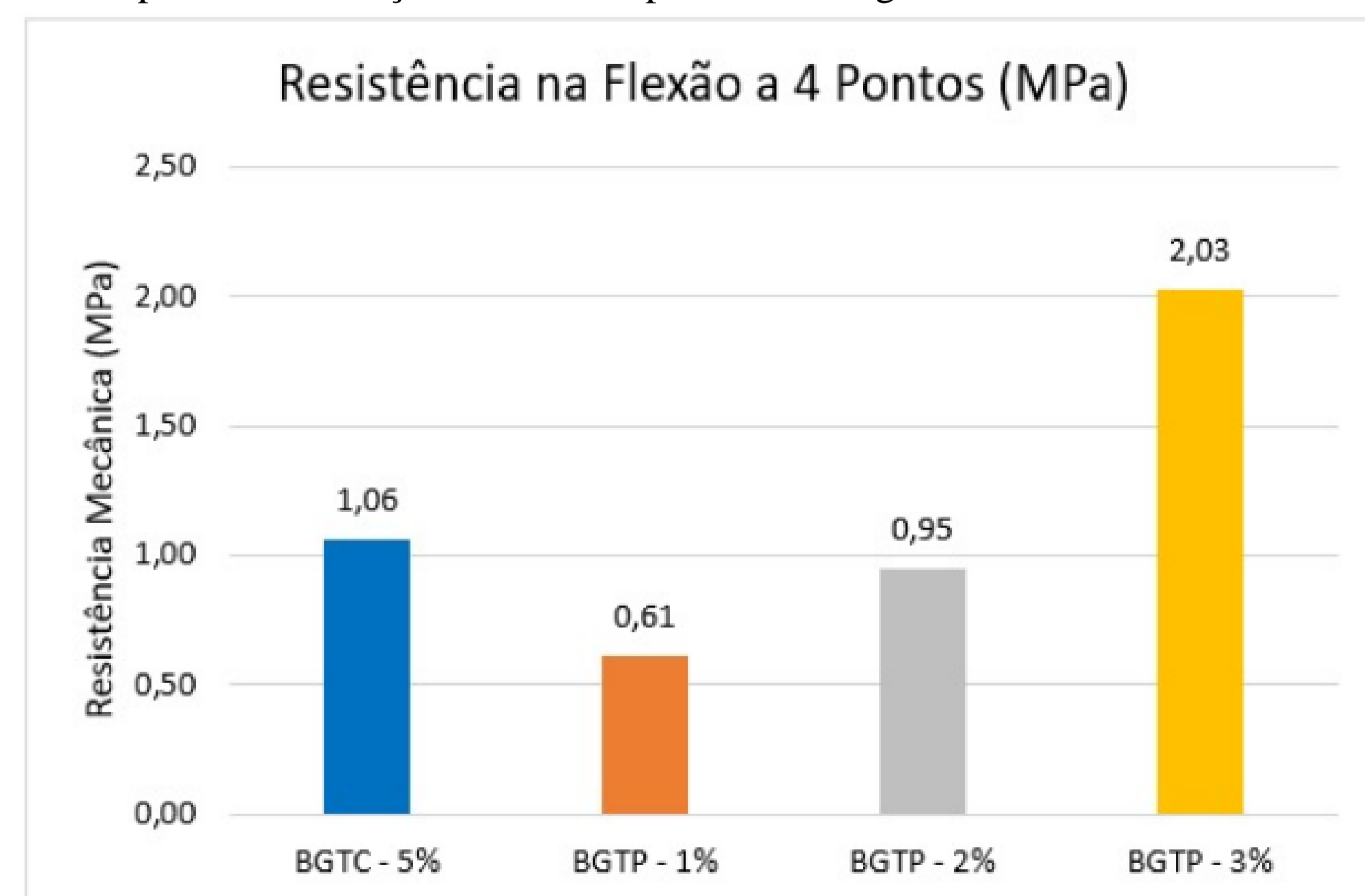
Os acréscimos de polímero de 1% para 2% e de 2% para 3% resultaram em aumento de 103,22% e 19,05% na resistência mecânica, respectivamente. Nota-se, que houve uma menor queda de resistência à compressão diametral para os teores de 1% e 2% de polímero do que o decréscimo nos ensaios de resistência à compressão simples. Entretanto, o teor de 3% de polímero não sofreu perda de resistência ao completar o seu ciclo de cura, em contrapartida, apresentou acréscimo de 0,15 MPa (aumento de 25%).



ENSAIO DE FLEXÃO A 4 PONTOS

O ensaio de resistência à flexão a 4 pontos consiste em uma aplicação contínua/crescente em 2 pontos de um corpo de prova biapoiado no formato retangular. Nesse processo é analisada a carga e a deflexão que o CP sofreu com a aplicação de uma carga 'P'.

Para este ensaio, é possível observar que os teores de 5% de cimento e de 3% de polímero atingiram a resistência mínima de 1 MPa segundo ARTERIS (2016), sendo que o último atingiu o dobro desta. Nota-se também que o teor de 2% de polímero alcançou resistência próxima à exigida.



ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DIAMETRAL E FLEXÃO A 4 PONTOS

O ensaio de flexão à quatro pontos representa a sollicitação que a camada de base será submetida quando exposta ao tráfego, e a determinação da taxa de liberação de energia elástica armazenada, ou energia de fratura, durante a propagação de trinca ao longo da interface (VANDERLEI, 2004). Já o ensaio de compressão diametral determina a resistência à tração indireta do corpo de prova

ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE POLÍMEROS PARA ESTABILIZAÇÃO DE CAMADAS DE BASE EM PAVIMENTOS SEMIRRÍGIDOS

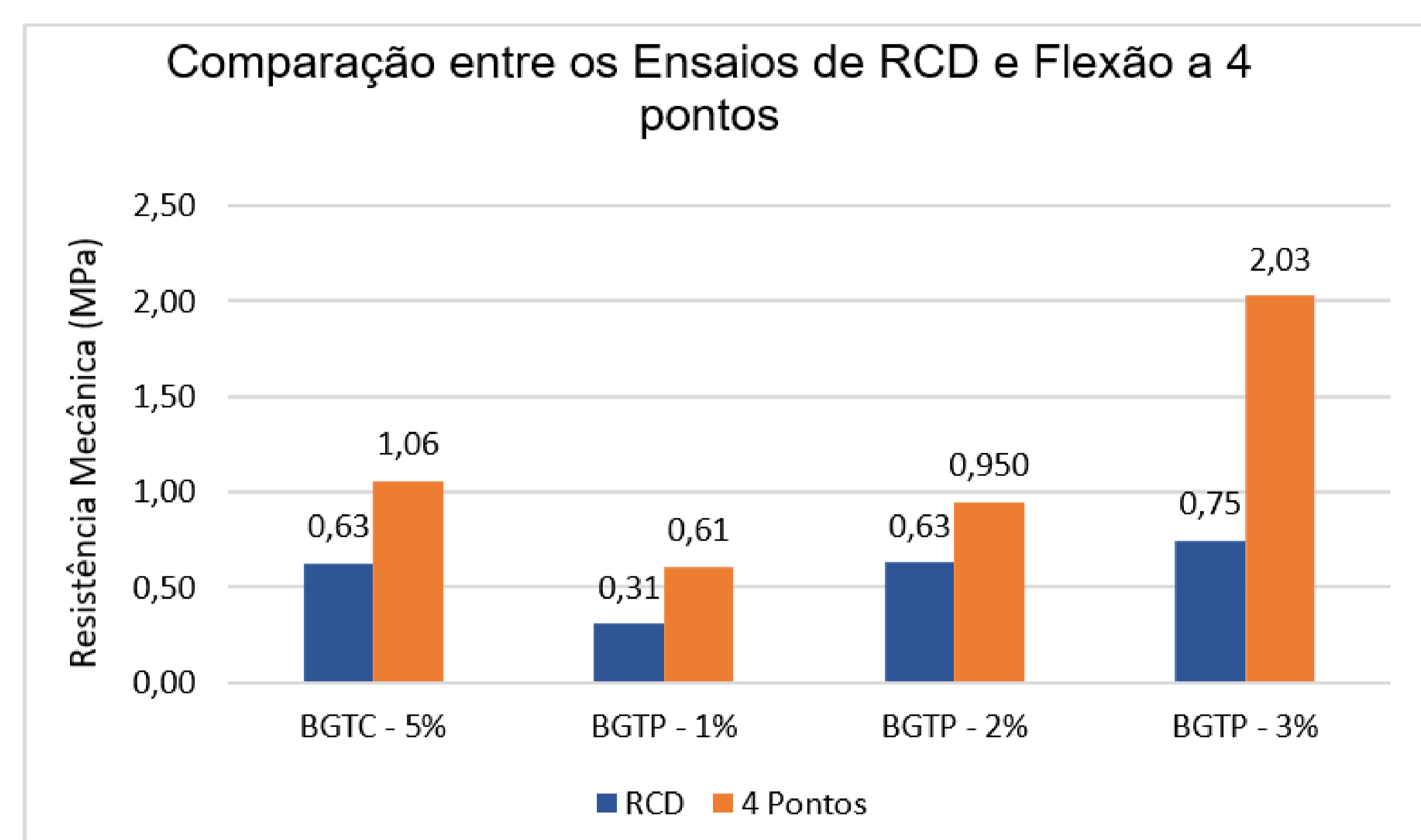
Alunos: Anderson Rolemberg da Silva | anderson.rolemberg@hotmail.com
Daniel Maicon Liu | daniliu029@gmail.com
Gustavo Larios Rodrigues | gustavo.lr765@gmail.com
Kevin Ryu Nakagawa | kevin.ryu98@gmail.com

Orientador: Felipe Cava | cava@fei.edu.br



no sentido axial e, após a análise de resultados, verifica-se que o incremento do teor de polímero é diretamente proporcional a sua resistência mecânica para BGTP que indica um melhor adensamento de suas partículas.

O gráfico ilustra a comparação entre os valores coletados dos ensaios de compressão diametral (RCD) para determinar os dados de resistência a tração e flexão a 4 pontos, dado que a variação percentual média entre as amostragens ficou aproximadamente 53% superior ao comparar com os resultados obtidos no ensaio de RCD.



ENSAIO DE RETRAÇÃO

Este ensaio estabelece a determinação da variação volumétrica observada no corpo de prova, quando ele é conservado a uma temperatura constante, deixado em constante variação da umidade e sem ações externas de carregamentos.

As deformações por retração da BGTP com teor de 1% de polímero é a que mais se assemelha ao da BGTC usual nos ensaios. Observa-se que, dentre as amostras de BGTC a com 5% de cimento apresentou a maior retração, apresentando uma retração média de 0,396 mm. Analisando a BGTP, os corpos de prova agregados com 2% de polímero obteve a maior retração das amostras, com uma retração média de 0,622 mm. Observa-se que dentre as amostras, as de BGTP sofrem uma maior retração comparando diretamente com os dados coletados para a BGTC.

Tipo de Ligante	Teor de Ligante	Leitura Inicial (mm)	Leitura Final (mm)	Retração	
				mm	%
Cimento	5%	10,986	10,59	0,396	3,61
	7%	9,765	9,481	0,284	2,91
	9%	9,463	9,136	0,327	3,45
Polímero	1%	11,106	10,73	0,377	3,39
	2%	9,642	9,021	0,622	6,45
	3%	10,108	9,546	0,562	5,56

CONCLUSÃO

Não foi possível realizar a desmoldagem dos corpos de prova que continham polímeros após 24 horas da moldagem pois esses apresentavam elevada umidade, precisaram, portanto, ser expostos ao sol por 7 dias para que adquirissem resistência. Desta forma, é possível concluir que a estabilização de bases com polímeros não é recomendada para lugares pouco ensolarados ou muito úmidos devido ao seu processo de cura, que necessita de calor e evaporação da

água presente na mistura para que a reação ocorra. Contudo, lugares com alto índice de incidência solar, ou de clima tropical, favorecem o ganho de resistência mecânica principalmente devido ao fato de que revestimentos asfálticos absorvem calor e o transmitem para a base. Além disso, foi possível concluir que a camada de base estabilizada com polímero não pode ser muito espessa uma vez que o calor precisa ser transmitido por toda a extensão da camada, caso isso não aconteça, uma parte da camada permanece úmida e não conseguirá resistir à tração na flexão.

Para a solicitação axial, observa-se que não houve ganho expressivo de resistência mecânica de acordo com o aumento do teor de polímero da mistura. Portanto, para tal esforço, o teor de polímero não deve ser um balizador para a determinação de um teor ótimo da mistura. É possível concluir também que para esforços de compressão axial, em teores abaixo de 1 e 2% de polímero o calor é fundamental para que haja ganho de resistência. Observou-se que as amostras que foram submetidas ao condicionamento térmico adquiriram resistência ao passo que as não submetidas ao processo sofreram perdas de em média 42,41%. Todavia, os resultados do condicionamento térmico para o teor de 3% indicam que, para este, o processo não se mostrou essencial para tal ganho. Ainda para este tipo de solicitação, as amostras de BGTC apresentaram ganho de resistência de em média 13,39% com aumento do teor de ligante enquanto a BGTP apresentou ganho de 5% o que pode indicar que maiores teores de polímero não impactem em ganho significativo de resistência, cenário contrário ao aumento de cimento na amostra. É possível perceber também que as resistências das amostras de BGTC foram em média 200% maiores que as de BGTP.

Por meio das literaturas existentes a respeito do uso da BGTC para estabilização de agregados foi possível entender que a camada cimentada reduz as tensões de tração e contribui na diminuição da espessura da camada asfáltica. A partir da comparação dos resultados de resistência à tração das misturas estabilizadas com polímeros e da BGTC, é possível perceber que o aumento da concentração de polímeros faz com que a mistura seja mais resistente a tração do que o aumento na concentração de cimento, e que a quantidade de ligante necessária para que o polímero tenha um bom desempenho quando solicitado à tração é de aproximadamente 27% da quantidade que seria necessária caso fosse utilizado cimento.

Os ensaios de resistência à tração de forma indireta foram realizados sem condicionamento térmico e os resultados indicaram que para tal solicitação há ganho de resistência independente desse processo. Para esses ensaios, foi possível observar que houve maior ganho de resistência para teores de polímero acima de 1%, porém a diferença de resistência entre 2 e 3% não se mostrou relevante para que haja aumento da concentração. Outro fator importante a ser ressaltado neste ensaio é que as resistências obtidas, tanto da BGTP com teor de 2% de ligante quanto da BGTC com 5% de ligante, foram numericamente equivalentes.

Os ensaios de retração mostraram que a retração das amostras de BGTP foi maior do que a de amostras de BGTC, desta forma a BGTP também exigiria uma camada antirreflexão de trincas para evitar a propagação dessas. Seria, porém, adequado que houvessem mais análises a fim de obtenção do módulo de elasticidade das misturas.

Por fim, a partir da análise dos dados de resistência à compressão simples obtidos através da compactação realizada com haste metálica foi possível perceber que houve ganho médio de 43,64% em sua resistência mecânica, portanto nota-se que a compactação mais adequada para esse tipo de mistura é a compactação segundo NBR 5738.