

Aderência de interface de revestimentos asfálticos reforçados com geossintéticos e diferentes taxas de emulsão

Interface bond strength of geosynthetic-reinforced asphalt overlays and different asphalt emulsion rates

Gustavo Genaro Urquiza Júnior¹, Matheus Pena da Silva e Silva², Natália de Souza Correia³

¹Universidade Federal de São Carlos, São Paulo – Brasil, gustavojunior@estudante.ufscar.br

²Universidade Federal de São Carlos, São Paulo – Brasil, matheusps@estudante.ufscar.br

³Universidade Federal de São Carlos, São Paulo – Brasil, ncorreia@ufscar.br

Recebido:

9 de junho de 2021

Aceito para publicação:

13 de março de 2022

Publicado:

30 de abril de 2022

Editor de área:

Francisco Sacramento Aragão

Palavras-chave:

Geossintéticos.
Pavimentos.
Ligantes asfálticos.
Cisalhamento de interface.

Keywords:

Geosynthetic.
Pavement.
Asphalt tack coat.
Interface shear.

DOI:10.14295/transportes.v30i1.2632

RESUMO

A presente pesquisa avaliou, por meio de ensaios de cisalhamento tipo *Leutner*, o comportamento de aderência de revestimentos asfálticos reforçados com geossintéticos, avaliando diferentes taxas de emulsão e a relação dos resultados de cisalhamento com as propriedades físicas e mecânicas dos geossintéticos presentes na interface. Para tanto, corpos-de-prova foram extraídos de seções experimentais de campo, onde foram aplicadas 4 taxas de emulsão asfáltica de ruptura rápida (RR-2C) e 3 geocompostos de reforço (PET, PVA e Fibra de vidro). Os resultados mostraram que houve melhor desempenho de resistência ao cisalhamento e módulo de rigidez de interface quanto maior a taxa de emulsão aplicada para todos os geocompostos. Este aumento foi de 129 %, 73% e 146% para interface com geocompostos de reforço de PET, PVA e fibra de vidro, respectivamente. A capacidade de retenção de asfalto dos geossintéticos não esteve relacionada à máxima aderência de interface, uma vez que taxas mais altas foram usadas. As propriedades físicas dos geossintéticos apresentaram influência sobre os resultados de aderência, com destaque para espessura, massa por unidade de área e abertura de malha das geogrelhas presente no geocompostos. Geossintéticos mais rígidos não levaram à maiores valores de aderência de interface, enquanto levaram a um maior módulo de rigidez de interface. A influência do aumento da taxa de ligante foi maior do que a influência das propriedades físicas e mecânicas dos geossintéticos.

ABSTRACT

The present study evaluated the behavior of geosynthetic-reinforced asphalt overlays using Leutner shear tests aiming on investigating different tack coat rates and the relationship of shear bond results with geosynthetics physical and mechanical properties. Therefore, samples were extracted from experimental sections combining 4 cationic rapid setting (CRS-2) emulsion rates and 3 reinforcement geocomposites (PET, PVA e Fiberglass). For all geosynthetics, results showed superior behavior of shear bond strength and interface shear stiffness as higher the applied emulsion rate. This increase was in the order of 129%, 73% and 146% for interface with PET, PVA and fiberglass reinforcement geocomposites, respectively. Asphalt retention capacity was not related to maximum shear bond strength, once higher tack coat rates were used. Geosynthetics physical properties presented influence over shear bond strength results, highlighting thickness, mass per unit area and geogrid mesh sizes. Stiffer geosynthetics lead to lower bond strength results, while lead to higher interface shear stiffness. The influence of increase in tack coat rate was higher than the influence of geosynthetics physical and mechanical properties.



1. INTRODUÇÃO

A resistência ao cisalhamento na interface entre duas camadas da estrutura do pavimento afeta o desempenho do pavimento, como suas propriedades mecânicas, durabilidade e regime de manutenção (Ge *et al.*, 2015; Zhao, Cao e Zheng, 2017). Essa resistência, que vem do intertravamento dos agregados, da resistência de aderência do ligante e do atrito na interface entre as duas camadas da estrutura do pavimento (Li, Huang e Liu, 2016), é medida por meio de ensaio de cisalhamento. Nos últimos 30 anos, diferentes métodos para avaliar a aderência de interface de revestimentos asfálticos foram desenvolvidos (Nguyen *et al.*, 2013) e são reconhecidos como uma alternativa eficiente para análises de interface (Raab, Partl e El Halim, 2009).

Estudos apresentados na literatura avaliam o comportamento de resistência de aderência de interface em revestimentos asfálticos por meio de ensaios, tais como *Interface Shear Strength Tests* (Leutner, 1979; Canestrari *et al.*, 2005; Santagata *et al.*, 2008; Chen e Huang, 2010; Sagnol *et al.*, 2019) e *Pull-off Tests* para avaliações de descolamento (BS, 1999; Raab e Partl, 2004). De acordo com Yang e Li (2021), o módulo de rigidez de interface (k-módulo) é indicado como o parâmetro ideal para analisar o mecanismo de aderência de interface.

Existem muitos fatores que influenciam a resistência ao cisalhamento de interface entre duas camadas da estrutura do pavimento, além da metodologia de ensaio. Dentre os fatores destacam-se temperatura, tipo de ligante, tipo de agregado, a condição do revestimento antigo, a presença e o tipo de geossintéticos, velocidade de ensaio, entre outros (Lee, Mannan e Wan Ibrahim, 2020). Sabe-se ainda que, as características do geossintético, como tipo, massa por unidade de área, espessura, presença de pintura de ligação de fábrica e capacidade autoadesiva, afetam a resistência ao cisalhamento (Sudarsanan, Karpurapu e Amrithalingam, 2018; Sagnol *et al.*, 2019; Correia e Mugayar, 2021).

Pasetto *et al.* (2019) estudou propriedades flexurais dinâmicas e resistência ao cisalhamento de interface em sistemas de asfalto reforçados com diferentes geossintéticos. O estudo revelou que diferentes geogrelhas não tiveram influência significativa nas propriedades da interface dos sistemas reforçados, os quais foram avaliados com *Leutner shear test*. Porém, um decréscimo na aderência foi observado com a presença do geossintético, causado pela redução no módulo de rigidez de interface. Noory, Nejad e Khodaii (2019) avaliaram um novo método de medida de parâmetros de cisalhamento de interface entre revestimento e geossintéticos utilizando um equipamento de cisalhamento duplo, e identificaram os fatores mais influentes na resistência ao cisalhamento de interface: (1) temperatura, (2) taxa de ligante asfáltico, (3) velocidade de cisalhamento e (4) textura da superfície do revestimento asfáltico. Lee, Mannan e Wan Ibrahim (2020) avaliaram a resistência de interface entre o concreto polimérico e o concreto asfáltico com geotêxtil como elemento de interface. Os resultados mostraram que a aspereza da superfície do revestimento, o tipo de secagem das amostras, temperatura de ensaio e a presença do geossintético influenciaram na aderência de interface.

Yang, Roodi e Zornberg (2019) observaram que a melhoria no desempenho da camada asfáltica reforçada mostrou-se relacionada a várias propriedades físicas e mecânicas do geossintético, mas relatam que os parâmetros que podem impactar o efeito de descolamento entre camadas permanecem incertos. Segundo Rathmayer (2007), as metodologias para utilização de revestimentos asfálticos com geossintéticos também deveriam considerar a propriedade do geossintético e a interação entre os materiais, além dos parâmetros regulares já considerados nos projetos de pavimentos. Com análises de cisalhamento de interface, novos materiais

compósitos podem ser projetados e especificados adequadamente para serem utilizados como sistemas de revestimentos asfálticos reforçados (Pasetto *et al.*, 2019).

Contudo, para o desenvolvimento de métodos de projeto que envolvam o uso de geossintéticos entre camadas de revestimentos asfálticos, é essencial que sejam conhecidos os parâmetros que influenciam o comportamento da interface. Neste contexto, o principal objetivo desta investigação foi avaliar a resistência de aderência de interface de amostras reforçadas com diferentes geocompostos de reforço por meio de ensaios de tipo *Leutner shear test*, usando amostras extraídas de uma pista experimental, as quais foram impregnadas com diferentes taxas de emulsão. Os resultados foram correlacionados com as propriedades físicas e mecânicas dos geossintéticos, bem como com a capacidade de retenção de asfalto destes com diferentes ligantes.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Geossintéticos

O programa experimental contemplou a utilização de três geossintéticos especificamente fabricados para aplicações em revestimentos asfálticos, e que atendem aos critérios de resistência da especificação ET-DE-P00/043 (DER, 2006) para Tratamento Anti-Reflexão de Trincas. Os geossintéticos usados nesta pesquisa são geocompostos formados por geogrelha de elevada resistência à tração acopladas à um geotêxtil não tecido ultraleve que serve para auxiliar na aderência e instalação. Estes geocompostos de reforço são de: poliéster (GG1); Poliálcool vinílico (GG2) e fibra de vidro (GG3). A Figura 1 apresenta os geossintéticos usados nesta pesquisa.

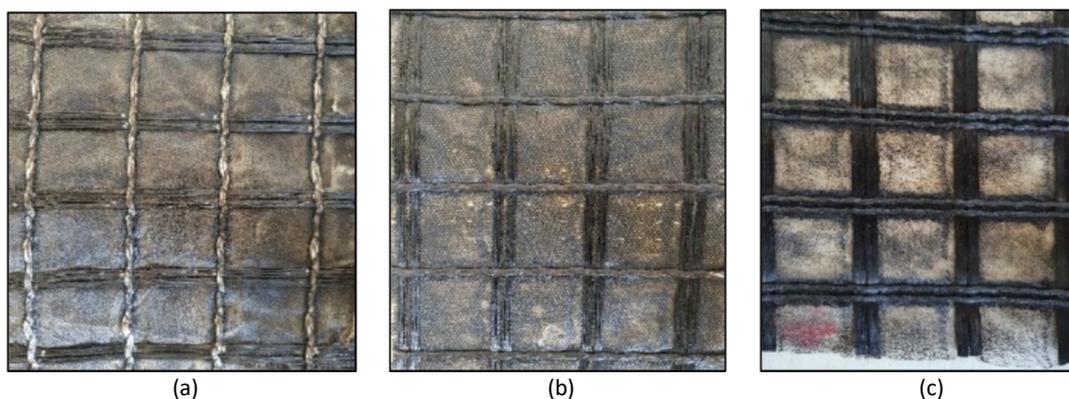


Figura 1. Geossintéticos usados nesta pesquisa: (a) GG1; (b) GG2; (c) GG3

2.2. Ensaios de caracterização dos Geossintéticos

Para a determinação das características físicas dos geossintéticos, foram realizados ensaios para determinação da espessura sob carga constante (ABNT, 2013a), bem como espessura longitudinal e transversal dos elementos das geogrelhas, largura longitudinal e transversal dos elementos das geogrelhas, abertura da malha, e massa por unidade de área (ABNT, 2013b) tanto do geocomposto quanto apenas do geotêxtil não tecido. Para a amostragem dos ensaios de caracterização das propriedades físicas, foram necessários 10 corpos-de-prova de 10x10 cm por ensaio (ABNT, 2013c).

Para determinar a resistência última à tração e rigidez à tração de cada geossintético, foram realizados ensaios de resistência à tração faixa larga conforme NBR ISO 10319 (ABNT, 2013d), sendo necessários 10 corpos-de-prova de 200 mm de largura e 700 mm de comprimento, sendo

mínimo 5 no sentido transversal e 5 no sentido longitudinal. Nestes ensaios, foi utilizada uma garra de rolete e sistema de leitura externo com extensômetros. Foram ainda realizados ensaios de capacidade de retenção de asfalto dos geossintéticos conforme especificações da ASTM D6140 (ASTM, 2014) com uso do cimento asfáltico de petróleo (CAP) 50/70, e também com adaptações para análise de capacidade de retenção de asfalto com emulsão asfáltica de ruptura rápida (RR-2C). A Figura 2 ilustra um exemplo de ensaio de tração e o processo de secagem no ensaio de capacidade de retenção de asfalto de geossintéticos.

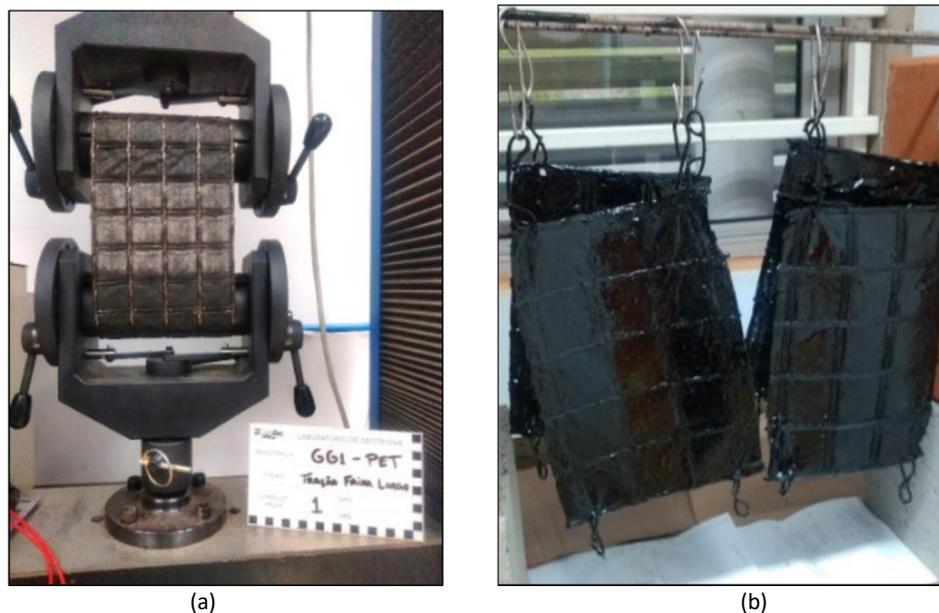


Figura 2. Ensaios de caracterização dos geossintéticos: (a) tração faixa larga; (b) retenção de asfalto com CAP

O procedimento inicial do ensaio de capacidade de retenção de asfalto foi semelhante para os dois ligantes, no qual primeiramente é realizada a preparação de corpos-de-prova, cortados em 20 x 10 cm, sendo 4 em cada sentido (longitudinal e transversal da amostra). Na preparação do ligante, enquanto para o CAP foi necessário um pré-aquecimento na estufa a 135°C, para a emulsão foi necessária uma prévia diluição em água (representativa da condição de campo) antes do pré-aquecimento a 70°C (temperatura usada na seção experimental de campo). Posteriormente, os geossintéticos foram mergulhados em cada ligante e mantidos por tempos pré-estabelecidos, do processo de secagem indicado na ASTM D6140 (ASTM, 2014). A capacidade de retenção de asfalto é então obtida pela diferença entre massas dos corpos-de-prova antes e após o contato com ligante.

2.3. Trecho Experimental

A Figura 3 apresenta os geossintéticos instalados no trecho experimental executado em São José do Rio Preto, São Paulo, em 16 de novembro de 2019, durante obras de restauração de um pavimento. Um trecho de 10,0 m de comprimento por 4 m de largura foi utilizado para a instalação da GG1, GG2 e GG3. Os geossintéticos foram instalados após a cura da emulsão RR-2C. A Figura 3 também destaca a disposição de instalação dos geossintéticos em campo, bem como a aplicação de diferentes taxas de emulsão feita com “caneta”, com controle das pinturas por pesagem (bandeja). Calculou-se o valor de emulsão efetivamente aplicado, que foi de 180, 392, 612 e 824 g/m² (residual), representadas por Taxa 1, Taxa 2, Taxa 3 e Taxa 4, respectivamente.



Figura 3. Instalação do trecho reforçado: (a) aplicação da emulsão; (b) instalação das geogrelhas; (c) aplicação do revestimento; (d) compactação

2.4. Extração dos corpos-de-prova

Para a realização dos ensaios de cisalhamento, corpos-de-prova foram extraídos do trecho experimental nas seções reforçadas. Os corpos-de-prova (150 mm) foram extraídos com sonda rotativa para atingir a espessura mínima das camadas de asfalto acima (5 cm) e abaixo da interface com geossintético (4 cm). A Figura 4 apresenta a extração e o fechamento dos furos com compactador Marshall, o qual foi realizado com concreto usinado à quente, compactado à frio.

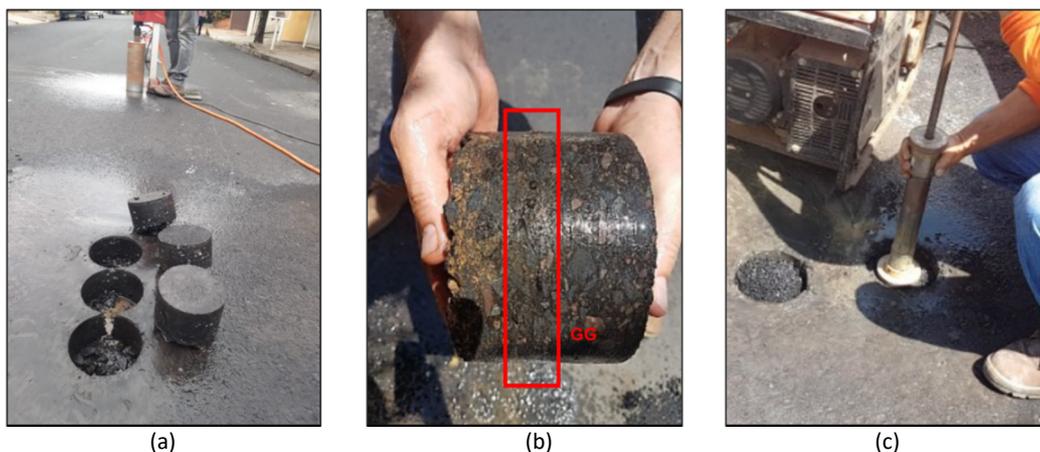


Figura 4. Extração dos corpos-de-prova: (a) extração com sonda rotativa; (b) presença do geossintético no corpo-de-prova; (c) fechamento dos furos

2.5. Ensaio de cisalhamento direto de interface

O equipamento *Leutner shear test*, para a obtenção da resistência de aderência de interface, indicado em Leutner (1979), foi utilizado nesta pesquisa. O sistema consiste em duas partes: molde cisalhante para corpo de prova (móvel) e molde de reação (fixo). Os corpos-de-prova são colocados nos moldes e fixados com colares. O molde cisalhante é então carregado com velocidade de 50 mm/min e na medida em que a carga vertical é gradualmente aumentada, a ruptura por cisalhamento ocorre na interface. Esta mesma taxa de deslocamento de cisalhamento foi usada nas pesquisas de Sagnol *et al.* (2019), Canestrari *et al.* (2015), Sudarsanan, Karpurapu e Amrithalingam (2018) e Pasetto *et al.* (2019). Durante o ensaio, as cargas mobilizadas foram registradas com uso de uma célula de carga tipo S (20 kN), acoplada à prensa Universal de ensaios. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Geotecnia e Geossintéticos da Universidade Federal de São Carlos.

A resistência de aderência de interface é então calculada dividindo-se a máxima força cisalhante pela seção transversal da interface. Os ensaios foram conduzidos com corpos-de-prova em triplicata, de forma a satisfazer os valores de pico de resistência ao cisalhamento com coeficiente de variação de até de 20%, tal como proposto por Collop *et al.* (2009). Além disso, foi avaliado o módulo tangencial de rigidez de interface ($k_{\text{módulo}}$), obtido pela razão entre a resistência máxima ao cisalhamento e o deslocamento entre reta tangente e pico.

3. RESULTADOS

3.1. Caracterização física e mecânica dos geocompostos

A avaliação e caracterização dos geocompostos que foram utilizados nesta pesquisa são importantes para determinar os parâmetros físicos destes materiais, os quais serão correlacionados com a resistência ao cisalhamento de interface.

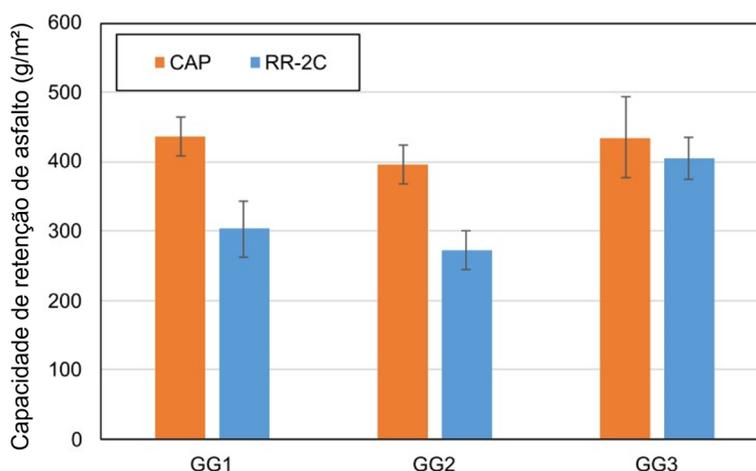
A Tabela 1 apresenta uma comparação dos resultados de características físicas e mecânicas obtidos para os geocompostos com os devidos coeficientes de variação (COV). De modo geral, os geocompostos apresentam aberturas de malha da geogrelha diferentes, bem como apresentam espessura dos elementos longitudinais e transversais com variações de dimensão inferior quando comparado com as larguras dos elementos longitudinais e transversais. Quanto à capacidade de retenção de asfalto, estes geossintéticos apresentam valores similares quando impregnados com o CAP, porém valores diferentes foram obtidos para a emulsão RR-2C. Em termos de resistência à tração última, os resultados foram similares, em torno de 50 kN/m. Já em termos de rigidez à tração, a diferença foi significativa, uma vez que esta propriedade é determinada pelo tipo de polímero ou material presente no geossintético.

A Figura 5 apresenta uma comparação dos resultados do ensaio de capacidade de retenção de asfalto obtidos entre os diferentes geossintéticos e diferentes ligantes. Verificou-se que, de modo geral, os valores de capacidade de retenção de asfalto encontrados foram maiores quando se utilizou o CAP do que a emulsão asfáltica, fato relacionado principalmente à viscosidade do CAP. Os resultados apresentados enfatizam a necessidade de caracterizar o geossintético para cada ligante, uma vez que a capacidade de cada geossintético em reter o ligante, quando se usa emulsão, por exemplo, pode ser significativamente menor e afetar os resultados de aderência a depender da taxa utilizada em campo. No caso da GG3, que apresentou resultados semelhantes para CAP e emulsão, pode ter havido sedimentação de resíduos de emulsão no processo de imersão das amostras.

Tabela 1 – Comparação entre os resultados de características físicas e mecânicas

Propriedades	GG1	COV(%)	GG2	COV (%)	GG3	COV (%)
Polímero	Poliéster (PET)	-	Poliálcool vinílico (PVA)	-	Fibra de Vidro	-
Abertura de malha (mmxmm)	32 (L) x 40 (T)	-	33 (L) x 39 (T)	-	29 (L) x 32 (T)	-
Massa por unidade de área (g/m ²)	280	2,2	325	1,2	587	1,2
Espessura (mm)	1,80	4,0	1,90	0,7	2,10	2,5
Espessura do elemento Long. (mm)	1,25	8,7	1,15	2,9	1,45	3,8
Espessura do elemento Trans. (mm)	0,90	8,2	0,80	4,6	0,75	7,3
Largura do elemento Long. (mm)	2,65	3,9	3,00	3,0	6,25	3,3
Largura do elemento Trans. (mm)	8,90	2,2	8,90	0,9	9,85	2,5
Retenção de asfalto – CAP (g/m ²)	436	6,5	396	6,8	435	10,7
Retenção de asfalto – RR-2C (g/m ²)	303	13,2	272	10,4	405	9,2
Resistência à tração última – Long. (kN/m)	45	3,5	47	2,5	47	3,0
Resistência à tração última – Trans. kN/m)	49	3,7	48	3,9	55	3,0
Rigidez à tração a 2% de deformação (kN/m)	417	3,7	833	3,9	1667	3,0

Ainda de acordo com a Figura 5, os geossintéticos GG1, GG2 e GG3, apresentaram capacidade de retenção de asfalto para a emulsão entre 272 e 405 g/m² (residual). As taxas de emulsão RR-2C aplicadas no trecho experimental foram entre 180 e 824 g/m² (residual), ou seja, estão dentro da capacidade de retenção de asfalto dos produtos. Estes resultados serão comparados com os valores máximos de resistência ao cisalhamento de interface.

**Figura 5.** Comparação dos resultados de capacidade de retenção de asfalto de diferentes geossintéticos com CAP e emulsão RR-2C

3.2. Ensaio de cisalhamento de interface

A Figura 6 apresenta o equipamento *Leutner* usado nos ensaios de cisalhamento de interface. Em ensaios de resistência ao cisalhamento, é usual a ocorrência de diferentes modos de falhas de interface (Destrée e De Visscher, 2017). Quando a falha ocorre na interface entre o geossintético e a camada de revestimento, o modo de falha é classificado como aderência.

A Figura 7 apresenta exemplos de corpos-de-prova rompidos após os ensaios, onde as camadas cisalhadas foram perfeitamente descoladas na interface com o geossintético. Não foram observadas evidências de esmagamento do agregado de borda nos ensaios. Nesta pesquisa, a direção de tráfego não foi considerada no ensaio de cisalhamento, porém é importante ressaltar sua potencial influência nos resultados.

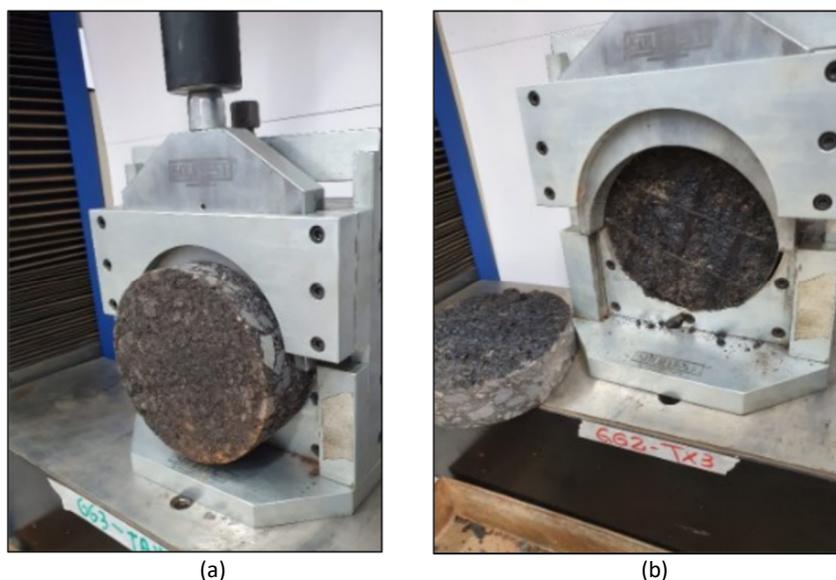


Figura 6. Ensaio de cisalhamento de interface de corpos-de-prova com interface reforçada com geossintético: (a) durante o ensaio; (b) ruptura no corpo-de-prova na interface



Figura 7. Rupturas de corpos-de-prova na interface entre geossintético e massa asfáltica

O resultado típico de resistência ao cisalhamento de interface é apresentado na Figura 8, juntamente com os resultados obtidos nos ensaios desta pesquisa, os quais estão representados por curvas típicas obtidas para cada combinação das amostras reforçadas para as 4 taxas de ligante RR-2C. A Figura 8a indica a tensão máxima cisalhante, o deslocamento de pico e o módulo de rigidez (k -módulo). Nas Figuras 8b, 8c e 8d, verifica-se que uma tendência de variação dos resultados de pico de resistência de aderência para os diferentes geossintéticos e diferentes taxas aplicadas.

Com os resultados médios (triplicata de ensaios) de resistência ao cisalhamento de interface, bem como respectivos valores de desvio padrão, foi possível gerar o gráfico apresentando na Figura 9. A resistência ao cisalhamento medida variou de 0,6 a 1,6 MPa para as diferentes taxas de ligantes residual aplicadas (Figura 9a). Estes resultados são satisfatoriamente comparáveis às recomendações da literatura (0,1 – 1,5 MPa) para CAUQ (Walubita *et al.*, 2018). De modo geral, houve aumento da resistência de aderência com o aumento da taxa de ligante residual aplicada para todos os geossintéticos (Figura 9b). Em termos quantitativos, a interface com a GG1 apresentou aumento de resistência ao cisalhamento de 40%, 86% e 129% com o aumento da taxa de 180 g/m² (Taxa 1) para 394 g/m² (Taxa 2), 612 g/m² (Taxa 3) e 824 g/m² (Taxa 4), respectivamente. A interface com a GG2 apresentou, em comparação, menores aumentos de

resistência de interface, sendo de 17%, 27% e 73% com o aumento da taxa 1 para taxas 2, 3 e 4, respectivamente. A interface com a GG3 demonstrou aumentos de resistência com o aumento da taxa de ligante semelhantes aos da GG1, sendo de 46%, 89% e 146% para as taxas 2, 3 e 4, respectivamente.

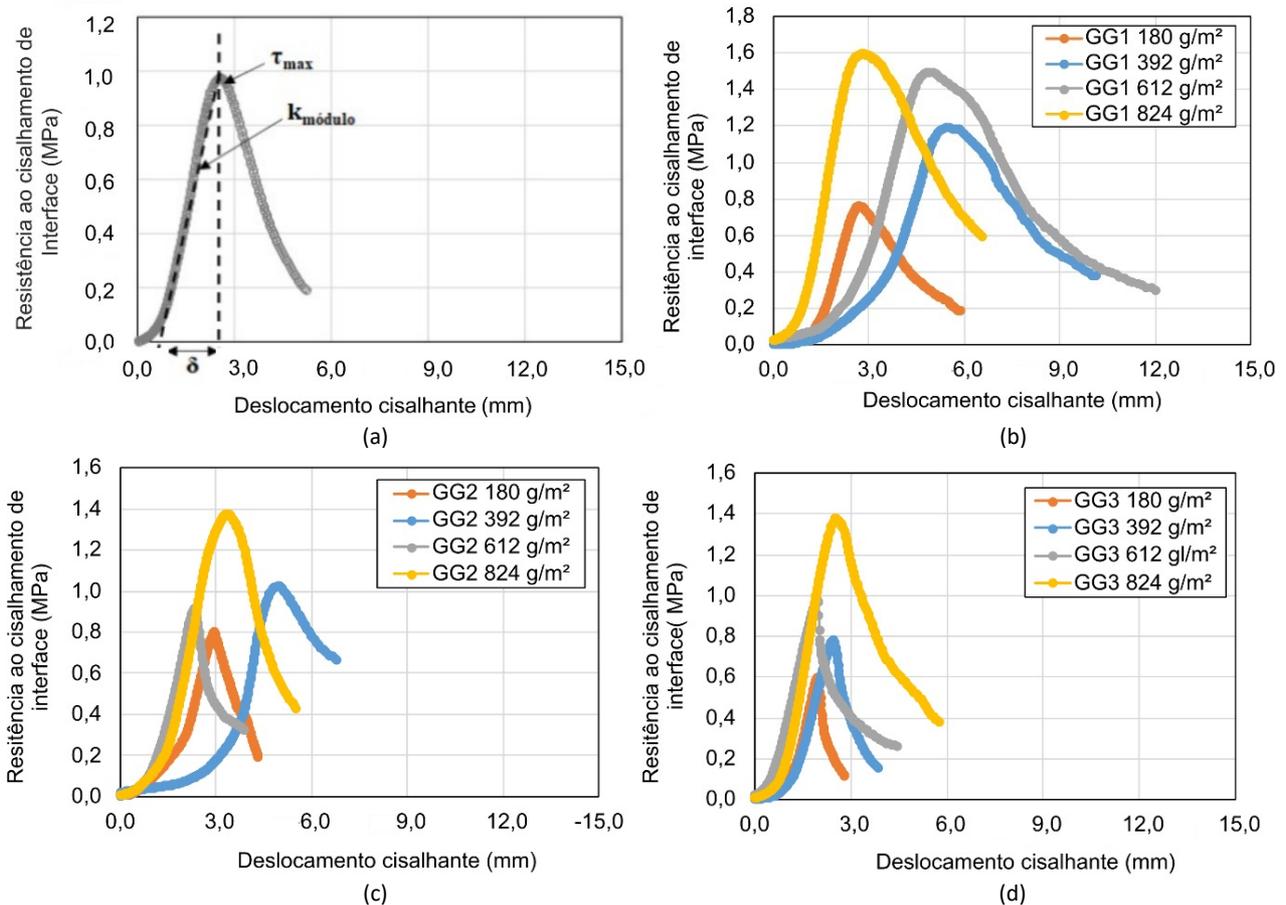


Figura 8. Resultados de resistências ao cisalhamento encontrados: (a) curva típica; (b) GG1 (PET); (c) GG2 (PVA); (d) GG3 (Fibra de Vidro)

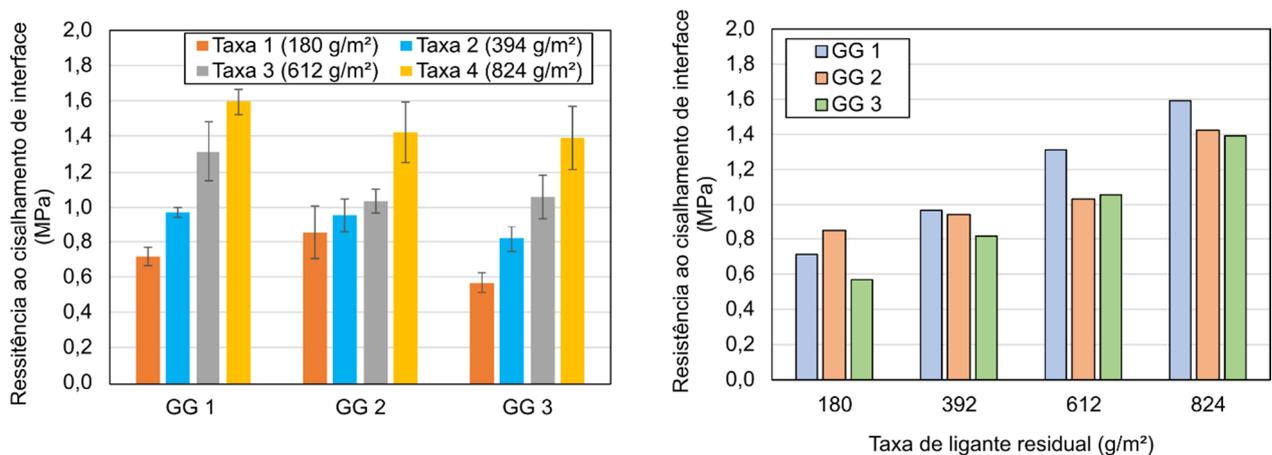


Figura 9. Comparação de resultados de resistência ao cisalhamento de interface: (a) taxas de ligante residual; (b) diferentes geossintéticos

Com relação a capacidade de retenção de asfalto de cada geocomposto com emulsão RR-2C, observou-se que os maiores resultados de aderência não estiveram relacionados com a capacidade máxima de retenção de asfalto dos produtos (272 a 405 g/m²). Isso demonstra que a textura da superfície dos revestimentos em contato com o geossintético interfere no resultado de aderência, sendo que a melhor combinação obtida, nestes casos, foi para as maiores taxas de emulsão RR-2C aplicadas. Isso indica que um melhor comportamento de aderência pode ser obtido com taxas de impregnação acima da capacidade de retenção de asfalto do geossintético. É importante destacar que o desempenho do geossintético no pavimento não foi avaliado, mas somente a aderência de interface.

A Figura 10 ilustra uma comparação dos valores obtidos para módulo de rigidez de interface (k-módulo). De modo geral, nota-se que conforme houve aumento da taxa de ligante aplicada, maiores foram os valores de módulo de rigidez de interface, tal como indicado por Bae *et al.* (2010). Por características da composição dos geossintéticos, os módulos de rigidez de interface apresentam diferenças e, assim, é possível inferir que este parâmetro pode ter relação com o aumento da rigidez a tração dos geossintéticos. Como exemplo a GG3 (Fibra de Vidro) é mais rígida que as demais e apresentou os maiores resultados de k-módulo. De acordo com Canestrari *et al.* (2013) e Yang e Li (2021), valores de k-módulo entre 0,01 e 100 MPa/mm garantem aderência ideal entre as camadas. No caso da presente pesquisa, todos os resultados estão dentro desta faixa indicada.

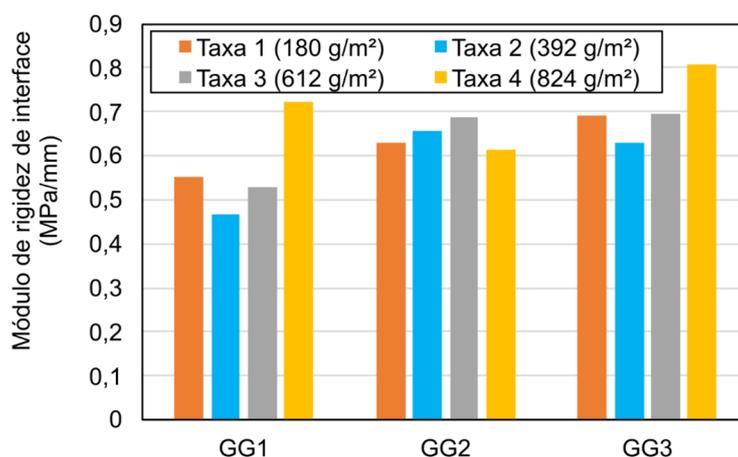


Figura 10. Média dos valores do módulo de rigidez de interface

3.3. Influência das propriedades dos geossintéticos na Aderência da interface

A Figura 11 apresenta a influência da massa por unidade de área do geocomposto e do geotêxtil não tecido (removido do geocomposto), nos resultados de aderência. Verifica-se na Figura 11a que com o aumento da massa por unidade de área do geocomposto, houve uma tendência de diminuição da resistência de aderência de interface para todas as taxas de emulsão utilizadas. Já no caso da massa por unidade de área do geotêxtil não tecido (Figura 11b), houve uma tendência de aumento da resistência de aderência de interface para todas as taxas de emulsão quanto maior a massa por unidade de área, o que também foi relacionado com a capacidade de retenção de asfalto dos geossintéticos. Nos dois casos, para os resultados de aderência de interface, a influência do aumento da taxa de ligante foi superior a influência da massa por unidade de área dos produtos.

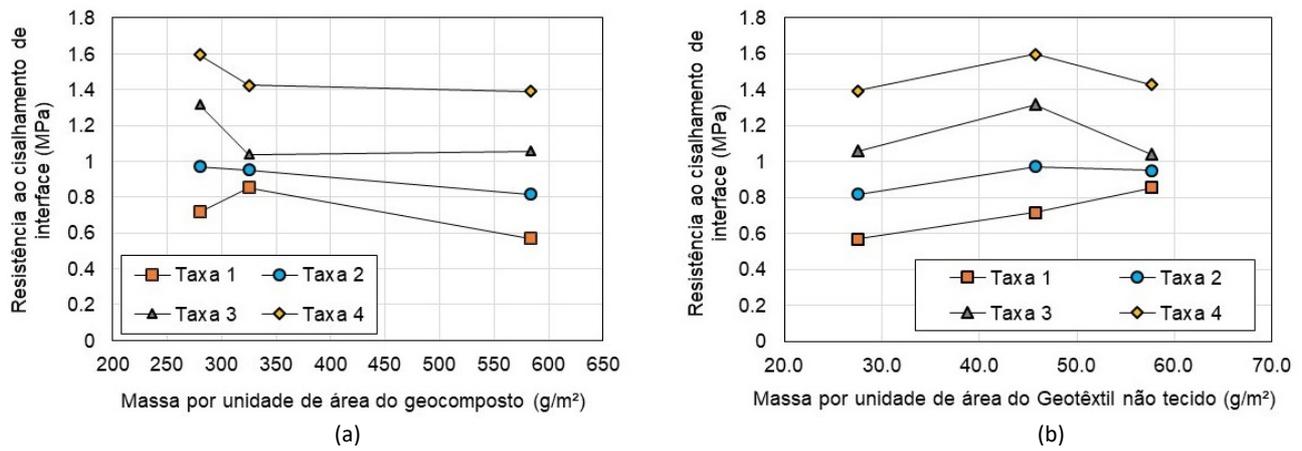


Figura 11. (a) Influência da massa por unidade de área nos resultados de aderência: (a) geocomposto; (b) geotêxtil não tecido

A Figura 12 apresenta a influência da espessura do geocomposto e da abertura da malha da geogrelha nos resultados de aderência. Tal como verificado na massa por unidade de área, a espessura também parece influenciar os resultados, sendo que quanto mais espesso, menores foram os resultados de aderência de interface (Figura 12a). Quanto à abertura da malha da geogrelha (Figura 12b), verificou-se que para taxas de emulsão residual mais baixas (taxas 1 e 2), houve tendência de aumento da resistência quanto maior a abertura da malha. Já para taxas mais altas (Taxas 3 e 4), houve tendência de redução quanto maior a abertura da malha. De modo geral, a influência do aumento da taxa de ligante foi maior para os produtos de menor abertura de malha e menor para os produtos de maior abertura de malha. Isso demonstra que pode haver uma combinação entre taxa de ligante e abertura de malha que pode influenciar os resultados (Correia e Mugayar, 2021).

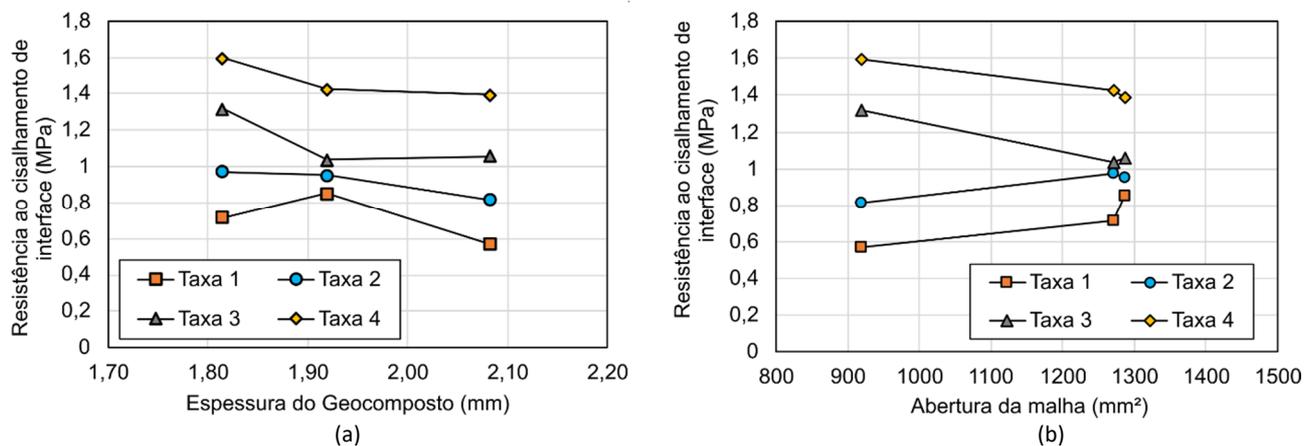


Figura 12. Influência de propriedade física dos geossintéticos nos resultados de aderência: (a) espessura; (b) abertura da malha da geogrelha

A Figura 13 apresenta a influência da largura e espessura dos elementos da geogrelha nos resultados de aderência. Observa-se nas Figuras 13a e 13b que GG1 e GG2, que tem largura dos elementos muito semelhantes, resultaram em valores de aderência de interface semelhantes. Houve uma leve tendência de diminuição da aderência de interface quanto maior a largura do elemento da geogrelha, fato correlacionado a menor abertura de malha.

A espessura dos elementos longitudinais (Figura 13d) mostrou a mesma tendência de diminuição da aderência quando maior a espessura, tal como observado para a espessura total do geocomposto (Figura 12a). Novamente, para os resultados de aderência de interface, a influência da taxa aplicada foi maior do que a influência das propriedades físicas dos geossintéticos.

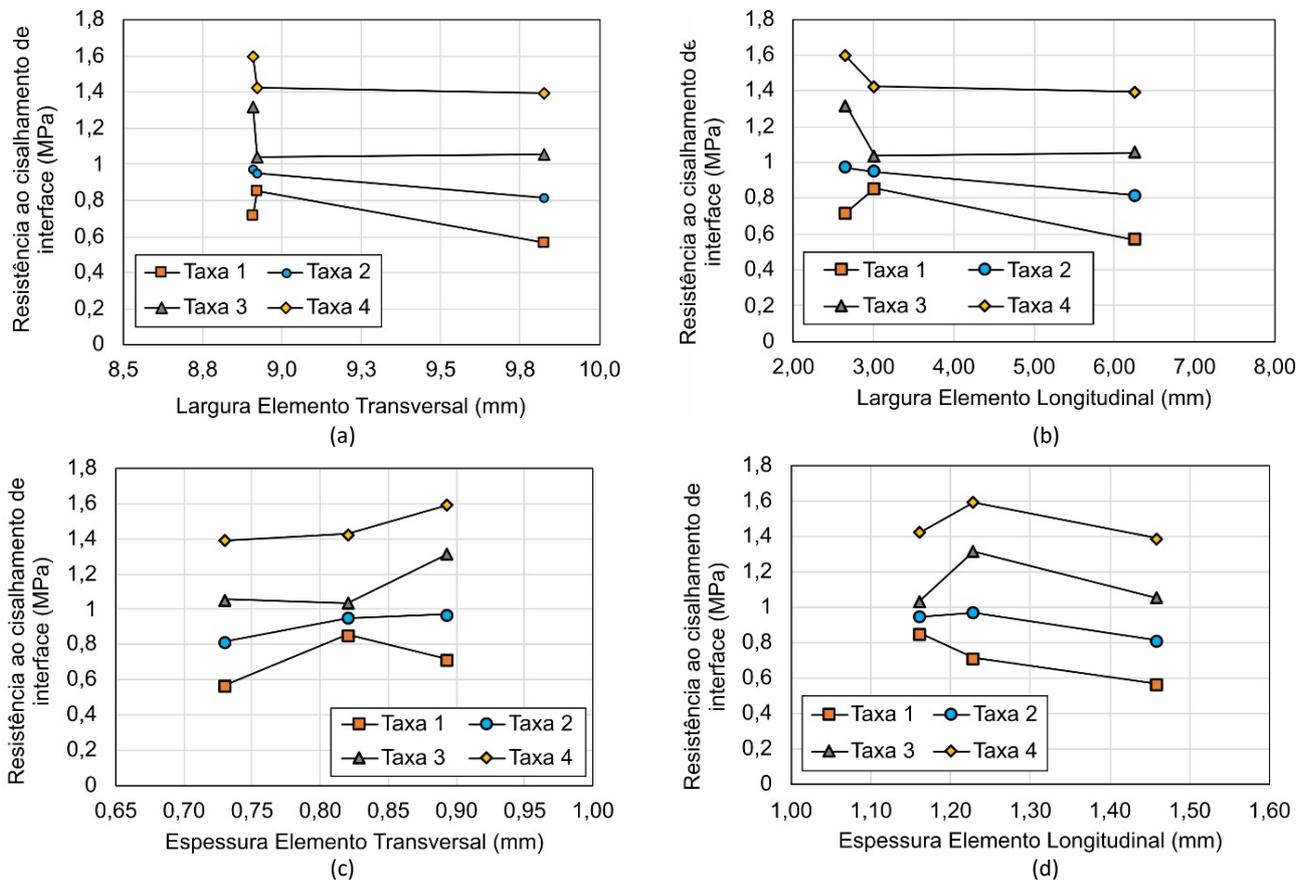


Figura 13. Influência dos elementos da geogrelha nos resultados de aderência: (a) largura transversal; (b) largura longitudinal; (c) espessura transversal; (d) espessura longitudinal

A Figura 14 apresenta a influência da rigidez (à 2% de deformação) dos geossintéticos nos resultados de aderência. É importante salientar que os geossintéticos apresentam rigidez à tração com magnitudes bem diferentes, uma vez que as matérias-primas variam do poliéster a fibra de vidro. De modo geral, conforme os valores de rigidez a tração aumentaram, houve uma redução nos resultados de resistência ao cisalhamento de interface. Este comportamento é diferente do observado na rigidez de interface (k -módulo) (Figura 11), onde o geossintético mais rígido (GG3) levou ao comportamento de interface mais rígida. Sendo assim, a propriedade mecânica isolada de rigidez do geossintético à tração pode não ser um parâmetro de escolha ideal para esta aplicação. Mais uma vez, para os resultados de aderência de interface, o efeito do aumento da taxa foi maior do que o expressivo aumento na rigidez à tração dos geossintéticos.

A pesquisa evidenciou a importância de avaliar a aderência de interface nas combinações a serem usadas no campo e vem a somar aos estudos já realizados, trazendo para o âmbito nacional alguns dos principais questionamentos encontrados em projetos de restauração de pavimentos com geossintéticos. Os resultados desta investigação não devem ser extrapolados para qualquer outra situação de aplicação de geossintéticos em revestimentos asfálticos sem as

devidas considerações. Como limitações desta pesquisa, tem-se o fato dos geossintéticos utilizados terem sido muito semelhantes quanto às propriedades físicas. Outras combinações de análises de interfaces reforçadas com outros ligantes e taxas podem levar a uma melhor investigação de possíveis correlações.

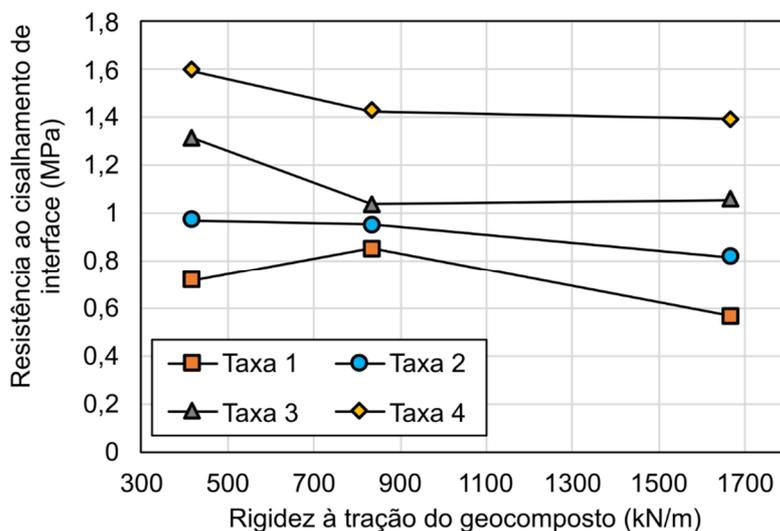


Figura 14. Influência da rigidez à tração dos geossintéticos nos resultados de aderência

4. CONCLUSÕES

A presente pesquisa avaliou, por meio de ensaios de cisalhamento de interface tipo *Leutner*, o comportamento de aderência de interfaces de revestimentos asfálticos reforçados usando corpos-de-prova extraídos de um trecho experimental de campo, avaliando diferentes taxas de emulsão e a relação dos resultados com as propriedades físicas e mecânicas dos geossintéticos. Os resultados de aderência de interface mostraram melhor desempenho de resistência ao cisalhamento e módulo de rigidez de interface quanto maior a taxa de emulsão RR-2C aplicada nas interfaces reforçadas. Este aumento foi de 129 %, 73% e 146% para interface com PET, PVA e fibra de vidro, respectivamente. A capacidade de retenção de asfalto dos geossintéticos foi maior com o CAP 50/70 do que com emulsão, e não esteve relacionada à máxima aderência de interface obtida nos ensaios de cisalhamento.

O aumento da massa por unidade de área e da espessura do geocomposto levou a uma tendência de diminuição da resistência de aderência de interface. A influência do aumento da taxa de ligante foi maior para os produtos de menor abertura de malha e menor para os produtos de maior abertura de malha. Geossintéticos mais rígidos (Fibra de vidro) levaram a menores valores de aderência de interface, enquanto levaram a um maior módulo de rigidez de interface, confirmando a importância da investigação deste parâmetro. De modo geral, para a resistência ao cisalhamento de interface, a influência do aumento da taxa de ligante foi maior do que a influência das propriedades físicas e mecânicas dos geossintéticos avaliados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP pela bolsa de Iniciação Científica do Projeto 2019/26459-6 e ao CNPq, pelo financiamento do Projeto Universal 421185/2018-0. Agradecimentos à Huesker Brasil e a Start Pro Engenharia, em especial ao Engenheiros Cássio Carmo e André Mugayar, por todo o auxílio proporcionado para a execução do trecho experimental. Agradecimentos ao Técnico Matheus Cardoso dos Santos da Universidade Federal de São Carlos pelo apoio na realização dos ensaios.

REFERÊNCIAS

- ABNT (2013a) NBR ISO 10319: Geossintéticos - Ensaio de tração faixa larga. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT (2013b) NBR ISO 9862: Geossintéticos - Amostragem e preparação de corpos de prova para ensaios. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT (2013c) NBR ISO 9863-1: Geossintéticos - Determinação da espessura a pressões específicas. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT (2013d) NBR ISO 9864: Geossintéticos - Método de ensaio para determinação da massa por unidade de área de geotêxteis e produtos correlatos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ASTM (2014) D6140: Standard Test Method to Determine Asphalt Retention of Paving Fabrics Used in Asphalt Paving for Full-Width Applications. West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials International. DOI:10.1520/D6140-00R09.2.
- Bae, A., Mohammad, L.N., Elseifi, M.A., Button, J. e Patel, N. (2010) Effects of Temperature on Interface Shear Strength of Emulsified Tack Coats and Its Relationship to Rheological Properties, *Journal of the Transportation Research Board*, 2180(1), pp. 102–109. DOI:10.3141/2180-12.
- BS (1999) EN 1542: products and systems for the protection and repair of concrete structures. Brussels: British Standards.
- Canestrari, F., Belogi, L., Ferrotti, G. e Graziani, A. (2015) Shear and flexural characterization of grid-reinforced asphalt pavements and relation with field distress evolution, *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 48(4), pp. 959–975. DOI:10.1617/s11527-013-0207-1.
- Canestrari, F., Ferrotti, G., Lu, X., Millien, A., Partl, M.N., Petit, C., Phelipot-Mardelé, A., Piber, H. e Raab, C. (2013) 'Mechanical Testing of Interlayer Bonding in Asphalt Pavements in Partl, M.N., Bahia, H.U., Canestrari, F., de la Roche, C., Di Benedetto, H., Piber, H. e Sybilski, D. (eds.) *Advances in Interlaboratory Testing and Evaluation of Bituminous Materials*. Dordrecht: Springer, pp. 303–360. DOI:10.1007/978-94-007-5104-0_6.
- Canestrari, F., Ferrotti, G., Partl, M.N. e Santagata, E. (2005) Advanced testing and characterization of interlayer shear resistance, *Transportation Research Record*, (1929), pp. 69–78. DOI:10.3141/1929-09.
- Chen, J.S. and Huang, C.C. (2010) Effect of surface characteristics on bonding properties of bituminous tack coat, *Transportation Research Record*, (2180), pp. 142–149. DOI:10.3141/2180-16.
- Collop, A.C., Sutanto, M.H., Airey, G.D. e Elliott, R.C. (2009) Shear bond strength between asphalt layers for laboratory prepared samples and field cores, *Construction and Building Materials*, 23(6), pp. 2251–2258. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2008.11.017.
- Correia, N.S. and Mugayar, A.N. (2021) Effect of binder rates and geogrid characteristics on the shear bond strength of reinforced asphalt interfaces, *Construction and Building Materials*, 269. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2020.121292.
- DER (2006) ET-DE-P00/043: Tratamento Anti-Reflexão De Trincas Com Geossintético. São Paulo: Departamento de Estradas de Rodagem.
- Destrée, A. e De Visscher, J. (2017) Impact of tack coat application conditions on the interlayer bond strength, *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 8189(March), pp. 1–12. DOI:10.1080/19648189.2017.1285252.
- Ge, Z., Wang, H., Zhang, Q. e Xiong, C. (2015) Glass fiber reinforced asphalt membrane for interlayer bonding between asphalt overlay and concrete pavement, *Construction and Building Materials*, 101, pp. 918–925. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2015.10.145.
- Lee, S.L., Mannan, M.A. e Wan Ibrahim, W.H. (2020) Shear strength evaluation of composite pavement with geotextile as reinforcement at the interface. *Geotextiles and Geomembranes*, 48(3), pp. 230–235. DOI:10.1016/j.geotextmem.2019.11.002.
- Leutner R (1979) Untersuchung des Schichtverbundes beim bituminösen Oberbau, *Bitumen*, 41(3), pp. 84–9.
- Li, S., Huang, Y. e Liu, Z.H. (2016) Experimental evaluation of asphalt material for interlayer in rigid-flexible composite pavement, *Construction and Building Materials*, 102, pp. 699–705. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2015.10.122.
- Nguyen, M.L., Blanc, J., Kerzrého, J.P. e Hornych, P. (2013) Review of glass fibre grid use for pavement reinforcement and APT experiments at IFSTTAR, *Road Materials and Pavement Design*, 14(SUPPL.1), pp. 287–308. DOI:10.1080/14680629.2013.774763.
- Noory, A., Moghadas Nejad, F. e Khodaii, A. (2019) Evaluation of the effective parameters on shear resistance of interface in a geocomposite-reinforced pavement, *International Journal of Pavement Engineering*, 20(9), pp. 1106–1117. DOI:10.1080/10298436.2017.1394094.
- Pasetto, M., Pasquini, E., Giacomello, G. e Baliello, A. (2019) Innovative composite materials as reinforcing interlayer systems for asphalt pavements: an experimental study, *Road Materials and Pavement Design*, 20(sup2), pp. S617–S631. DOI:10.1080/14680629.2019.1628438.
- Raab, C. e Partl, M.N. (2004) Interlayer shear performance: Experience with different pavement structures, in *3rd Euroasphalt & Eurobitume Congress*. Vienna: Foundation Eurasphalt, pp. 535–545.
- Raab, C., Partl, M.N. e El Halim, A.E.H.O.A. (2009) Evaluation of interlayer shear bond devices for asphalt pavements, *Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 4(4), pp. 186–195. DOI:10.3846/1822-427X.2009.4.186-195.
- Rathmayer, H.G. (2007) Reinforcement of Pavements with Steel Meshes and Geosynthetics' in Correia, A.G., Momoya, Y., e Tatsuoka, F. (eds) *Design and Construction of Pavements and Rail Tracks: Geotechnical Aspects and Processed Materials*. Balkema: Taylor & Francis, pp. 3–12. DOI: 10.1201/9780203937549.

- Sagnol, L., Quezada, J.C., Chazallon, C. e Stöckner, M. (2019) Effect of glass fibre grids on the bonding strength between two asphalt layers and its Contact Dynamics method modelling, *Road Materials and Pavement Design*, 20(5), pp. 1164–1181. DOI:10.1080/14680629.2018.1439764.
- Santagata, F.A., Partl, M.N., Ferrotti, G., Canestrari, F. e Flisch, A. (2008) A. Layer characteristics affecting interlayer shear resistance in flexible pavements, *Journal Association of Asphalt Paving Technologists*, 77, pp. 221–256.
- Sudarsanan, N., Karpurapu, R. e Amrithalingam, V. (2018) An investigation on the interface bond strength of geosynthetic-reinforced asphalt concrete using Leutner shear test, *Construction and Building Materials*, 186, pp. 423–437. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2018.07.010.
- Walubita, L.F., Nyamuhokya, T.P., Komba, J.J., Ahmed Tanvir, H., Souliman, M.I. e Naik, B. (2018) Comparative assessment of the interlayer shear-bond strength of geogrid reinforcements in hot-mix asphalt, *Construction and Building Materials*, 191, pp. 726–735. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2018.10.035.
- Yang, K. e Li, R. (2021) Characterization of bonding property in asphalt pavement interlayer: A review, *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)* [Preprint]. DOI:10.1016/j.jtte.2020.10.005.
- Yang, L., Roodi, G.H. e Zornberg, J.G. (2019) Development of a Shear Test for Unreinforced and Geosynthetic-Reinforced Hot Mix Asphalt, in *Geosynthetics Conference*. Houston, Texas, pp. 538–547. Disponível em: < https://www.caee.ute-xas.edu/prof/zornberg/pdfs/CP/Yang_Roodi_Zornberg_2019.pdf > (acesso em 21/03/2022)
- Zhao, H., Cao, J. e Zheng, Y. (2017) Investigation of the interface bonding between concrete slab and asphalt overlay, *Road Materials and Pavement Design*, 18(sup3), pp. 109–118. DOI:10.1080/14680629.2017.1329866.