

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

CURSO DE MESTRADO EM GEOTECNIA E TRANSPORTES

**AVALIAÇÃO EM LABORATÓRIO DO
COMPORTAMENTO DE CAMADAS ASFÁLTICAS
REFORÇADAS COM GEOSSINTÉTICOS**

Leonardo Lacerda Fonseca

Belo Horizonte

2015

Leonardo Lacerda Fonseca

**AVALIAÇÃO EM LABORATÓRIO DO
COMPORTAMENTO DE CAMADAS ASFÁLTICAS
REFORÇADAS COM GEOSSINTÉTICOS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Geotecnia e Transportes da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geotecnia e Transportes.

Área de concentração: Geotecnia

Orientadora: Maria das Graças Gardoni Almeida

Co-orientadora: Jisela Aparecida Santanna Greco

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2015

F676a	<p>Fonseca, Leonardo Lacerda. Avaliação em laboratório do comportamento de camadas asfálticas reforçadas com geossintéticos [Manuscrito] Leonardo Lacerda Fonseca. – 2015. 162 f., enc.: il.</p> <p>Orientadora: Maria das Graças Gardoni Almeida. Coorientadora: Jisela Aparecida Santanna Greco.</p> <p>Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.</p> <p>Anexos: f.106-162.</p> <p>Inclui bibliografia.</p> <p>1. Mecânica do solo -Teses.2. Geotecnia - Teses. I. Gardoni, Maria das Graças A. II. Greco, Jisela Aparecida Santanna, III, Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. VI. Título.</p> <p>CDU: 613.24(043)</p>
-------	---



FOLHA DE APROVAÇÃO

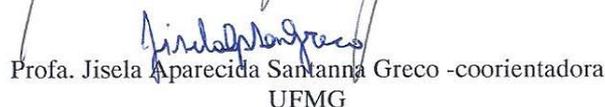
AVALIAÇÃO EM LABORATÓRIO DO COMPORTAMENTO DE CAMADAS ASFÁLTICAS REFORÇADAS COM GEOSSINTÉTICOS

LEONARDO LACERDA FONSECA

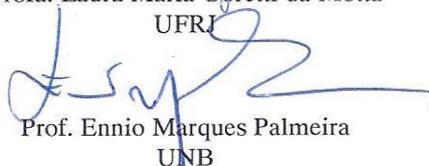
Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Mestrado em GEOTECNIA E TRANSPORTES, como requisito para obtenção do grau de Mestre em GEOTECNIA E TRANSPORTES, área de concentração GEOTECNIA.

Aprovada em 08 de julho de 2015, pela banca constituída pelos membros:


Prof. Maria das Graças Gardoni Almeida - Orientadora
UFMG


Prof. Jisela Aparecida Santanna Greco -coorientadora
UFMG


Prof. Laura Maria Goretti da Motta
UFRR


Prof. Ennio Marques Palmeira
UNB

Belo Horizonte, 8 de julho de 2015.

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo e todos, agradeço a Deus e Nossa Senhora por me concederem forças suficientes para vencer todas as provações neste período. Todas serviram para mostrar o quanto importante e desejado era a conclusão deste trabalho.

A minha amada esposa, Daniele, pela paciência nas minhas férias e finais de semana que foram passados dentro de laboratórios, por toda dedicação à minha melhora nas situações mais difíceis e por todo o incentivo.

A toda a minha família, especialmente meus pais, Filemo e Luiza, por terem me dado os princípios necessários à minha formação, e a minha querida irmã, Poliane, pelos incentivos e por compartilhar no mesmo período os mesmos sentimentos para conclusão do Mestrado.

Aos meus colegas do curso, ao amigo Tubal e principalmente os amigos de república: Wesley (Pinguim), que foi um exemplo de dedicação e vontade, Tiago, pelas várias horas de descontração, Wanderson (Dinho), um grande amigo e excelente cozinheiro e Gustavo, companheiro desde a época da UFV.

Aos colegas de laboratório da CONSOL, especialmente Expedito e Pedro, fundamentais para o trabalho e ao Marcus do laboratório de Geotecnia da UFMG. Mesmo que anterior a este momento, agradeço aos Professores, Técnicos e colegas do laboratório de Mecânica dos Solos da UFV.

Aos alunos do curso de Engenharia Civil da UFMG, Sérgio, Camila e Fernanda pelo grande auxílio nas preparações de materiais e nos ensaios.

Aos companheiros do setor de geotecnia e pavimentação da CONSOL, Jael, Fernando, Davidson (Rochinha) e Karen, pela ajuda e compreensão neste período. Ao engenheiro Antônio Fontana pelas considerações e apoio no meu projeto.

As professoras Gradoni e Jisela, pelas orientações, apoio, incentivo e paciência neste período. A professora Laura Motta e ao professor Ennio Palmeira que compuseram a minha banca examinadora, pelas considerações e ponderações realizadas.

Por toda a atenção e incrível presteza no atendimento, agradeço os profissionais da Petrobras, Rommel, Alexander e Carlos Eduardo Herrmann.

As empresas CONSOL Engenheiro Consultores, HUESKER, Bidim e Petrobras.

Todo homem deve estar pronto para ouvir, lento para falar e tardo para se irritar.

(Tiago 1:19)

RESUMO

O desempenho de uma estrutura de pavimento é função não só dos materiais que constituem as camadas, mas também da forma em que ocorre a interação entre estas. Espera-se que as camadas estruturais apresentem comportamento monolítico, implicando numa transferência de esforços de forma mais adequada. O pavimento é projetado e construído com objetivo de desempenhar suas funções num determinado período. Assim, existirá um momento de fim da vida útil e, então, serão necessárias intervenções para o restabelecimento das condições apropriadas. Nesta fase se encaixam entre outras, as técnicas de uso de materiais geossintéticos como elemento de reforço nas camadas de mistura asfáltica. Considerando a necessidade de restauração de pavimentos, esta pesquisa teve como objetivo a avaliação laboratorial do comportamento de sistemas de reforço com uso de uma geogrelha e um geotêxtil, sendo variadas as taxas de pintura de ligação e tipos de emulsões utilizadas, RR 1C e RR 2C. Outros estudos realizados destacam que a aderência entre o geossintético e as camadas asfálticas interferem significativamente no sucesso do sistema de reforço. Na pavimentação o serviço que confere a aderência entre as camadas é a pintura de ligação, que deve ser aplicada numa quantidade ideal para cada caso. Taxas de aplicações baixas podem resultar em perda de aderência e taxas superiores às ideais, podem promover a criação de um filme de resíduo de material betuminoso que pode gerar quedas na resistência ao cisalhamento. Isto posto, foram realizados ensaios de cisalhamento direto em sistemas sem e com geossintéticos. De posse dos resultados obtidos pôde-se concluir que a inclusão da geogrelha ou do geotêxtil reduz significativamente a resistência ao cisalhamento entre as camadas, no entanto, para o caso, existem condições adequadas entre quantidade e tipo de emulsão asfáltica aplicada na pintura de ligação que possibilitam o emprego dos sistemas de reforço de forma satisfatória. Os ensaios de cisalhamento direto avaliam isoladamente o comportamento de aderência entre as camadas e estas e os geossintéticos, porém, na realidade os esforços solicitantes geram solicitações diferentes a esta, de tal forma que, os sistemas devem ter seu desempenho mecânico também investigados. Os desempenhos dos sistemas foram avaliados quanto a resistência à tração na flexão, determinadas em vigas. Os resultados mostraram que o uso de geossintéticos aumenta a resistência à tração na flexão e que o comportamento é função do tipo de geossintético, da viscosidade da emulsão e da sua taxa de aplicação.

Palavras-chave: reforço com geossintéticos; aderência entre camadas asfálticas e geossintéticos; resistência à tração na flexão

ABSTRACT

The performance of a pavement structure is a function not only of the materials constituting the layers, but also the way in which interaction occurs between them. It is expected that the structural layer present monolithic behavior, resulting in best stress transfer. The pavement is designed and built in order to perform their duties in a given period, as well, there will be a moment that life will be won and will then be necessary interventions to restore the appropriate conditions, which fit techniques for using geosynthetic materials as a reinforcement element in the layers of asphalt mixture. Considering the need for pavement restoration, the work aimed to laboratory evaluation of behavior and reinforcement systems performance with use of a geogrid and geotextile, being varied the lead paint rates and types of used emulsions, RR IC and RR 2C. Other studies point out that the adhesion between the geosynthetic and the asphalt layers interfere significantly in the success of the reinforcement system. When paving the service that provides the adhesion between the layers is lead paint, which is applied an optimum amount for each case, considering that lower applications rates may result in loss of adhesion and rates higher than ideal, can promote creating a film residue bituminous material that can generate shear strength falls. That said, it was carried out direct shear tests on systems with and without geosynthetics. With the results obtained it was concluded that the inclusion of geotextile or geogrid significantly reduces the shear strength between the layers, however, in case there are appropriate conditions of quantity and type of asphalt emulsion applied in connection paint allow the use of satisfactorily reinforcement systems. The direct shear tests alone assess the adhesion behavior between the layers and these and geosynthetics, however, in reality the internal forces generate different requests to this, so that the systems should have their mechanical performance also investigated. The performances of the systems were evaluated for tensile strength in bending, certain beams. The results showed that the use of geosynthetic increases the tensile strength and the bending performance is a function of the type of geosynthetic material, the viscosity of the emulsion and its application rate.

Keywords: reinforcement with geosynthetics; adhesion between asphalt and geosynthetic layers; tensile strength in bending

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE TABELAS.....	XIII
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	XV
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 <i>Objetivo.....</i>	4
1.2 <i>Estrutura da dissertação.....</i>	5
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	7
2.1 <i>Síntese do comportamento de uma estrutura de pavimento flexível.....</i>	7
2.2 <i>Emulsões asfálticas e o serviço de pintura de ligação.....</i>	7
2.3 <i>Geossintéticos em pavimentação.....</i>	10
2.3.1 <i>Definição e os tipos utilizados em pavimentação.....</i>	10
a <u>Geotêxtil.....</u>	10
b <u>Geogrelha.....</u>	13
c <u>Geocomposto.....</u>	13
2.3.2 <i>As funções dos geossintéticos.....</i>	14
2.3.3 <i>Materiais que constituem os geossintéticos.....</i>	15
2.3.4 <i>Breve histórico de utilização de geossintéticos em pavimentação.....</i>	16
2.4 <i>Influências do uso de geossintético em sistemas de reforço de camadas de misturas asfálticas.....</i>	18
2.5 <i>Avaliação da aderência entre camadas de misturas asfálticas.....</i>	23
2.5.1 <i>Ensaio para a avaliação da aderência.....</i>	24
a <u>Ensaio de tração.....</u>	24
b <u>Ensaio de torque.....</u>	24
c <u>Ensaio de cisalhamento direto.....</u>	26
c.1 <i>Ensaio de cisalhamento direto com aplicação de força normal.....</i>	27
c.2 <i>Ensaio de cisalhamento direto sem aplicação de força normal.....</i>	28
d <u>Outros ensaios destrutivos.....</u>	29

2.6	<i>Estimativas de taxas de ligantes asfálticos para aplicação com uso de geotêxteis.....</i>	32
2.7	<i>Técnicas para avaliação do desempenho interação geossintético/misturas asfálticas.....</i>	33
2.7.1	<i>Ensaio de tração na flexão em vigas prismáticas.....</i>	33
2.8	<i>Softwares para análise de estruturas de pavimentos.....</i>	35
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	37
3.1	<i>Análise computacional.....</i>	37
3.2	<i>Materiais.....</i>	39
3.3	<i>Métodos.....</i>	41
3.3.1	<i>Ensaio de caracterização dos materiais pétreos e emulsões asfálticas.....</i>	41
3.3.2	<i>Dosagem e caracterização das misturas asfálticas.....</i>	41
3.3.3	<i>Preparação dos agregados para moldagem dos corpos de prova.....</i>	44
3.3.4	<i>Avaliação da aderência.....</i>	44
3.3.5	<i>Avaliação do comportamento mecânico de camadas de misturas asfálticas reforçadas com geossintéticos.....</i>	48
3.3.6	<i>Ensaio de retenção de resíduo da emulsão asfáltica.....</i>	51
3.3.7	<i>Microscopia dos geossintéticos impregnados.....</i>	52
3.3.8	<i>Determinação do tamanho das partículas das emulsões.....</i>	52
3.3.9	<i>Determinação da espessura do filme de resíduo de recobrimento.....</i>	53
a	<i><u>Determinação da espessura dos filmes sobre as amostras dos ensaios de retenção.....</u></i>	53
b	<i><u>Determinações sobre uma superfície padrão.....</u></i>	54
3.3.10	<i>Procedimentos elaborados para a pesquisa.....</i>	55
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	56
4.1	<i>Resultados da análise computacional.....</i>	56
4.2	<i>Caracterização dos materiais pétreos e dosagem da mistura asfáltica.....</i>	57
4.3	<i>Caracterização das emulsões asfálticas.....</i>	62
4.4	<i>Ensaio para avaliação da aderência.....</i>	62
4.5	<i>Ensaio de retenção de resíduo da emulsão asfáltica.....</i>	73
4.6	<i>Microscopia e tamanho das partículas da emulsão asfáltica</i>	76

<i>4.7</i>	<i>Espessura do filme de recobrimento de resíduo.....</i>	80
<i>4.8</i>	<i>Considerações sobre a aderência nos sistemas avaliados.....</i>	82
<i>4.9</i>	<i>Avaliação do comportamento nos ensaios de tração na flexão.....</i>	84
<i>4.10</i>	<i>Considerações finais.....</i>	95
5	CONCLUSÕES.....	98
<i>5.1</i>	<i>Sugestões para pesquisas futuras.....</i>	99
	REFERÊNCIAS.....	101
	ANEXO 1 – Procedimentos.....	106
	PROCEDIMENTO A – Ensaio de cisalhamento direto em corpos de prova de misturas asfálticas com ou sem o uso de geossintéticos.....	107
	PROCEDIMENTO B – Ensaio de mancha de areia modificado.....	112
	PROCEDIMENTO C – Ensaio de tração à flexão em vigas prismáticas de mistura asfáltica com ou sem o uso de geossintéticos.....	114
	PROCEDIMENTO D – Determinação das espessuras de recobrimento por resíduo asfáltico de emulsão asfálticas em geossintéticos.....	119
	PROCEDIMENTO E – Determinação das espessuras de recobrimento por resíduo asfáltico de emulsão asfálticas em superfície padrão.....	121
	ANEXO 2 – Fichas e certificados de ensaios.....	124

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Tipos de geossintéticos.....	11
Figura 2.2: Aplicações de geossintéticos em obras de pavimentação e rodoviárias.....	12
Figura 2.3: Estruturas de geotêxteis (GARDONI, 2010).....	13
Figura 2.4: Comportamento Tensão vs Deformação de diferentes polímeros (MACAFERRI, 2009).....	16
Figura 2.5 – Rodovia Ayrton Senna, aplicação do geotêxtil (GUIMARÃES, 2013).....	17
Figura 2.6 – Rodovia Ayrton Senna, aplicação da geogrelha (GUIMARÃES, 2013).....	17
Figura 2.7 – Restauração da rodovia MG-424 (CARMO, 2014).....	18
Figura 2.8 – Equipamento simulador de tráfego utilizado por Fritzen (2005).....	22
Figura 2.9 – Bloco extraído do trecho experimental onde pode ser observado o padrão de trincamento ocorrido (FRITZEN, 2005).....	22
Figura 2.10 – Imagem da caixa teste utilizada para os ensaios em verdadeira grandeza (BASTOS, 2010).....	22
Figura 2.11 – Esquema do ensaio de tração em laboratório (adaptado de DIN, 2003)....	25
Figura 2.12 – Ilustração do ensaio de tração em campo em placa de concreto (RAAB e PARTL, 1999 apud MUSLICH, 2009).....	25
Figura 2.13 – Equipamento para o ensaio de torque em laboratório (CHOI et al., 2005 apud MUSLICH, 2009).....	26
Figura 2.14 – Diagrama de resultados dos ensaios de cisalhamento (AL HAKIM, 1997 apud MUSLICH, 2009).....	26
Figura 2.15 – Dynamic Shear Box (CARR 2001, apud MUSLICH 2009).....	27
Figura 2.16 – Ensaio de cisalhamento direto de campo (RAAB e PARTL, 1999 apud MUSLICH, 2009).....	27
Figura 2.17 Cisalhamento Leutner de mistura asfáltica – Escola Politécnica da USP (GUIMARÃES, 2013).....	28
Figura 2.18: Equipamento de cisalhamento Leutner (CHOI et al, 2005, apud MUSLICH, 2009).....	28
Figura 2.19 – Ensaio de cisalhamento LCB de misturas asfálticas (MUSLICH, 2009)..	30
Figura 2.20 – Ensaio de cisalhamento de viga de concreto asfáltico de quatro pontos (de BONDT, 2009).....	30
Figura 2.21 – Ensaio de resistência à tração indireta (NISHIYAMA et al., 2005).....	31
Figura 2.22 – Resumos dos ensaios de cisalhamento (adaptado de MUSLICH, 2009)...	31

Figura 2.23: Arranjo do ensaio de resistência à tração na flexão estática em misturas asfálticas (OBANDO, 2012).....	33
Figura 2.24: Ensaio de tração na flexão de concreto de cimento Portland (ABNT, 2010).....	34
Figura 2.25 – Interface do software WESLEA.....	35
Figura 2.26 – Interface do software AEMC (FRANCO, 2007).....	36
Figura 3.1 – Imagem da geogrelha utilizada nesta pesquisa (www.huesker.com.br, 2015).....	39
Figura 3.2 – Organograma do planejamento experimental desta pesquisa.....	42
Figura 3.3 - Esquema do molde de cisalhamento Leutner.....	45
Figura 3.4 – Aparato utilizado nos ensaios de cisalhamento Leutner.....	46
Figura 3.5 – Disposição da malha alcançada pelo padrão de corte adotado.....	47
Figura 3.6 – Aparato utilizado para os ensaios de tração na flexão.....	49
Figura 3.7 – Ilustração esquemática do aparato para o ensaio de tração na flexão.....	50
Figura 3.8 – Esquema de posicionamento das cargas para a compactação dos CPs prismáticos.....	50
Figura 3.9 – Equipamento utilizado para determinação de espessuras (SANTOS, 2014).....	53
Figura 4.1 – Curva granulométrica adotada para a mistura asfáltica desta pesquisa.....	58
Figura 4.2 – Curva temperatura x viscosidade obtida para o material CAP 50/70.....	59
Figura 4.3 – Curvas da dosagem Marshall do concreto asfáltico desta pesquisa.....	61
Figura 4.4 – Corpos de prova de mistura asfáltica em banho maria para preparação para ensaio de estabilidade.....	60
Figura 4.5 – Equipamento preparado com o corpo de prova dentro do molde para determinação estabilidade e fluência nesta pesquisa.....	60
Figura 4.6 – Corpos de prova para os ensaios de cisalhamento.....	64
Figura 4.7 – Resultados dos ensaios de cisalhamento sem pintura de ligação nesta pesquisa.....	65
Figura 4.8 – Resultados dos ensaios de cisalhamento com uso da emulsão RR 1C na pesquisa.....	65
Figura 4.9 – Resultados dos ensaios de cisalhamento com uso da emulsão RR 2C nesta pesquisa.....	66

Figura 4.10 – Resultados dos ensaios de cisalhamento com uso da emulsão RR 2C diluída nesta pesquisa.....	67
Figura 4.11 – Resultados dos ensaios de cisalhamento para o sistema sem uso de geossintéticos.....	68
Figura 4.12 – Resultados dos ensaios de cisalhamento para o sistema com uso de geogrelha nesta pesquisa.....	68
Figura 4.13 – Resultados dos ensaios de cisalhamento para o sistema com uso de geotêxtil nesta pesquisa.....	69
Figura 4.14 – Taxas médias de retenção de resíduo asfáltico nos geossintéticos desta pesquisa.....	74
Figura 4.15 – Imagens das amostras de geotêxtil após os ensaios de retenção (tamanho da amostra: 10cm x 20cm).....	75
Figura 4.16 – Imagens das amostras de geogrelha após os ensaios de retenção (tamanho da amostra: 10cm x 20cm).....	75
Figura 4.17 – Imagens das amostras de geotêxtil utilizadas nos ensaios de retenção.....	77
Figura 4.18 – Imagens do local do “rasgo” promovido nas amostras de geotêxtil utilizadas nos ensaios de retenção.....	78
Figura 4.19 – Imagens das amostras de geogrelha utilizadas nos ensaios de retenção...	78
Figura 4.20 – Imagens das CPs utilizadas nos ensaios de cisalhamento.....	79
Figura 4.21 – Curvas de frequência acumulada dos tamanhos das partículas das emulsões.....	80
Figura 4.22 – Corpos de prova que romperam na mistura (GUIMARÃES, 2013).....	82
Figura 4.23 – Corpos de prova rompidos nos ensaios de cisalhamento.....	83
Figura 4.24 – Geotêxtil com impregnação de material betuminoso por penetração invertida em corpo de prova utilizado nesta pesquisa.....	84
Figura 4.25 – Geotêxtil aplicado na pista, já com segundo banho de emulsão aplicado com uso de caneta (GUIMARÃES, 2013).....	84
Figura 4.26 – Imagem de um dos corpos de prova utilizados no ensaio de flexão nesta pesquisa.....	85
Figura 4.27 – Exemplo do resultado do ensaio de tração na flexão (corpo de prova com uso de emulsão RR 1C, taxa de resíduo igual a 1,45 l/m ² e geotêxtil).....	86
Figura 4.28 – Resultados dos ensaios de flexão com uso da emulsão RR 1C desta pesquisa.....	86

Figura 4.29 – Resultados dos ensaios de flexão com uso da emulsão RR 2C diluída desta pesquisa.....	87
Figura 4.30 – Resultados de resistência a tração na flexão dos sistemas com pintura de ligação desta pesquisa.....	88
Figura 4.31 – Imagens do ensaio de tração na flexão no sistema sem geossintético: (a) início de formação da trinca; (b) momento intermediário do ensaio e (c) final de ensaio, desligamento da prensa.....	92
Figura 4.32 – Imagens do ensaio de tração na flexão no sistema com geogrelha: (a) início de formação da trinca; (b) momento intermediário do ensaio e (c) final de ensaio, desligamento da prensa.....	93
Figura 4.33 – Imagens do ensaio de tração na flexão no sistema geotêxtil: (a) início de formação da trinca; (b) momento intermediário do ensaio e (c) final de ensaio, desligamento da prensa.....	94
Figura A.1 – Molde bipartido para confecção dos corpos de prova.....	110
Figura A.2 – Aparato de cisalhamento do corpo de prova.....	111
Figura B.1 – Imagem da execução do ensaio modificado de mancha de areia.....	113
Figura C.3 – Ilustração esquemática do aparato para o ensaio de tração na flexão.....	117
Figura C.1 - Molde de paredes rígidas, desmontável, metálico para moldagem dos corpos de prova.....	118
Figura C.2 - Aparato para acomodação do corpo de prova.....	118
Figura D.1 – Equipamento utilizado para determinação de espessuras (SANTOS, 2013).....	120
Figura E.1 – localização dos pontos de leituras na superfície.....	123
Figura E.2 – Esquema de representação do conjunto recipiente + placa rígida + filme de resíduo.....	123

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Características de emulsões tipo RR para pavimentação (DNIT, 2013)...	9
Tabela 2.2: Vantagens e desvantagens dos polímeros em geossintéticos (MACAFERRI, 2009).....	15
Tabela 2.3: Principais polímeros utilizados na fabricação dos geossintéticos (VERTEMATTI, 2004).....	16
Tabela 2.4 - Valores das taxas de correção, Q_c (BUTTON et al., 1982).....	32
Tabela 3.1 – Modelos de módulo de resiliência para solos e modelos de vida de fadiga para as misturas asfálticas.....	38
Tabela 3.2 – Distribuição granulométrica da faixa “C” DNIT 031/2006 ES.....	39
Tabela 3.3 – Propriedades e características do geogrelha (HUESKER, 2015).....	40
Tabela 3.4 – Propriedades e características do geotêxtil (BIDM, 2015).....	40
Tabela 3.5 - Ensaio de caracterização dos agregados feitos nesta pesquisa.....	41
Tabela 3.6 – Condições de realização dos ensaios de retenção.....	52
Tabela 4.1 – Resultados das análises da estrutura de pavimento.....	56
Tabela 4.2 - Resultados de abrasão “Los Angeles” e densidades dos agregados.....	57
Tabela 4.3 - Granulometria dos agregados e da mistura composta.....	58
Tabela 4.4 - Temperaturas de mistura e compactação.....	59
Tabela 4.5 - Resultados da dosagem Marshall.....	60
Tabela 4.6 – Resultados dos ensaios sobre as emulsões asfálticas utilizadas nesta pesquisa.....	62
Tabela 4.7 - Graus de compactação dos corpos de prova para os ensaios de cisalhamento desta pesquisa.....	62
Tabela 4.8 - Resultados dos ensaios modificados de mancha de areia nas faces dos corpos de prova desta pesquisa.....	63
Tabela 4.9 - Ralações entre máximas tensões resistidas e taxas aplicadas nesta pesquisa.....	70
Tabela 4.10 - Redução aproximada dos valores de resistência com a inclusão do geossintético nesta pesquisa.....	71
Tabela 4.11 - Módulos de reação na interface (k): sem emulsão e com emulsão RR 1C nesta pesquisa.....	71
Tabela 4.12 - Módulos de reação na interface (k): sem emulsão e com emulsão RR 2C nesta pesquisa.....	72

Tabela 4.13 - Módulos de reação na interface (k): sem emulsão e com emulsão RR 2C diluída em água (razão 1:1) nesta pesquisa.....	72
Tabela 4.14 – Resumo dos valores de k nesta pesquisa.....	72
Tabela 4.15 - Resultados dos ensaios de retenção para o geotêxtil utilizado nesta pesquisa.....	73
Tabela 4.16 - Resultados dos ensaios de retenção para o geogrelha utilizada nesta pesquisa.....	74
Tabela 4.17 - Taxas de resíduo de projeto conforme proposto por Button et al (1982)...	76
Tabela 4.18 - Espessuras do filme de resíduo nas amostras do ensaio de retenção desta pesquisa.....	80
Tabela 4.19 - Espessuras do filme de resíduo sobre a superfície padrão nesta pesquisa.....	81
Tabela 4.20 - Dados das moldagens dos corpos de prova (vigas).....	85
Tabela 4.21 - Resumo dos resultados dos ensaios em vigas s/ geossintético nesta pesquisa.....	89
Tabela 4.22 - Resumo dos resultados dos ensaios em vigas c/ geogrelha nesta pesquisa.....	89
Tabela 4.23 - Resumo dos resultados dos ensaios em vigas c/ geotêxtil nesta pesquisa.....	90

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

A	Área de contato
ABEDA	Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEMC	Programa de análise elástica de múltiplas camadas
ASTM	American Society for Testing and Materials
b	Largura média do corpo de prova
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CNT	Confederação Nacional dos Transportes
CP	Corpo de Prova
CPA	Camada Porosa de Atrito
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EAI	Emulsão Asfáltica para serviços de Imprimação
$E_{inicial}$	Espessura inicial
E_{final}	Espessura final
E_{filme}	Espessura do filme de resíduo
ELSYM	Elastic Layered System
ES	Especificação de Serviço
EPS	Poliestireno Expandido
F	Força cortante
f_{ctm}	Resistência à tração na flexão
FEF	Fator de Eficiência do Geossintético
GC	Grau de Compactação
$GC_{médio}$	Grau de Compactação médio
h	Altura média do corpo de prova
H_{areia}	Altura da mancha de areia
k	Módulo de reação da interface
l	Distância entre cutelos de suporte
LA	Lama Asfáltica
LAN	Lama Asfáltica Neutra
LARC	Lama Asfáltica Ruptura Controlada
LCB	Laboratório de Caminos de Barcelona

p	Carga máxima aplicada
ME	Método de ensaio
$M_{emulsão}$	Massa de emulsão
MG	Minas Gerais
M_i	Massa inicial
M_f	Massa final
N	Força normal
NBR	Norma Brasileira
N_r	Número de aplicações de carga no pavimento reforçado
N_s	Número de aplicações de carga no pavimento sem reforço
Pa.s	Pascal segundo
PA	Poliamida
PE	Polietileno
PET	Poliéster
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PVC	Polivinil Clorado
Q_c	Correção relativa a condição da superfície da camada do pavimento
Q_s	Taxa de saturação do geotêxtil
Q_D	Quantidade de ligante residual de projeto
RBV	Relação Betume / Vazios
RC	Ruptura Controlada
RL	Ruptura Lenta
RM	Ruptura Média
RR	Ruptura Rápida
s	Desvio-padrão
SMA	Stone Matrix Asphalt
SNV	Sistema Nacional de Viação
USP	Universidade de São Paulo
WESLEA	Waterways Engineering Station Elastic Layer Analysis Pavement Suite
ΔU	Deslocamento relativo
γ_{areia}	Densidade no estado solto de areia lavada seca

1 INTRODUÇÃO

As estruturas de pavimentos são compostas por múltiplas camadas de espessuras finitas, que interagem entre si, constituídas por materiais de naturezas e comportamentos diversos, destinados a resistir aos esforços provenientes do tráfego e das intempéries, além de proporcionar aos usuários conforto, segurança e economia.

As ações do tráfego e do clima provocam na estrutura do pavimento efeitos de degradação, que irão resultar na queda da qualidade do desempenho oferecido. Assim, intervenções de reabilitação ou restauração devem ser promovidas a cada final de ciclo de vida útil da estrutura. Dentre os diversos tipos de combinações de soluções, é crescente o número daquelas que utilizam elementos geossintéticos. Ressalta-se que, na construção de novas estruturas de pavimentos o uso de geossintéticos também pode ser viável, podendo estes serem instalados como reforço das camadas de subleito, base e revestimento.

Na pavimentação, as tecnologias recentes e consagradas como asfaltos modificados, misturas de alto desempenho, misturas não convencionais como SMA (Stone Matrix Asphalt) e CPA (Camada Porosa de Atrito) e reciclagens, a quente e a frio, inicialmente sofreram com as barreiras impostas quanto às soluções não rotineiras no Brasil.

Técnicas alternativas só conseguem ser disseminadas quando são muito bem embasadas e seus riscos exaustivamente avaliados. Para isto, as investigações sistemáticas de laboratório devem ser o ponto de partida do projeto, procedidas numa segunda etapa, de aplicações em campo, de modo a minimizar os riscos de insucesso, possibilitando a criação de metodologias adequadas.

A informação do Sistema Nacional de Viação – SNV é de que em dezembro de 2014 existiam 1.720.613,9 km de rodovia. Destes, 12,4% são pavimentadas, 9% são planejadas e 78,6% são rodovias não pavimentadas, considerando que em obras de pavimentação são 15.867,1 km (DNIT, 2014).

A Confederação Nacional dos Transportes – CNT (2014) aponta que, segundo o índice de competitividade global do Fórum Econômico Mundial, quanto à qualidade das rodovias, no ano de 2014, o Brasil encontrava-se na 122ª posição dentre 144 países analisados, atrás de países como Chile (31ª), Suriname (70ª), Uruguai (90ª), Bolívia (95ª), Peru (102ª) e Argentina (110ª), todos situados na América do Sul. A posição do país pode ser melhor entendida quando avaliada a distribuição percentual relacionada à extensão de rodovia num determinado estado de condição do pavimento: 42,4% estão num estado de ótima condição; 7,7% bom, 36,7% regular,

9,8% ruim e 3,4% num estado de péssima condição. Os defeitos mais evidenciados nas rodovias brasileiras pela pesquisa CNT são desgaste, trinca e remendo. Assim, cabe destacar que as soluções de reabilitação e ou restauração com uso de geossintéticos para estes defeitos são consideradas algumas das mais adequadas.

As soluções tradicionais para implantação e restauração de pavimentos necessitam de grandes quantidades de recursos minerais naturais, dentre os quais, os materiais pétreos, que por vezes são os mais onerosos ao empreendimento. Isto posto, quaisquer que sejam as medidas que objetivam reduzir o consumo de recursos naturais elas devem ser vislumbradas como soluções de grande potencial. Assim, com a utilização adequada dos geossintéticos, cabe aqui destacar a possibilidade de redução de espessuras de camadas da estrutura do pavimento e, também, para alguns casos, tornar viável o aproveitamento da estrutura existente reduzindo, conseqüentemente, a necessidade de demolições e bota-foras.

Segundo a NBR 12553 (ABNT, 2003), geossintético é a denominação genérica de produtos poliméricos sintéticos ou naturais, industrializados, desenvolvidos para utilização em obras geotécnicas, onde desempenham uma ou mais funções.

Nos serviços de pavimentação, os geossintéticos mais utilizados são os geotêxteis, as geogrelhas e as telas metálicas. Cabe ressaltar os registros recentes sobre a utilização de geocélulas em camadas de base de pavimento.

Em síntese, as funções exercidas pelos geossintéticos nas obras rodoviárias são:

- Sistema anti-reflexão de trincas;
- Redução de deformações plásticas;
- Sistema de bloqueio de bombeamento de material fino;
- Drenagem e filtração.

O dimensionamento e análise de uma estrutura de pavimento podem se basear na teoria elástico-linear de Boussinesq e Burmister, entre outras, onde são assumidas as seguintes hipóteses: i) todas as camadas são homogêneas, isotrópicas e possuem comportamento elástico linear ao longo da sua espessura; ii) o carregamento é uniforme e distribuído sobre carga circular; iii) existe perfeita aderência entre as camadas garantindo que o sistema funcionará monoliticamente.

Conforme exposto por Montestruque (2002), os materiais geossintéticos são aplicados na camada de revestimento asfáltico com a função de reduzir as tensões geradas nas camadas superiores e controlar o fenômeno de reflexão de trincas. Porém, relatos de problemas de escorregamentos e, portanto, não aderência entre as camadas, neste tipo de solução são frequentes. O geossintético na interface pode configurar um ponto de fragilidade, porque as fibras que constituem o material sintético impedem o contato pleno entre as camadas (RAAB e PARTL, 2004). A presença desses materiais pode também influenciar no valor da taxa ótima de pintura de ligação em comparação com o sistema feito somente com a pintura de ligação.

A aderência inadequada entre as camadas do revestimento contrapõe a hipótese de estrutura com comportamento monolítico da teoria de Boussinesq e Burmister. Isto reflete no surgimento ou elevação das tensões de tração nas fibras inferiores das camadas asfálticas, podendo vencer o patamar de resistência do concreto asfáltico.

Assim, as taxas de ligantes utilizadas para promover a aderência entre o geossintético e as camadas asfálticas e os fatores que influenciam nesta devem ser avaliadas e definidas caso a caso, mitigando as possibilidades de ocorrência de problemas de ligação inadequada e as suas consequências danosas

No presente trabalho foi estudada a condição da aderência entre camadas de mistura asfáltica densas e estas com dois geossintéticos: um geotêxtil e uma geogrelha específica para o uso em sistemas de reforço. A pesquisa foi desenvolvida em laboratório e englobou ensaios de cisalhamento direto e de tração à flexão em vigas prismáticas de grandes dimensões. Sobre o comportamento e desempenho dos sistemas de reforços, foram avaliadas as interferências do tipo de emulsão asfáltica (tipos RR 1C e RR 2C), das taxas de aplicações destes ligantes e da direção e forma de carregamento dos esforços solicitantes.

Na realização dos ensaios foram utilizados corpos de prova de grandes dimensões, para os testes de avaliação de aderência, amostras cilíndricas com 8cm de altura e 15cm de diâmetros e para os ensaios de flexão, corpos de prova com 45cm de comprimento, 10cm de altura e 15cm de largura.

Com relação aos ensaios de aderência, de posse dos resultados pôde ser verificada que a inclusão dos geossintéticos reduz a resistência de aderência entre as camadas. Entretanto, esta redução pode ser revertida com a utilização de valores de taxas e tipos de emulsão asfáltica

adequados. Para os conjuntos ensaiados, a emulsão menos viscosa conferiu condições melhores de aderência entre as camadas.

Sobre os resultados de tração à flexão, as tendências dos comportamentos verificados foram diferentes das observadas nos ensaios de cisalhamento. A emulsão asfáltica do tipo RR 2C, mais viscosa, promoveu uma condição mais eficaz de união entre as camadas.

Além destas conclusões em termos de resistência, outras puderam ser feitas, dentre as quais se destacam as que consideram aspectos como as diferentes formas de rupturas, forma de recobrimento dos materiais pelo resíduo de material betuminoso das emulsões asfálticas, taxas de retenção, comportamento em termos de aderência com uso de amostras envelhecidas e aspectos dos geossintéticos após ruptura.

1.1 Objetivo

Este trabalho tem como objetivo geral a avaliação laboratorial do comportamento mecânico de um sistema de camadas de mistura asfáltica sobrepostas, sem e com reforço de elementos geossintéticos, com variações de taxas e tipos de ligantes asfálticos utilizados na pintura de ligação.

Dentre os objetivos específicos destacam-se:

- Construir um aparato de cisalhamento Leutner e efetuar os ensaios de verificação da condição de aderência entre misturas asfálticas e entre estas misturas e os geossintéticos (geotêxtil e geogrelha);
- Avaliar o comportamento mecânico de misturas asfálticas sem e com reforço de geossintéticos por meio ensaios de tração na flexão sob carregamento estático;
- Definir a taxa ótima de emulsão betuminosa para aplicação entre as camadas de misturas asfálticas e entre estas camadas e os geossintéticos;
- Avaliar a influência do tipo de emulsão asfáltica na condição de aderência entre misturas asfálticas e entre estas camadas e os geossintéticos;
- Avaliar a influência do tipo de emulsão asfáltica no comportamento de sistemas de reforço de camadas asfálticas com geossintéticos;

- Avaliar as respostas dos sistemas de misturas asfálticas com e sem reforço sob diferentes tipos de carregamentos em relação à direção de aplicação da força e a interface entre as camadas;
- Avaliar a influência da condição de aderência entre camadas asfálticas numa estrutura de pavimento típica por meio de software computacional para análises de tensões e deformações.

1.2 Estrutura da dissertação

Além deste capítulo introdutório, outros quatro capítulos compõem este trabalho. Na sequência, com propósito de facilitar o entendimento e compreensão do trabalho, são comentadas de forma sucinta as partes integrantes.

No capítulo 1, introdução, são apresentados alguns dos pontos que justificam a pesquisa, como o cenário do estado de conservação da malha rodoviária nacional, ressalva de aspectos ambientais, forma como são dimensionadas as estruturas de pavimento e fatores que se relacionam com os casos de insucesso quando da aplicação de materiais geossintéticos em obras de restauração ou reabilitação de pavimentos. Além disso, são listados os objetivos geral e específicos.

Para subsidiar a metodologia proposta para o alcance dos objetivos, no capítulo 2 é apresentada a revisão de literatura, onde são comentados: forma de comportamento de uma estrutura de pavimento, os tipos de emulsões asfálticas e o serviço de pintura de ligação, os tipos de geossintéticos relacionados às aplicações em rodovias e suas funções, casos de utilização de geossintéticos como reforço de pavimentos, as possibilidades de modos para a avaliação da aderência entre geossintéticos e misturas asfálticas e suas interferências no comportamento e desempenho da estrutura.

No capítulo 3 são apresentadas as quatro fases que constituem a metodologia proposta. Na fase inicial foram verificadas as respostas de uma estrutura de pavimento quando da variação da aderência através de um software. A segunda fase tratou das caracterizações dos materiais e dosagens dos teores e porcentagens empregadas na pesquisa. A terceira, foi a avaliação da aderência entre as camadas de mistura asfáltica e estas com dois tipos de geossintéticos, uma

geogrelha e um geotêxtil. Por fim, numa quarta fase, avaliações do comportamento dos sistemas investigados no trabalho. Em seguida são descritas cada uma das fases da metodologia.

O capítulo 4 expõe e comenta os resultados obtidos, onde são apresentadas; a análise computacional realizada com as estimativas de vida de fadiga, os resultados dos ensaios de caracterização dos materiais, dosagens da mistura asfálticas, ensaios de cisalhamento direto e de tração à flexão em vigas prismáticas. Além disso, também se comentam as investigações procedidas sobre as emulsões e respectivos filmes de recobrimento dos materiais, utilizando análises de microscopia, espessuras de recobrimento e tamanho das partículas do ligante asfáltico.

O capítulo 5 trata das considerações finais sobre todos os resultados, onde são realizadas todas as conclusões alcançadas e listadas sugestões de continuação da pesquisa em trabalhos complementares e futuros.

Por fim, nos Anexos 1 e 2, são devidamente apresentados os procedimentos definidos e obedecidos no trabalho com vistas a facilitar a reprodução de parte da metodologia em outras pesquisas e as fichas e certificados de ensaios.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Síntese do comportamento de uma estrutura de pavimento flexível

A avaliação de uma estrutura de pavimento, nova ou existente, é procedida pela Mecânica dos Pavimentos. Esta, nada mais é do que a aplicação da Mecânica do Contínuo, da Mecânica dos Solos e da Mecânica da Fratura na interpretação de sistemas estratificados. Boussinesq foi um dos primeiros pesquisadores que formulou equações para o cálculo de tensões e deformações em um meio semi-infinito, elástico linear, homogêneo e isotrópico, solicitado por uma carga pontual (PINTO e PREUSSLER, 2010).

A estrutura de um pavimento flexível pode funcionar de forma monolítica, ou seja, as camadas estão ligadas entre si permitindo que o sistema interaja e responda aos esforços solicitantes de forma conjunta. Assim, se uma camada apresenta menor resistência que a outra, ela se deforma, porém, como está unida a outra mais resistente, esta última deverá contribuir para suportar uma parcela maior dos esforços. Com a aderência, as camadas passam a ter um comportamento de material monolítico fazendo com que os esforços, aos quais o revestimento sozinho sucumbiria, passem a ser assimilados pelas camadas subjacentes (ABEDA, 2001).

2.2 Emulsões asfálticas e o serviço de pintura de ligação

A viscosidade do cimento asfáltico de petróleo deve estar em torno de 0,2 Pa.s para que ocorra uma cobertura adequada do agregado. Esta condição somente será alcançada caso o material betuminoso seja aquecido a temperaturas específicas para cada tipo de ligante. A fim de evitar o aquecimento do CAP e obter viscosidades de trabalho nos serviços de pavimentação, é possível promover alterações no ligante utilizando-se de dois processos: Asfaltos Diluídos (diluição do material betuminoso base com uso de solventes) ou Emulsões Asfálticas (emulsão do asfalto) (BERNUCCI et al., 2010).

O DNIT define o material “emulsão asfáltica” como um sistema constituído pela dispersão de uma fase asfáltica em uma fase aquosa, ou então de uma fase aquosa dispersa em uma fase asfáltica (DNIT, 2013). Considerando que um dos elementos componentes, o cimento asfáltico, assume a forma de pequenas partículas, considera-se que a emulsão é formada por dois líquidos não miscíveis.

Considerando a grande diferença entre a viscosidade dos dois principais componentes da emulsão é necessário a utilização de um produto auxiliar para manter a emulsão estável durante certo tempo. Ainda, o cimento asfáltico necessita de preparo através da aplicação de energia térmica e mecânica, promovendo o seu cisalhamento e a possibilidade de formação de pequenas partículas ou glóbulos (ABEDA, 2001).

O produto auxiliar utilizado na fabricação da emulsão é denominado agente emulsionante ou emulsificante. Este é capaz de reduzir a tensão superficial, de tal modo que o cimento asfáltico em forma de glóbulos possa permanecer em suspensão na água por algum tempo, evitando a aproximação entre as partículas asfálticas e sua conseqüente união (BERNUCCI et al., 2010).

Os agentes emulsificantes conferem cargas elétricas, positivas ou negativas e, em alguns casos não conferem ionicidade às emulsões, classificando os materiais em catiônicas, aniônicas e não iônicas, respectivamente. Além dos emulsificantes, outros aditivos podem ser incorporados durante o processo de fabricação e/ou aplicação das emulsões para atender fins específicos. (ABEDA, 2001).

A separação da fase água da fase asfalto é conhecida como ruptura da emulsão. O tempo necessário para que ocorra essa separação confere às emulsões características que determinam algumas das suas possibilidades de aplicação no campo, servindo, também para sua classificação quanto à velocidade de ruptura (ABEDA, 2001).

Reconhecidas mundialmente pelo seu melhor desempenho no que se refere a sua compatibilidade com a maioria dos agregados minerais, as emulsões asfálticas para pavimentação empregadas no Brasil são, predominantemente, do tipo catiônicas (ABEDA, 2001).

Conforme exposto na norma DNIT 165/2013 – EM as emulsões asfálticas são assim classificadas:

- RR, RM, RC e RL: ruptura rápida, ruptura média, ruptura controlada e ruptura lenta, respectivamente;
- EAI: emulsão asfáltica para os serviços de imprimação;
- LA e LAN: emulsões asfálticas de ruptura lenta catiônica e de carga neutra, respectivamente, para uso no serviço de lama asfáltica;

- LARC: emulsão asfáltica catiônica de ruptura controlada, para o serviço de lama asfáltica.

Considerando o conteúdo do presente trabalho e do maior número de aplicação, na Tabela 2.1 são apresentadas as características exigidas pela norma DNIT 165/2013 – EM para emulsões do tipo RR (ruptura rápida).

Tabela 2.1 - Características de emulsões tipo RR para pavimentação (DNIT, 2013).

Característica	Unidade	Emulsão	
		RR 1C	RR 2C
Ensaio para a emulsão:			
Viscosidade Saybolt-Furol a 25°C, máx.	s	90	-
Viscosidade Saybolt-Furol a 50°C.	s	-	100 a 400
Sedimentação, máx.	% m/m	5	5
Peneiração (0,84mm), máx.	% m/m	0,1	0,1
Resistência à água (cobertura), mín.	%	80	80
Carga da partícula	-	positiva	positiva
Destilação			
Resíduo seco, mín.	% m/m	62	67
Desemulsibilidade			
Mín.	% m/m	50	50
Ensaio para o resíduo da emulsão obtido pela norma NBR 14896:2012:			
Penetração a 25°C (100g e 5s)	mm	4,0 a 15,0	4,0 a 15,0
Teor de betume, mín.	%	97	97
Ductilidades a 25°C, mín.	cm	40	40

Um dos serviços de pavimentação que utiliza a emulsão asfáltica é a pintura de ligação, que é especificado pela norma DNIT 145/2012 – ES. Segundo esta norma, o objetivo do serviço é promover a aderência entre a base e o revestimento asfáltico, ou entre camadas asfálticas. O ligante asfáltico recomendado por norma é a emulsão do tipo RR-1C que, para a aplicação poderá ser diluída em água numa razão 1:1. A taxa de aplicação recomendada é aquela em que o asfalto residual resulte em 0,3 a 0,4 l/m² (DNIT, 2012).

Segundo ABEDA (2001), para o serviço de pintura de ligação as emulsões de ruptura rápida (RR) devem ser as preferencialmente usadas, seguida das emulsões de ruptura média (RM). Quanto à viscosidade, deve-se avaliar inicialmente o uso de emulsões menos viscosas, do tipo 1C, porém, o serviço pode ser executado com as mais viscosas (tipo 2C).

A viscosidade é uma medida da consistência do material betuminoso, por resistência ao escoamento (BERNUCCI et al., 2010). Nas emulsões asfálticas a viscosidade determina a trabalhabilidade e é função, por exemplo, do cimento asfáltico de petróleo base da fabricação, da quantidade deste, do agente emulsificante e do tamanho dos glóbulos.

Alguns órgãos rodoviários brasileiros e prefeituras, tais como, DER/SP, DER/PR, Prefeitura de Recife, em suas especificações de serviço de execução de concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) dispensam a aplicação da pintura de ligação no caso de revestimentos recém executados. Um exemplo deste caso é quando se faz necessário a construção do revestimento total em camadas, feitas em sequência imediata (DER/SP, 2005; DER/PR, 2005; Prefeitura de Recife, 2003).

2.3 Geossintéticos em pavimentação

2.3.1 Definição e tipos utilizados em pavimentação

Segundo a NBR 12553 (ABNT, 2003), geossintético é a denominação genérica de produtos poliméricos sintéticos ou naturais, industrializados, desenvolvidos para utilização em obras geotécnicas, que desempenham uma ou mais funções. Os tipos de geossintéticos são vários, mas para aplicação em obras de pavimentação são utilizados: geotêxtil, geogrelhas, geocompostos, películas plásticas empregadas em pavimentos rígidos, geocélulas e geotubos. Nas Figuras 2.1 e 2.2 são mostradas ilustrações dos tipos de geossintéticos e de suas aplicações em pavimentação, respectivamente.

Considerando o propósito deste trabalho, nos tópicos seguintes serão definidos os geotêxteis, as geogrelhas e o geocompostos sendo estes dois últimos apropriados para uso na camada de revestimento betuminoso de estruturas de pavimento.

a Geotêxtil

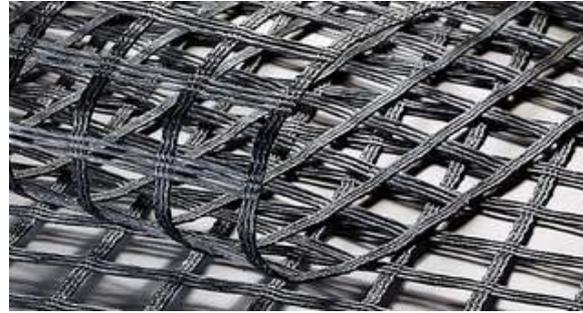
A definição da norma NBR 12553 para geotêxtil, é de um produto têxtil, permeável, que pode desempenhar diversas funções em obras geotécnicas em virtude de suas propriedades mecânicas e hidráulicas (ABNT, 2003).

Em função do processo de fabricação e da sua composição os geotêxteis são subdivididos em tecidos e não-tecidos. Os tecidos são produtos obtidos do entrelaçamento de fios, filamentos, laminetes ou outros componentes, segundo direções preferenciais. Os não tecidos são produtos compostos por fibras cortadas ou filamentos contínuos, que são distribuídos aleatoriamente na estrutura e, que podem ser interligados por processos mecânicos térmicos ou químicos (ABNT,

2003). Na Figura 2.3 são mostradas imagens da estrutura dos geotêxteis, em fios, filamentos e laminetes.



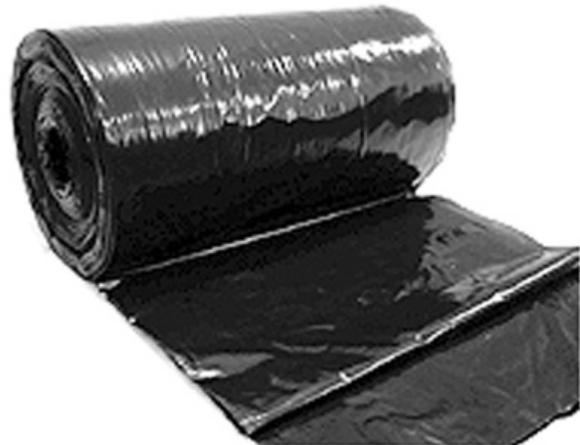
(a) geotêxtil (www.bidim.com.br, 2015)



(b) geogrelha (www.huesker.com.br, 2015)



(c) geocomposto (www.huesker.com.br, 2015)



(d) película plástica (www.plaston.com.br, 2015)



(e) geocélula (www.geofoco.com.br, 2015)



(f) geotubos (www.kanaflex.com.br, 2015)

Figura 2.1: Tipos de geossintéticos.



(a) geotêxtil (www.bidim.com.br, 2015)



(b) geogrelha (www.huesker.com.br, 2015)



(c) geocomposto (www.huesker.com.br, 2015)



(d) película plástica (www.plaston.com.br, 2015)

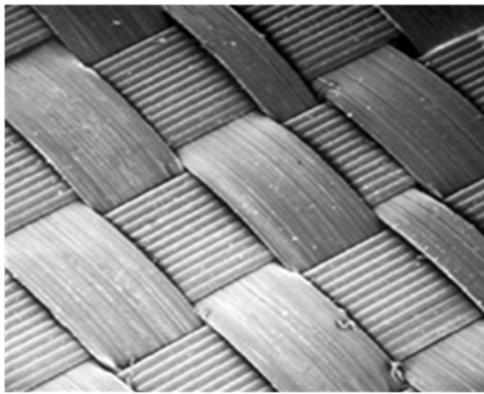


(e) geocélula ([www,geofoco.com.br](http://www.geofoco.com.br), 2015)

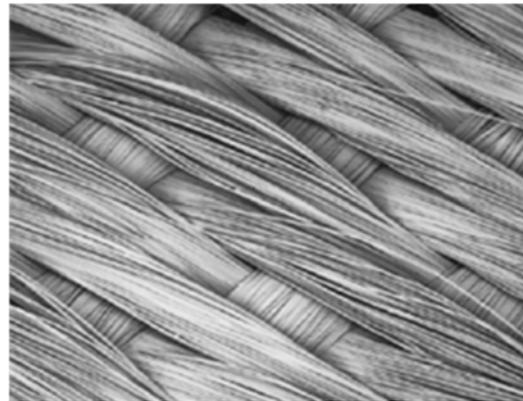


(f) geotubos (www.kanaflex.com.br, 2015)

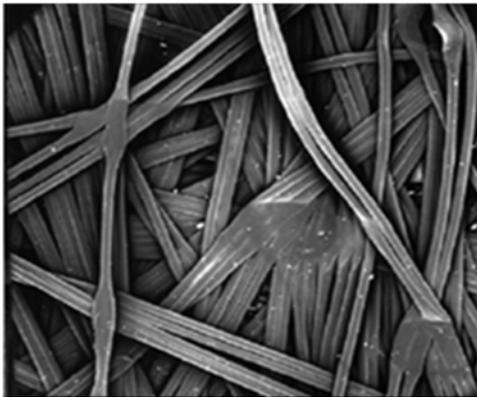
Figura 2.2: Aplicações de geossintéticos em obras de pavimentação e rodoviárias.



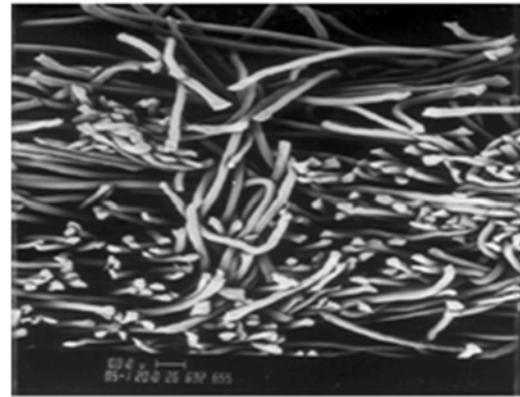
(a) laminete



(b) fios



(c) monofilamento



(d) não tecido

Figura 2.3: Estruturas de geotêxteis (GARDONI, 2010)

b Geogrelha

Geogrelhas são geossintéticos em forma de grelha que exerce predominantemente a função de reforço de estruturas. Conforme o direcionamento de sua capacidade para resistir a esforços de tração elas são denominadas geogrelhas unidirecionais ou bidirecionais. Além disso, em função do processo de fabricação as geogrelhas podem ser extrudadas, soldadas ou tecidas (ABNT, 2003).

c Geocomposto

Geocompostos são formados por um ou mais tipos de geossintéticos, que foram desenvolvidos com vistas a desempenho de uma função específica, tais como, de barreira impermeabilizante, drenagem ou reforço.

Na pavimentação os geocompostos são produtos compostos por geogrelhas e geotêxteis (não tecido, ultraleve). Foram desenvolvidos com o propósito de reforço da estrutura, principalmente com uso entre as camadas de misturas asfálticas. Trata-se de uma geogrelha unida a um geotêxtil não tecido impregnados com um teor residual de material betuminoso, com o objetivo de melhorar as condições de aderência entre o elemento e as camadas do pavimento. Na Figura 2.1 (c) é apresentada a imagem de um destes geocompostos.

2.3.2. As funções dos geossintéticos

Os geossintéticos podem desempenhar diversas funções numa estrutura ou mesmo uma combinação de duas ou mais funções. Conforme a norma NBR 12553, as funções exercidas pelo material são assim classificadas (ABNT, 2003):

- Controle de erosão superficial;
- Drenagem;
- Filtração;
- Impermeabilização;
- Proteção;
- Reforço;
- Separação.

Especificamente nas obras de pavimentação, quando utilizados como elemento estrutural, as funções desempenhadas são as de reforço, separação, impermeabilização e proteção. Quando empregados com objetivo de reforço, os geossintéticos são solicitados principalmente por esforços de tração, sendo esta a aplicação utilizada nas camadas de revestimento e base. Como elemento de separação e proteção, os geossintéticos são utilizados na interface entre camadas constituídas por materiais de características geotécnicas distintas. Na impermeabilização, eles são empregados, por exemplo, para minimizar a possibilidade de infiltração de água pelas camadas superiores reduzindo a possibilidade de carreamento de finos através do processo de bombeamento.

2.3.3 Materiais que constituem os geossintéticos

Conforme Koerner (2005), após submetidos a temperaturas superiores ao seu ponto de amolecimento, os polímeros podem ser enquadrados em duas classes: termoplásticos e termorrígidos. Os termoplásticos são aqueles que podem ser aquecidos por diversas vezes e moldados de tal forma que, quando resfriados, mantêm a forma e a estrutura inalteradas. Os termorrígidos, a partir de uma determinada temperatura de aquecimento apenas experimentam a degradação e carbonização do material. Os geossintéticos de forma geral são compostos quase que inteiramente por materiais termoplásticos.

Na fabricação dos geossintéticos, podem ser utilizados diversos tipos de polímeros. Dentre os polímeros mais empregados estão o polipropileno (PP), polietileno (PE), poliéster (PET), poliamida (PA), polivinil clorado (PVC) (VERTEMATTI, 2004). Na Tabela 2.2 estão listadas as vantagens e desvantagens dos principais polímeros utilizados na fabricação dos geossintéticos. Na Tabela 2.3 estão relacionados os polímeros com os tipos de geossintéticos em que são utilizados. A Figura 2.4 apresenta faixas típicas para a curva tensão versus deformação dos diferentes polímeros, obtidas em ensaios de tração simples.

Tabela 2.2: Vantagens e desvantagens dos polímeros em geossintéticos (MACAFERRI, 2009).

Polímero Base	Vantagens	Desvantagens
Polipropileno, Polietileno	Atividade química nula em soluções ácidas e básicas; Custo baixo.	Módulo elástico reduzido; Deformabilidade elevada sob carga constante (“creep”).
Poliéster	Elevado módulo elástico, deformabilidade baixa sob carga constante (“creep”); Custo relativamente baixo.	Redução das características mecânicas em soluções fortemente alcalinas.
Poliamida	Módulo elástico elevado; Resistência à abrasão alta.	Perda das características mecânicas por permanência prolongada em água; Custo elevado.

Tabela 2.3: Principais polímeros utilizados na fabricação dos geossintéticos (VERTEMATTI, 2004).

Polímero	Tipos de geossintéticos
Polietileno (PE)	Geotêxteis, geomembranas, geogrelhas, geotubos, georredes e geocompostos.
Poliestireno expandido (EPS)	Geoexpandidos.
Polipropileno (PP)	Geotêxteis, geomembranas, geogrelhas e geocompostos.
Polivinil clorado (PVC)	Geomembranas, geotubos e geocompostos.
Poliéster (PET)	Geotêxteis e geogrelhas.
Poliestireno (PS)	Geocompostos e geoexpandidos.
Poliamida (PA)	Geotêxteis, geogrelhas e geocompostos.

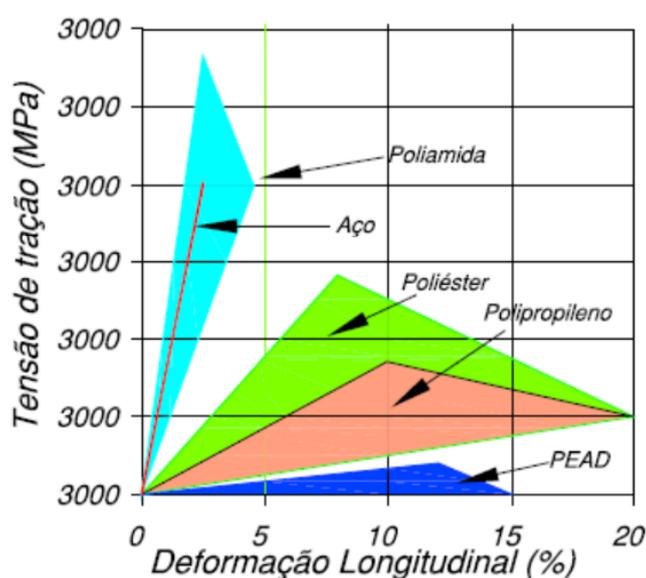


Figura 2.4: Comportamento Tensão vs Deformação de diferentes polímeros (MACAFERRI, 2009).

2.3.4 Breve histórico de utilização de geossintéticos em pavimentação

No ano de 1966, nos Estados Unidos, foi realizada a primeira aplicação de geotêxtil não tecido de fibras em recapeamento asfáltico. Os experimentos foram continuados ao longo das décadas de 1970 e 1980, no entanto, somente a partir da década de 1990 as aplicações se tornaram soluções técnicas em projetos diversos, considerando estruturas de pavimentos rodoviários, urbanos e aeroportuários (VERTEMATTI, 2004).

Carmo et al. (2014) relatam experiências dos últimos 15 anos de aplicações de geogrelhas para reforço em projetos de restauração de pavimentos aeroportuários do Brasil, Argentina, Chile e Uruguai. Os autores mencionam que os resultados foram excelentes quanto à prevenção e controle do trincamento por reflexão, permitindo uma considerável extensão da vida de serviços da estrutura.

Guimarães (2013) apresenta a aplicação de geossintéticos nos serviços de restauração para um trecho da rodovia Ayrton Senna (SP-070), que interliga a Capital de São Paulo à cidade de Guararema. As soluções englobaram o uso de geotêxtil não tecido e de geogrelhas de fibra de vidro. Nas Figuras 2.5 e 2.6, são apresentadas ilustrações da aplicação do geotêxtil e da geogrelha, respectivamente.



(a) colocação do material

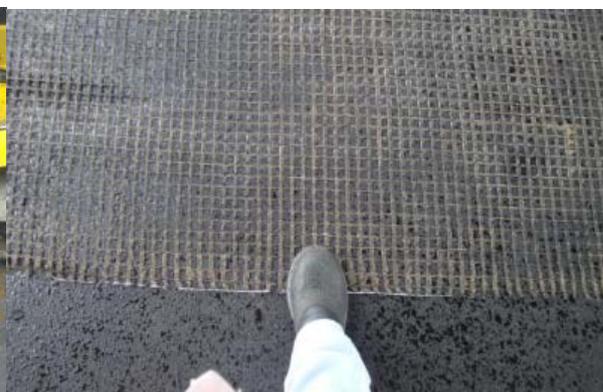


(b) geotêxtil instalado, com pintura de ligação superficial

Figura 2.5 –Rodovia Ayrton Senna, aplicação do geotêxtil (GUIMARÃES, 2013).



(a) colocação da geogrelha



(b) vista da geogrelha instalada

Figura 2.6 – Rodovia Ayrton Senna, aplicação da geogrelha (GUIMARÃES, 2013).

Atualmente, é crescente a utilização dos geossintéticos em pavimentação, inclusive em trechos de rodovias sob a responsabilidade de gestão estadual ou federal (DER ou DNIT). Como exemplo, próximo a Belo Horizonte, MG, no ano de 2014 a rodovia estadual MG-424, na cidade de Vespasiano, foi restaurada com uso de uma geogrelha especialmente desenvolvida para aplicação nas camadas de revestimento. Em síntese, a estrutura original em pavimento rígido foi capeada por uma camada de mistura asfáltica (CARMO, 2014). Na Figura 2.7, é apresentada uma ilustração do referido trecho da obra.



Figura 2.7 – Restauração da rodovia MG-424 (CARMO, 2014).

A aplicação dos geossintéticos em vias urbanas também se faz presente em Belo Horizonte/MG, como em 2013 nas obras das Avenidas do Contorno/Tereza Cristina, no segmento conhecido como Boulevard Arrudas, que recebeu a aplicação de geogrelhas na camada de revestimento.

2.4 Influências do uso de geossintético em sistemas de reforço de camadas de misturas asfálticas

Plug e de Bondt (2010), Montestruque (2002), Raposeiras et al. (2013), Guimarães (2013) dentre outros, citam que aderência entre a camada de revestimento betuminoso e o geossintético é de vital importância para que o material de reforço introduzido possa exercer com eficácia a sua função.

A união entre camadas sucessivas de revestimento betuminoso é promovida através da aplicação de uma pintura de ligação, especificada na norma DNIT 145/2012 – ES. Os ligantes asfálticos mais utilizados são as emulsões catiônicas do tipo RR-1C e RR-2C ou emulsões modificadas por polímeros. Com a utilização de geotêxteis entre camadas de misturas asfálticas

pode ocorrer a elevação do teor de ligante asfáltico (taxa de aplicação da pintura de ligação) adequada para a obtenção do grau de aderência satisfatório.

A falta de pintura de ligação é associada à baixa aderência entre camadas (GUIMARÃES, 2013). Por outro lado, o excesso de ligante cria um filme mais espesso e deformável, que diminui o atrito e o intertravamento entre as camadas (TASHMAN, 2006, CHEN e HUANG, 2010), causando escorregamento entre elas. Existe uma taxa ótima de aplicação que constitui, portanto, um fator preponderante para garantir boa aderência entre camadas.

Em virtude do comportamento reológico do ligante asfáltico, suas propriedades são influenciadas pela taxa de aplicação do carregamento, sendo que o grau de rigidez varia de acordo com a velocidade das tensões solicitantes.

Isto posto, as solicitações advindas das movimentações de natureza térmica podem interferir na eficiência da ligação de contato promovida pelo ligante asfáltico. Além disso, um sistema de combate à reflexão de trincas de velocidade de movimentação reduzida, constituído por geotêxteis impregnados com ligante pode ser uma alternativa de solução de sucesso. Por outro lado, caso as trincas apresentem grandes movimentações e sob velocidade que implica num alto grau de rigidez do ligante asfáltico, a utilização de geotêxteis pode não ser a alternativa mais apropriada, sendo o uso de geogrelhas a alternativa com melhor desempenho.

Conforme comentado por Montestruque (2002), nas primeiras aplicações de geogrelhas em reforço de pavimentos estes elementos foram compostos de poliéster e depois por fibra de vidro. A geogrelha proporciona alta resistência à tração dentro do pavimento, complementando as propriedades mecânicas da mistura asfáltica.

Montestruque (2002) aponta e comenta algumas das propriedades das geogrelhas para reforço de revestimentos asfálticos:

- Aderência entre o concreto asfáltico e a geogrelha: i) os coeficientes de dilatação da geogrelha e da mistura asfáltica devem ser compatíveis para que não ocorram problemas oriundos de tensões cisalhantes produzidas por movimentos diferenciais; ii) a ancoragem necessária do geossintético na mistura asfáltica para que o mecanismo de mobilização de resistência funcione; iii) os módulos de elasticidade da geogrelha e da mistura asfáltica devem ser compatíveis; iv) o módulo de rigidez elevado é adequado às pequenas deformações horizontais que ocorrem nas camadas de revestimento betuminoso.

- Resistência à fadiga: esta propriedade relaciona-se com a capacidade da geogrelha manter suas propriedades e a resistência ao longo de um dado período.

Quanto ao comportamento dos geossintéticos aplicados como reforço de misturas asfálticas Montestruque (2002) observou que:

- O geotêxtil atua no redirecionamento das trincas para o plano horizontal;
- A introdução da geogrelha na camada asfáltica refletiu em um aumento na vida de fadiga do pavimento em virtude da capacidade de impedir a formação de uma única trinca de reflexão que monopolize a dissipação de energia em sua extremidade. O que ocorre é que, são originadas muitas microfissuras, distribuídas sobre um volume maior dentro da camada, com padrão errático de propagação e cada uma com crescimento lento. O grau de transferência de tensões ao longo das paredes de cada uma dessas microfissuras é elevado, o que auxilia na redução de sua velocidade de crescimento por atenuar a concentração de tensões em sua extremidade. A orientação aleatória das microfissuras também atua neste sentido, levando inclusive, à ocorrência de microfissuras que adquirem uma forma geométrica capaz de bloquear seu crescimento subsequente;
- Em virtude da maior rigidez, a geogrelha é mais recomendável em casos onde a atividade das trincas for elevada e a espessura total das camadas trincadas seja elevada em relação à espessura da camada de recapeamento.

Estudos mostram que a falta de aderência entre camadas, seja ela causada pelo excesso ou pela falta de pintura de ligação na interface, provoca aumento de tensões na fibra inferior da camada mais superficial do revestimento (SHAHIN et al., 1986; UZAN et al., 1978).

Ziari e Khabiri (2007), Guimarães (2013), Romanoschi e Metcalf (2001) e Kruntcheva et al. (2005) modelaram estruturas de pavimento, por meio de diversos softwares, simulando variações nas condições de aderência entre as camadas de revestimento betuminoso afim de avaliar as respostas nas distribuições de tensões ao longo da camada asfáltica e no topo do subleito. Os resultados refletiram forte dependência, sendo que para a total falta de adesão as tensões de tração são significativamente mais elevadas e atuam na fibra inferior da camada. Quanto à tensão de compressão vertical no topo da camada de subleito, os resultados, nesta condição, também apresentaram as piores respostas.

A presença de geossintéticos entre as camadas de misturas asfálticas pode configurar também um ponto frágil no contato e na aderência entre elas, causando problemas como escorregamento e deslocamento. Assim, além do desempenho do sistema de reforço com uso de geossintéticos, a aderência entre as camadas que o integram também deve ser avaliada. Entretanto, poucos trabalhos analisam o uso dessas soluções e sua influência na aderência entre as camadas (GUIMARÃES, 2013)

Dentre os estudos sobre os efeitos da presença de elementos geossintéticos na aderência entre camadas asfálticas, destacam-se os realizados por Montestruque (1996), Vanelstraete et al. (1997), Montestruque et al. (2011), Raab e Partl (2004), e Bazarra et al. (2010). Todos indicam que a presença do geossintético reduz a resistência de ligação entre as camadas e, portanto, interferem no teor de ligante necessário para a obtenção da adequada ligação. Raposeiras et al. (2012), Mohammad et al. (2010) e Chan e Huang (2010), constataram a influência da condição da macrotextura superficial na resistência ao cisalhamento da superfície de contato entre as camadas de misturas asfálticas.

Fritzen (2005), com a utilização de simulador de tráfego móvel (HVS) o trabalho avaliou o desempenho de diferentes tipos de soluções executadas num trecho da rodovia BR-116: rodovia Rio – Teresópolis. Na Figura 2.8 é apresentada uma ilustração do equipamento simulador de tráfego utilizado. Uma das soluções avaliadas incluiu o uso de geogrelha, modelo Hatelit C 40/17, fabricada pela empresa HUESKER. Esta foi aplicada sobre uma camada de regularizada executada sobre a superfície fresada, sendo utilizado no serviço de pintura de ligação a emulsão asfáltica do tipo RR-1C. Aponta que foi possível perceber que a presença da geogrelha pode possibilitar a modificação da bacia de deformação inicial, reduzindo também a deflexão máxima.

Após completado o ciclo de carregamento com o uso do simulador de tráfego, foi verificado um trincamento com padrão em blocos, com sentido de propagação de cima para baixo. Além disso, foi observado que estas trincas não atingiram a geogrelha, posicionada cerca de 5,5cm abaixo da superfície de rolamento. Assim, a solução possivelmente ainda suportaria um número adicional de solicitações até que as trincas atingissem toda a espessura da camada de reforço (FRITZEN, 2005). Na Figura 2.9 é apresentado o padrão de trincamento ocorrido neste trecho.



Figura 2.8 – Equipamento simulador de tráfego utilizado por Fritzen (2005).



Figura 2.9 – Bloco extraído do trecho experimental onde pode ser observado o padrão de trincamento ocorrido (FRITZEN, 2005).



Figura 2.10 – Imagem da caixa teste utilizada para os ensaios em verdadeira grandeza (BASTOS, 2010).

Nos ensaios de fadiga realizados por Bastos (2010) constatou-se que a melhor influência das geogrelhas ocorre para os menores níveis de tensão aplicada, sendo que nesta condição é permitido um maior período para as geogrelhas se deformarem, condição essencial para sua atuação como elemento com a função de atrasar a propagação de trincas. Constatou-se uma melhoria significativa nos resultados obtidos com as amostras reforçadas com as grelhas, tendo as amostras com camada de geogrelha de poliéster apresentado os melhores resultados em relação as compostas por fibra de vidro (BASTOS, 2010).

Experimentos de laboratório, de campo e observações de obras reais mostram que a utilização de reforço com geossintéticos pode aumentar significativamente o número de solicitações a que o pavimento resiste (KOERNER, 2005). A melhoria da vida útil do pavimento pode ser quantificada pelo Fator de Eficiência do Geossintético (FEF), conforme Equação 2.1, definido por:

$$FEF = \frac{N_r}{N_s} \quad (2.1)$$

Onde:

FEF = fator de eficiência do geossintético;

N_r = número de aplicações de carga no pavimento reforçado para uma deformação superficial de projeto;

N_s = número de aplicações de carga no pavimento sem reforço para uma deformação superficial de projeto.

Dados da literatura mostram valores de FEF (Equação 2.1) variando de 2 a 16, dependendo dos tipos de materiais envolvidos e das características do problema (KOERNER, 2005). Portanto, a utilização de reforço com geossintético no pavimento pode, no mínimo, duplicar a vida útil da obra.

2.5 Avaliação da aderência entre camadas de misturas asfálticas

Além da caracterização e determinação das propriedades mecânicas dos materiais insumos, o desempenho e os fatores que estão relacionados à interação geossintético / misturas asfálticas devem ser avaliados.

Segundo Raposeiras et al. (2013), os ensaios para a verificação da aderência entre camadas de misturas asfálticas podem ser agrupados em ensaios que avaliam a aderência sob esforços de tração, de torque ou de cisalhamento.

Para o estudo da resistência existem procedimentos destrutivos e não destrutivos. Os ensaios que se baseiam na resistência ao cisalhamento são os métodos mais comumente utilizados para verificar a aderência entre as camadas asfálticas de estruturas de pavimentos. Isto se deve à semelhança quanto ao comportamento quando comparado com casos reais de falha na aderência e deslizamento, bem como à simplicidade do método utilizado nos ensaios.

2.5.1 Ensaios para a avaliação da aderência

a Ensaio de tração

O ensaio de tração é comumente utilizado para avaliação da resistência a tração entre camadas de concreto de pavimentos rígidos. Existem procedimentos de ensaio tanto para laboratório quanto para campo. No laboratório os ensaios podem ser realizados em corpos de prova extraídos da pista ou moldados, onde é colada na superfície da amostra um prato rígido ligado a uma prensa que permite a aplicação de uma força de tração que tende a descolar as camadas do CP. Na Inglaterra o ensaio é normatizado pela DS EM 13863-2 e na Alemanha DIN 2974. Nas Figuras 2.11 e 2.12 são apresentados o esquema para os ensaios de laboratório e uma ilustração do procedimento de campo, respectivamente.

b Ensaio de torque

O ensaio de torque consiste da verificação da resistência a uma força rotacional imposta paralela à superfície. Os equipamentos para ensaio podem ser manuais ou mecânicos. Dentre os trabalhos que discutem o método e seus resultados podem ser citados: Choi et al. (2005), Walsh e Williams (2001), Raab e Partl (1999, apud MUSLICH, 2009). Na Figura 2.13 é apresentada uma ilustração do equipamento de laboratório desenvolvido por Choi et al. (2005, apud MUSLICH, 2009).

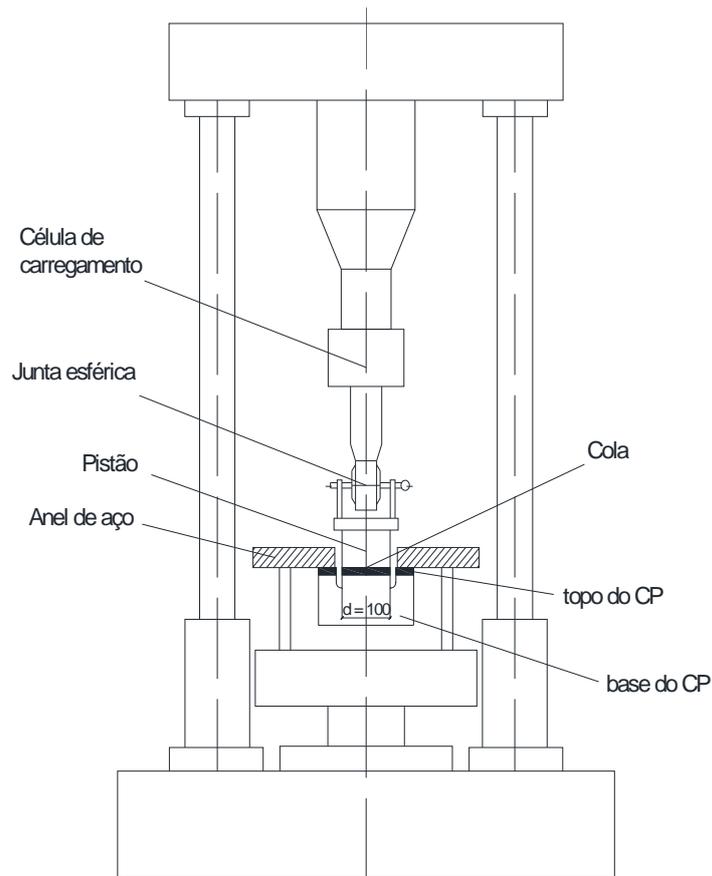


Figura 2.11 – Esquema do ensaio de tração em laboratório (adaptado de DIN, 2003)

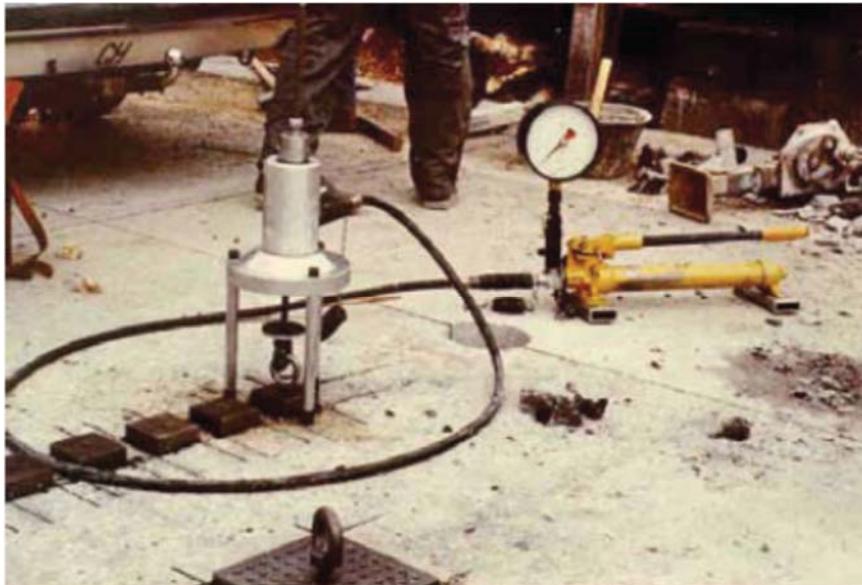


Figura 2.12 – Ilustração do ensaio de tração em campo em placa de concreto (RAAB e PARTL, 1999 apud MUSLICH, 2009)



Figura 2.13 – Equipamento para o ensaio de torque em laboratório (CHOI et al., 2005 apud MUSLICH, 2009)

c Ensaio de cisalhamento direto

O objetivo do ensaio de cisalhamento direto é avaliar a resistência e as deformações que agem na interface das camadas. Trata-se da aplicação de uma dada força na direção paralela ao plano de união entre as camadas. Existem algumas variações para os ensaios do tipo cisalhamento direto, com ou sem aplicação de força normal e de realização em campo ou laboratório. Na Figura 2.14 é apresentado um diagrama esquemático dos resultados dos ensaios. A seguir são apresentadas algumas destas possibilidades.

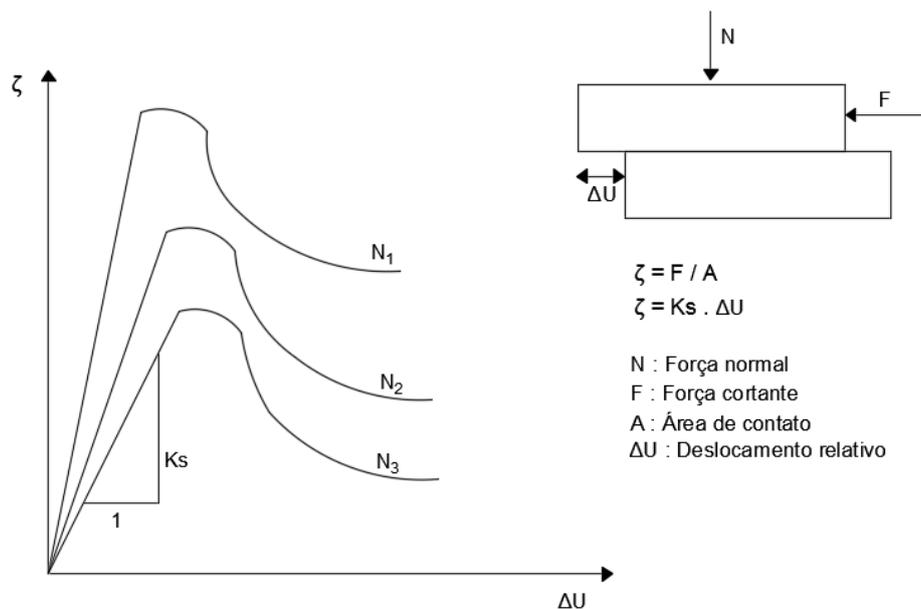


Figura 2.14 – Diagrama de resultados dos ensaios de cisalhamento (AL HAKIM, 1997 apud MUSLICH, 2009)

c.1 Ensaio de cisalhamento direto com aplicação de força normal

São vários os aparatos desenvolvidos para a realização de ensaios de cisalhamento direto, com modificações de dimensões e forma de aplicação do carregamento. Alguns equipamentos permitem a aplicação da força cisalhante de modo dinâmico, como o Dynamic Shear Box, apresentado na Figura 2.15.

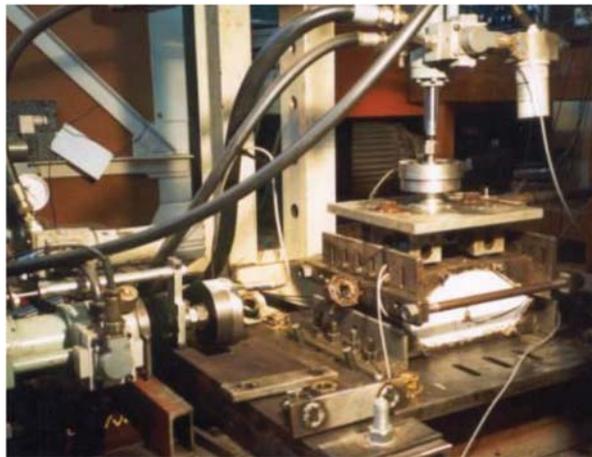


Figura 2.15 – Dynamic Shear Box (CARR 2001, apud MUSLICH 2009).

Através do uso de um eixo de caminhão como carregamento, foi desenvolvido pela EMPA um procedimento de ensaio de cisalhamento direto de campo (RAAB e PARTL, 1999 apud MUSLICH, 2009). O carregamento normal era imposto pelo peso do eixo do caminhão e a força cisalhante aplicada por meio de equipamentos hidráulicos, sendo os deslocamentos registrados por instrumentos apropriados. Na Figura 2.16 é apresentada uma imagem da realização do ensaio.

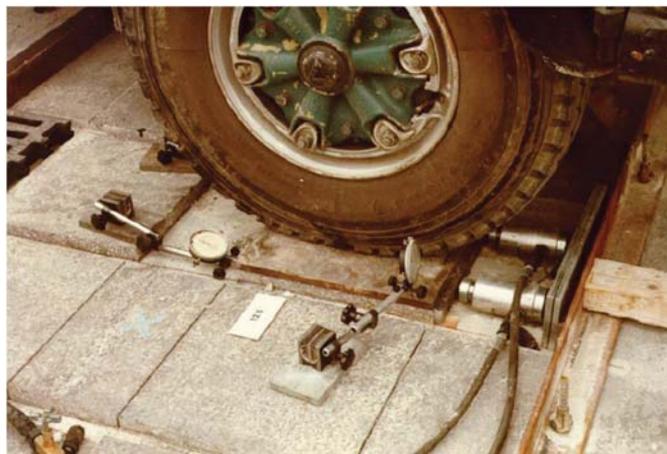


Figura 2.16 – Ensaio de cisalhamento direto de campo (RAAB e PARTL, 1999 apud MUSLICH, 2009)

c.2 Ensaio de cisalhamento direto sem aplicação de força normal

Ensaio tipo cisalhamento direto sem aplicação de força normal são referenciados ao método Leutner, sendo que os equipamentos mais utilizados são o LPDS e o LCB (RAPOSEIRAS et al., 2013). Nas Figuras 2.17 e 2.18, apresentadas a seguir, são ilustrados modelos do equipamento de cisalhamento Leutner.



Figura 2.17 Cisalhamento Leutner de mistura asfáltica – Escola Politécnica da USP (GUIMARÃES, 2013).



Figura 2.18: Equipamento de cisalhamento Leutner (CHOI et al, 2005, apud MUSLICH, 2009).

Em virtude da complexidade experimental associada à aplicação das cargas normal e cisalhante, vários procedimentos de ensaio de cisalhamento direto sem força normal foram elaborados para simplificar as instalações. Entretanto, cabe frisar que, semelhante ao ensaio com força normal, também se faz presente uma distribuição não uniforme das tensões cisalhantes. Além disso, ainda existe uma certa diferença entre campo e laboratório quanto à forma de aplicação da força cisalhante, que no laboratório é aplicada nas faces do corpo de prova, impondo um movimento entre estas e gerando um plano de corte, enquanto que no campo, as cargas são aplicadas no contato do pneumático, numa direção próxima a perpendicular ao plano de união entre as camadas (MUSLICH, 2009).

d Outros ensaios destrutivos

Além dos ensaios de tração, torque e cisalhamento direto existem outros procedimentos como os ensaios de três pontos (dois de apoio e um de aplicação de carga), o de quatro pontos (dois de apoio de dois de aplicação de carga) e a resistência à tração indireta. O ensaio de cisalhamento de três pontos é denominado LCB (Laboratorio de Caminos de Barcelona). Na Figura 2.19 são apresentados um esquema do ensaio e uma ilustração do mesmo. A Figura 2.20 ilustra uma imagem do aparato de um ensaio de quatro pontos desenvolvido por de Bondt (2009).

Para a avaliação da condição de aderência entre camadas de pavimento de concreto Nishiyama et al. (2005) utilizaram o ensaio tração indireta para a determinação da tensão de tração na interface pela aplicação de esforços de compressão numa direção radial do corpo de prova. A Figura 2.21 apresenta uma imagem do aparato e ensaio de resistência à tração indireta.

Conforme exposto, são diversas as formas de carregamento aplicadas nos ensaios de cisalhamento que visam a avaliação das condições de aderências entre camadas. Na Figura 2.22 é apresentado um esquema resumo de todos os ensaios comentados. Ressalte-se que, inicialmente, eles foram desenvolvidos para sistemas sem a aplicação de geossintéticos, de tal forma que, para a utilização destes materiais algumas mudanças podem ser necessárias ou alguns procedimentos devem ser descartados.

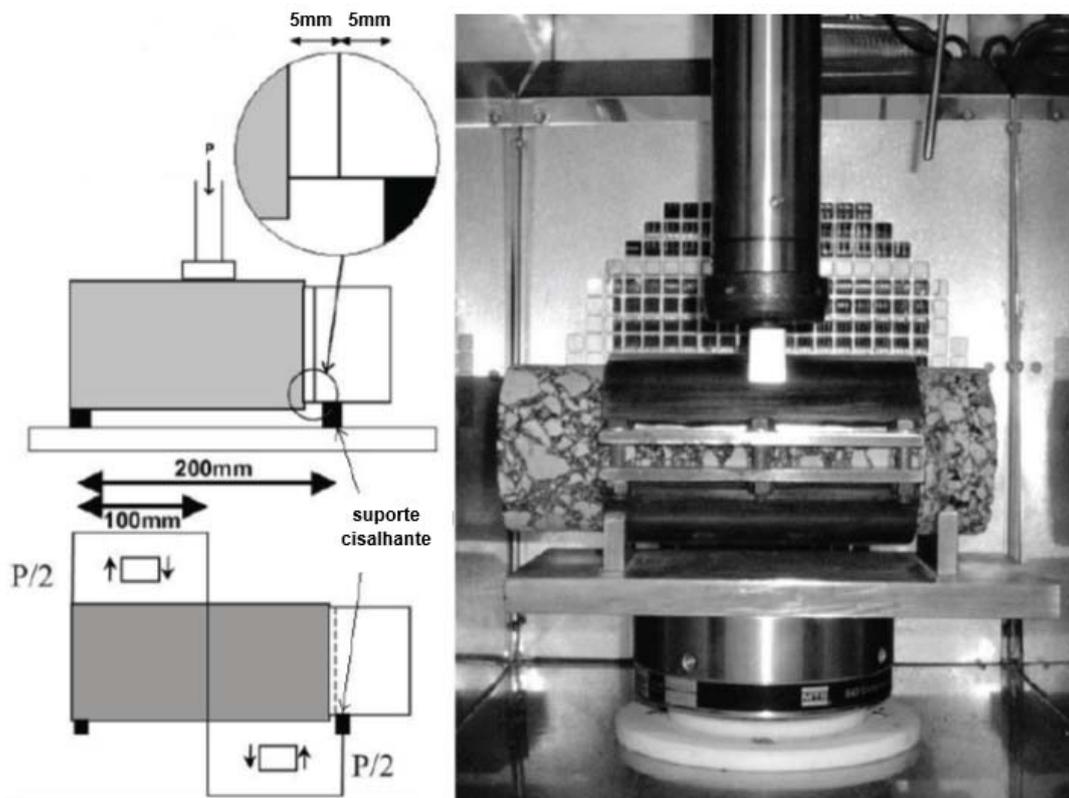


Figura 2.19 – Ensaio de cisalhamento LCB de misturas asfálticas (MUSLICH, 2009)

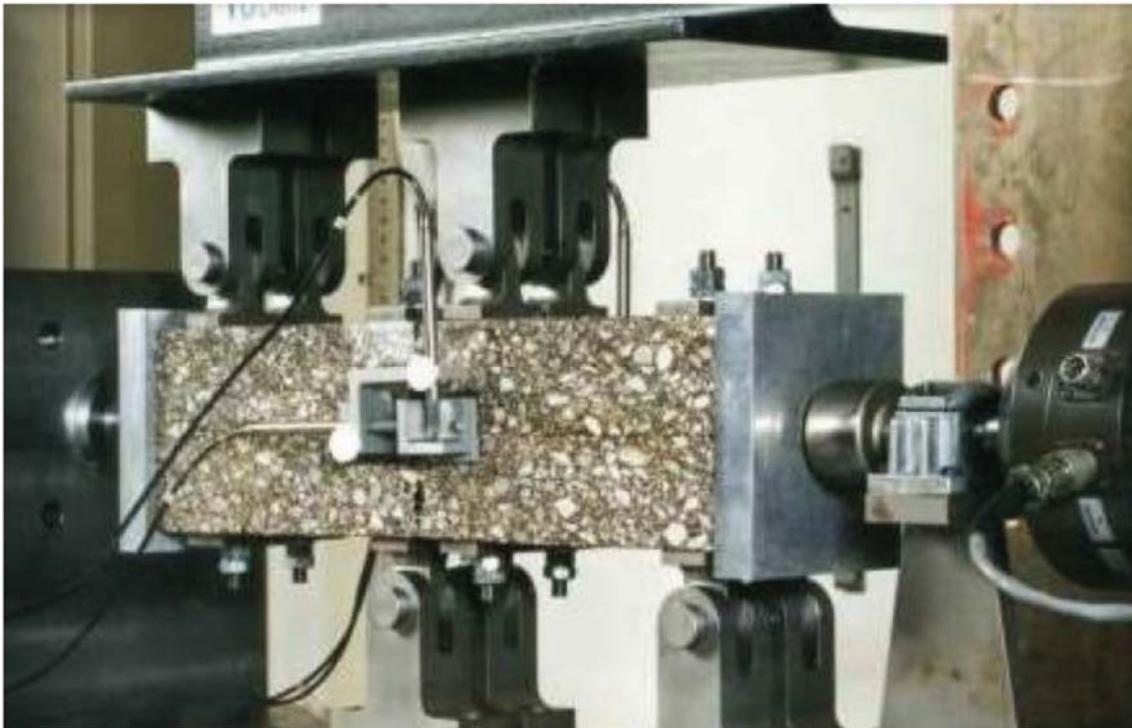


Figura 2.20 – Ensaio de cisalhamento de viga de concreto asfáltico de quatro pontos (de BONDT, 2009)



Figura 2.21 – Ensaio de resistência à tração indireta (NISHIYAMA et al., 2005)

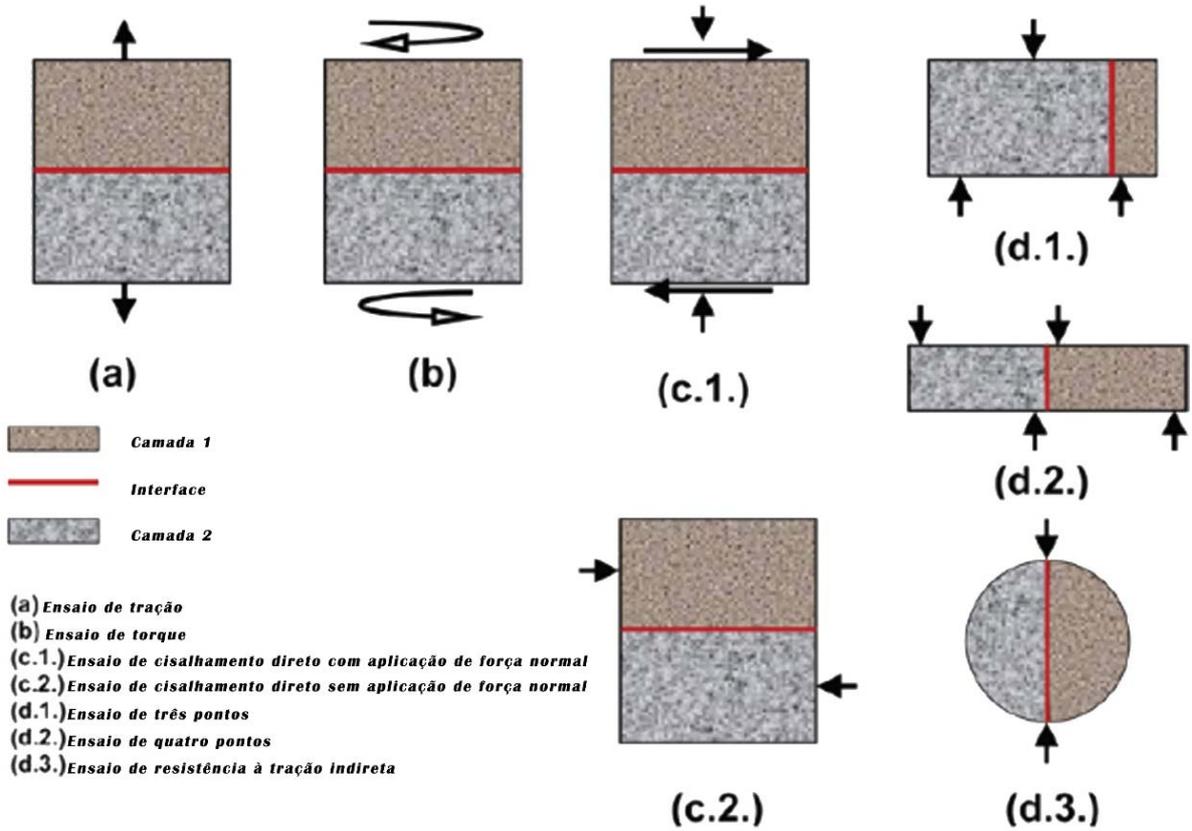


Figura 2.22 – Resumos dos ensaios de cisalhamento (adaptado de MUSLICH, 2009)

2.6 *Estimativas de taxas de ligantes asfálticos para aplicação com uso de geotêxteis*

As taxas de ligantes aplicadas nos serviços de pintura de ligação são de extrema importância, haja vista todas as considerações apresentadas anteriormente. Quando do uso de geotêxteis entre as camadas de misturas asfálticas outros aspectos aumentam a magnitude da necessidade do controle e definição de uma taxa adequada. Em quantidade baixa, além da possibilidade de perda de aderência, o geotêxtil pode permitir a infiltração de água para as camadas subjacentes. Ao contrário, altas taxas podem criar um filme que funcionará como elemento causador da perda de resistência. Com base nestes aspectos, existem propostas de equações para a determinação das taxas corretas de ligante, em termos de resíduo, como exemplo a Equação 2.2, apresentada por Button et al. Para geotêxteis (1982):

$$Q_D = 0,36 + Q_S + Q_C \quad (2.2)$$

Onde:

Q_D - Quantidade de ligante residual de projeto (l/m²);

Q_S - Taxa de saturação do geotêxtil em análise (l/m²);

Q_C - Correção relativa a condição da superfície da camada do pavimento (l/m²).

O valor da taxa de saturação do geotêxtil pode ser obtido experimentalmente através de ensaios de retenção, como por exemplo o proposto na norma ASTM D6140 (2009). Este valor depende totalmente das características do geossintético, principalmente de sua espessura.

A parcela referente a correção devida as condições do pavimento existente é parte do modelo proposto por Button et al. (1982) e é apresentada na Tabela 2.4. Cabe ressaltar que estes valores são estimativas e, portanto, poderão necessitar de ajustes de campo quando da execução dos serviços.

Tabela 2.4 - Valores das taxas de correção, Q_C (BUTTON et al., 1982)

Condições da superfície do pavimento	Q_C (l/m²)
nivelada	-0,09 a 0,09
lisa, não porosa	0,09 a 0,23
ligeiramente porosa e ligeiramente oxidada	0,23 a 0,36
ligeiramente porosa e oxidada	0,36 a 0,50
porosa e oxidada	0,50 a 0,59

2.7 Técnicas para avaliação do comportamento e interação geossintético/misturas asfálticas

Para análise do comportamento mecânico do sistema de reforço existem várias possibilidades de ensaios laboratoriais, dentre os quais destacam-se os ensaios de carregamentos em vigas prismáticas submetidas à flexão.

A fim de comparar o comportamento de misturas asfálticas reforçadas com geossintéticos, Obando (2012) realizou ensaios em corpos de prova prismáticos submetidos à tração na flexão, semelhante aos comumente realizados em concreto. Na Figura 2.23 é apresentada uma ilustração da montagem do ensaio.



Figura 2.23: Arranjo do ensaio de resistência à tração na flexão estática em misturas asfálticas (OBANDO, 2012).

Os resultados obtidos por Obando (2012) mostraram uma tendência de queda no valor da resistência à tração na flexão nos corpos de prova reforçados com geogrelhas, sob carregamento estático. O autor aponta que a redução da resistência quando da inserção do geossintético pode ser atribuída a deficiência de aderência, já que não foi avaliada a taxa ótima de pintura de ligação para cada situação.

2.7.1 Ensaios de tração na flexão em vigas prismáticas

A norma ABNT NBR 12142:2010 estabelece o método de ensaio de resistência à tração por flexão de corpos de prova de concreto, empregando o princípio da viga simplesmente apoiada

com duas forças concentradas nos terços do vão. A Figura 2.24 apresenta o esquema de montagem para realização do ensaio.

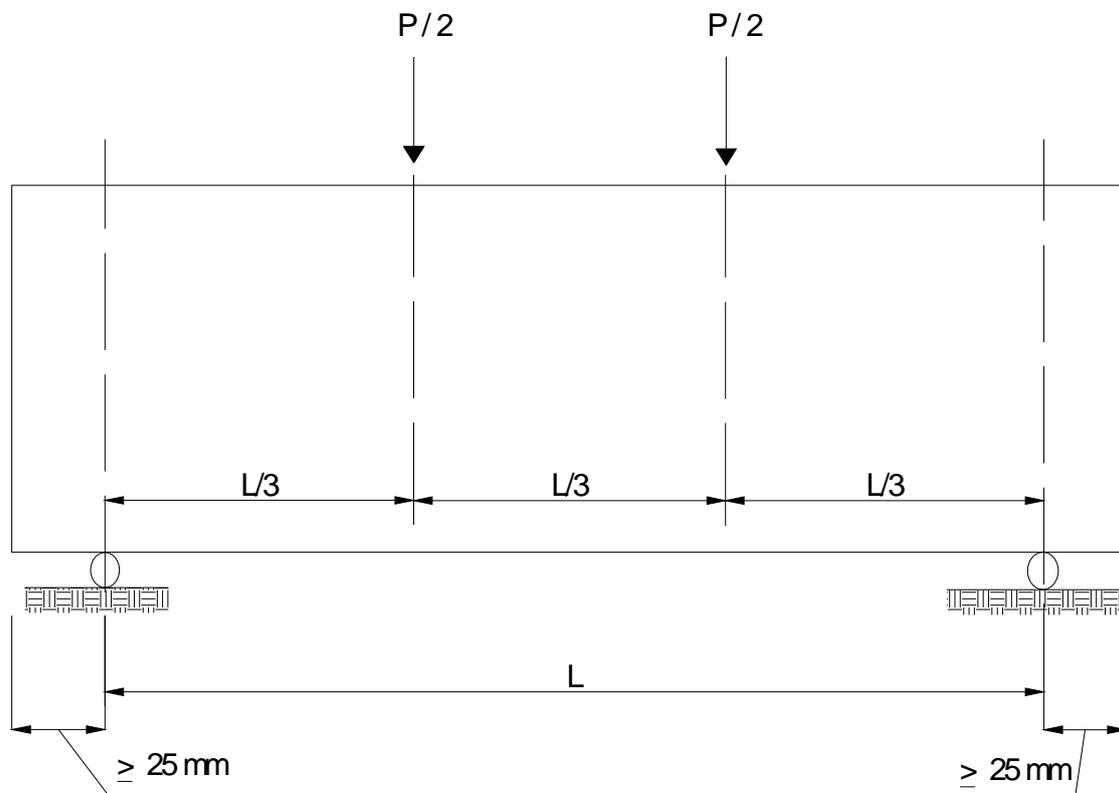


Figura 2.24: Ensaio de tração na flexão de concreto de cimento Portland (ABNT, 2010).

A referida norma propõe que, para casos de ruptura no terço médio da distância entre os apoios do corpo de prova, a resistência à tração na flexão pode ser calculada conforme a equação 2.3, apresentada a seguir:

$$f_{ctM} = \frac{pl}{bh^2} \quad (2.3)$$

Onde:

f_{ctM} – resistência à tração na flexão (MPa);

p – carga máxima aplicada (N);

l – distância entre cutelos de suporte (mm);

b – largura média do corpo de prova (mm);

h – altura média do corpo de prova (mm).

2.8 Softwares para análise de estruturas de pavimentos

Existem diversos softwares que possibilitam a análise de estruturas de pavimento, muitos baseados na teoria da elasticidade. Como exemplo clássico pode-se citar o software ELSYM 5 – Elastic Layered System, desenvolvido pela Universidade da Califórnia em Berkeley (EUA).

Com o desenvolvimento tecnológico foi possível a implementação de novas variáveis nos programas computacionais, como número de camadas, carregamento, inserção de materiais que apresentam comportamento dependente do estado de tensões atuante e nível de aderência entre as camadas constituintes da estrutura. Considerando esta última possibilidade, tendo vista o objetivo deste trabalho, destacam-se os softwares WESLEA e AEMC, disponíveis para download na internet.

O software WESLEA (Waterways Engineering Station Elastic Layer Analysis Pavement Suite), desenvolvido pelo professor David H. Timm da Universidade de Auburn, Alabama (EUA), possibilita a análise da estrutura com variação da condição de aderência entre as camadas, através da variação de um fator, cujo valor deve ser 1 para completamente aderido ou 0 para sem aderência. O download pode ser efetuado através do endereço eletrônico <http://www.eng.auburn.edu/users/timmdav/Software.html>. A Figura 2.25 ilustra a interface de entrada de dados no WESLEA, com realce nos campos que possibilitam a avaliação de aderência entre as camadas.

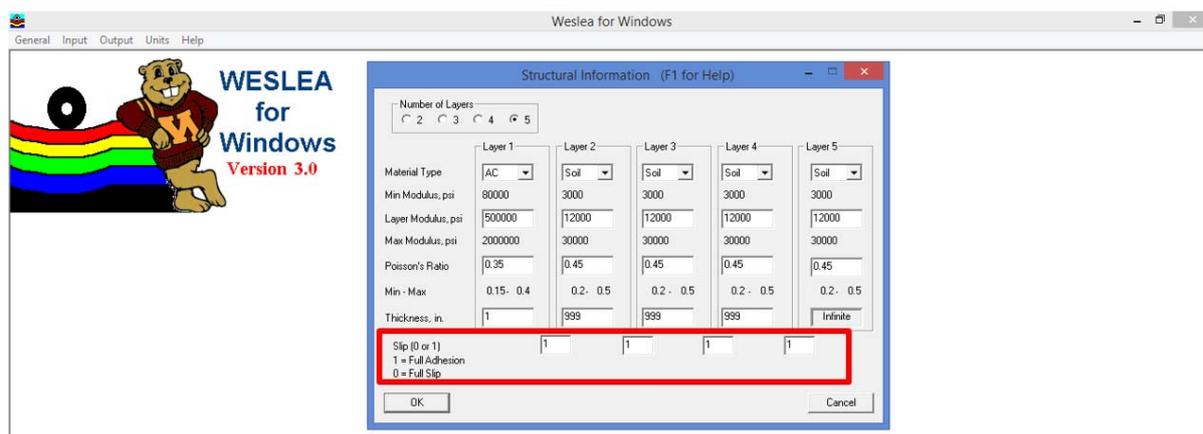


Figura 2.25 – Interface do software WESLEA

O programa AEMC é um dos módulos que compõem o método de dimensionamento mecanístico-empírico apresentado por Franco (2007). O software foi desenvolvido na Universidade Federal do Rio de Janeiro e possibilita a modelagem de estruturas de pavimentos

de forma bastante completa, inclusive, com a variação da condição de aderência entre as camadas em vários níveis, sob uma função de crescimento exponencial, por meio da alteração de um parâmetro entre 0 a 100.000, para condições de perfeita aderência e não aderida, respectivamente. Versões do programa são disponibilizadas para testes no endereço eletrônico <https://sites.google.com/site/sispav/home>. A interface de entrada de dados do AEMC é apresentada na Figura 2.26, com realce no campo de inserção da condição de aderência.

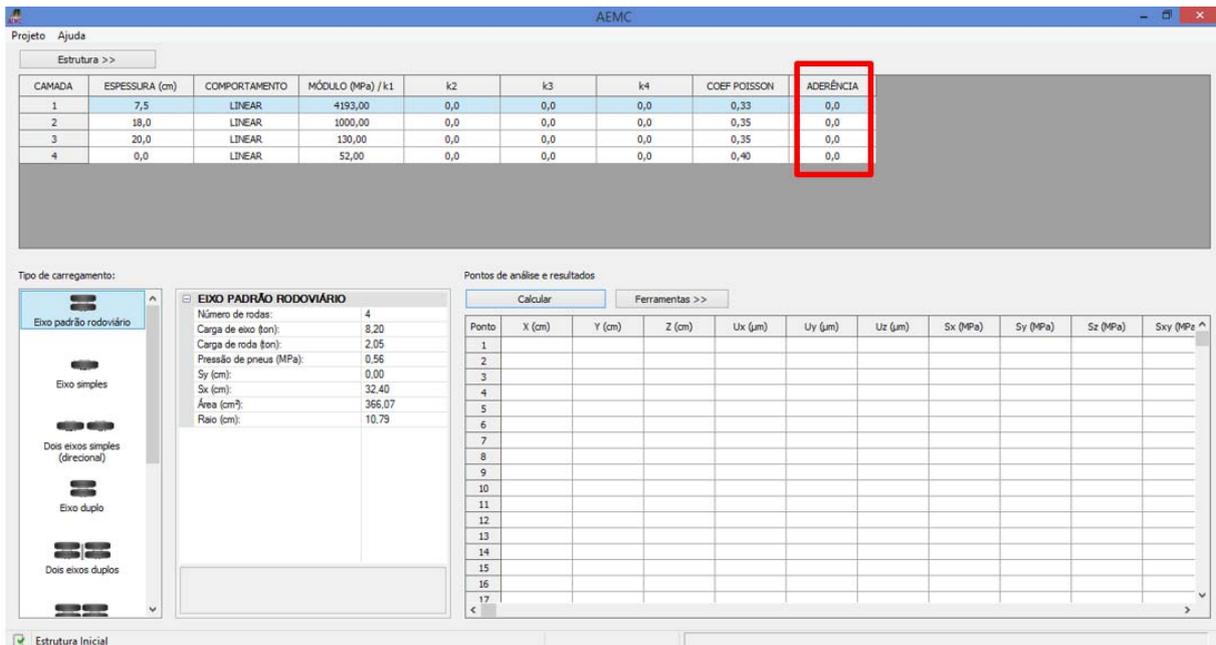


Figura 2.26 – Interface do software AEMC (FRANCO, 2007)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada na presente pesquisa foi composta de quatro fases. Na fase inicial verificou-se as respostas de uma estrutura de pavimento quando da variação da aderência através de um software específico. A segunda fase tratou das caracterizações dos materiais e definições básicas, tais como, teores e porcentagens empregadas na pesquisa. A terceira, foi a avaliação da aderência entre as camadas de mistura asfáltica e estas com dois tipos de geossintéticos, uma geogrelha e um geotêxtil. Por fim, numa quarta fase, foram realizadas avaliações de desempenho dos sistemas investigados no trabalho. Em seguida são descritas cada uma das fases da metodologia.

3.1 *Análise computacional*

A fim de verificar as variações das tensões, deslocamentos, deformações e vida de fadiga em virtude das condições do nível de aderência entre camadas asfálticas de uma típica estrutura de pavimento, foram utilizados os softwares SisPav e AEMC, desenvolvidos na Universidade Federal do Rio de Janeiro (FRANCO, 2007).

A estrutura adotada para análise foi constituída da seguinte forma:

- Camada de rolamento, com 5 cm de espessura, composta de CBUQ faixa “C”, com uso do CAP 50/70;
- Camada intermediária do revestimento, com 7,5 cm de espessura, em CBUQ faixa “A”, com uso do CAP 50/70;
- Camada de base, com 15 cm de espessura, em cascalho laterítico;
- Camada de sub-base, com 20 cm de espessura, em cascalho laterítico;
- Subleito em solo argiloso, com ISC igual a 8%.

Os valores de módulo de resiliência foram determinados através de ensaios de laboratório, bem como, os modelos de vida de fadiga para as misturas asfálticas. Para as misturas asfálticas os valores adotados de módulo de resiliência foram 4114 MPa para o CBUQ faixa “C” e 5046 MPa para o CBUQ faixa “A”. Para os solos, os modelos adotados foram os representados pelas equações contidas na Tabela 3.1, onde também são apresentados os modelos de vida de fadiga

para as misturas asfálticas. Estes módulos de resiliência e modelos de vida por fadiga foram determinados através de ensaios realizados para fins da avaliação da estrutura de pavimento projetada para um trecho da rodovia BR 163/PA (CONSOL, 2015).

As expressões para estimativa dos módulos de resiliência foram obtidas conforme a norma DNIT 134/2010 - ES e os modelos de vida de fadiga com base na resposta de uma família de seis corpos de prova para cada tipo de mistura asfáltica.

Na modelagem da estrutura, foi assumido que o nível de aderência entre a camada de ligação (CBUQ faixa “A”) e a base é intermediário entre totalmente aderido e sem aderência. Nos contatos entre as camadas de base, sub-base e subleito, foi imposta uma condição de total ausência de aderência.

Tabela 3.1 – Modelos de módulo de resiliência para solos e modelos de vida de fadiga para as misturas asfálticas.

Camada	Modelos adotados:		
	Módulo de resiliência (MPa)	Vida da Fadiga	
		Diferença de tensões	Deformação
Rolamento	-	$N=1946,3 \times \Delta\sigma^{-2,758}$	$N=4 \times 10^{-9} \times \epsilon_t^{-2,766}$
Ligação	-	$N=1407,2 \times \Delta\sigma^{-2,588}$	$N=1 \times 10^{-8} \times \epsilon_t^{-2,596}$
Base	$MR=177 \cdot \sigma_3^{-0,1145} \cdot \sigma_d^{-0,3298}$	-	-
Sub-base	$MR=839 \cdot \sigma_3^{0,6326} \cdot \sigma_d^{-0,8726}$	-	-
Subleito	$MR=3,3 \cdot \sigma_d^{-1,7345}$	-	-

Nota: MR - módulo de resiliência; N - número N de fadiga; σ_3 - tensão confinante; σ_d - tensão desviadora; $\Delta\sigma$ - diferença de tensões; ϵ_t - deformação de tração máxima

Considerando o objetivo, foram simulados vários níveis de aderência entre as camadas asfálticas constituintes do revestimento, variando de totalmente aderido à sem aderência. Para todas estas simulações, foram determinadas:

- Tensões de tração atuantes na fibra inferior das camadas asfálticas;
- Deslocamentos impostos na superfície da camada de rolamento (CBUQ faixa “C”);
- Tensão vertical no topo da camada de subleito;
- Determinação do número N de vida de fadiga das camadas de rolamento e ligação.

O carregamento imposto para análise foi o respectivo ao eixo padrão de 8,2 toneladas. E o ponto de registro foi na distância média entre os dois pneumáticos, que é o ponto de referência dos registros de deflexões máximas nas avaliações de pavimentos existentes.

3.2 Materiais

Os agregados (britas no. 0, no. 1 e pó-de-pedra) são provenientes de rocha gnaiss, coletados em pedreira comercial, localizada nos limites das cidades de Belo Horizonte e Santa Luzia/MG.

A mistura asfáltica utilizada foi do tipo concreto betuminoso usinado a quente, com uso do cimento asfáltico CAP 50/70 e agregados enquadrados na faixa granulométrica “C” da especificação DNIT 031/2006 ES, apresentada na Tabela 3.2 a seguir.

Tabela 3.2 – Distribuição granulométrica da faixa “C” DNIT 031/2006 ES.

Peneira		% em massa passante
Série ASTM	Abertura (mm)	
3/4"	19,1	100
1/2"	12,7	80 - 100
3/8"	9,5	70 - 90
Nº 4	4,8	44 - 93
Nº 10	2	22 - 50
Nº 40	0,42	8 - 26
Nº 80	0,18	4 - 16
Nº 200	0,075	2 - 10

Com relação aos ligantes para a pintura de ligação, foram empregadas emulsões asfálticas de ruptura rápida, catiônicas, dos tipos RR-1C e RR-2C.

Os geossintéticos utilizados como elemento de reforço foram uma geogrelha e um geotêxtil. A escolha destes materiais seguiu o preconizado na norma ET-DE-P00/43 (DER/SP, 2006).

A geogrelha utilizada foi desenvolvida pela empresa fabricante especificamente para uso em sistemas de reforço e anti-propagação de trincas de camadas asfálticas. É produzida através de filamentos de poliéster e incorpora um geotêxtil não-tecido ultraleve. O material é fornecido com uma cobertura de material betuminoso. Na Figura 3.1, é apresentada a imagem da geogrelha utilizada neste trabalho. Na Tabela 3.3, apresentada a seguir, são expostas as principais informações de propriedades mecânicas e físicas, conforme dados do fabricante.



Figura 3.1 – Imagem da geogrelha utilizada nesta pesquisa (www.huesker.com.br, 2015).

Tabela 3.3 – Propriedades e características da geogrelha (HUESKER, 2015).

Propriedades e características	Valores e descrições
Tipo de produto e matéria-prima	geogrelha de poliéster com revestimento asfáltico, combinada com não-tecido ultra-leve
Abertura da malha	40 mm x 40 mm
Resistência à tração (Long./Transv.):	-
nominal	50 kN/m / 50 kN/m
à 3% de deformação	12 kN/m / 12 kN/m
deformação máxima na resistência nominal (Long./Transv.)	12% / 12%
Rigidez equivalente de aderência no arrancamento	9 N/mm/mm
Eficiência do comportamento em fadiga	100%
Resistência à temperatura:	-
ponto de fusão	250°C
encolhimento < 1%	190°C

O geotêxtil utilizado é do tipo não-tecido, agulhado de filamentos contínuos, 100% poliéster. Na Tabela 3.4, apresentada a seguir, são expostas as principais informações de propriedades mecânicas e físicas, conforme dados obtidos no catálogo do fabricante.

Tabela 3.4 – Propriedades e características do geotêxtil (BIDIM, 2015).

	Propriedade	Unidade	Valor	Norma
Mecânicas	Resistência à tração faixa larga:	-	-	ABNT NBR 12824
	Valor na ruptura - L	kN/m	7,0	-
	Alongamento - L	%	> 50	-
	Valor na ruptura - T	kN/m	6,0	-
	Alongamento - T	%	> 50	-
	Resistência à tração grab:	-	-	ASTM D 4632
	Valor na ruptura - L	N	420	-
	Alongamento - L	%	> 50	-
	Valor na ruptura - T	N	350	-
	Alongamento - T	%	> 50	-
	Rasgo trapezoidal:	-	-	ASTM D 4533
	Valor na ruptura - L	N	190	-
	Valor na ruptura - T	N	170	-
	Puncionamento	N	240	ASTM D 4833
Puncionamento CBR	kN	1,1	ABNT NBR 13359	
Físicas	Comprimento	m	200	-
	Largura	m	2,3 a 4,6	-
	Matéria-prima e tecnologia	-	poliéster	-
	Ponto de fusão	°C	260	-

3.3 Métodos

Na sequência são apresentados os procedimentos que foram realizados durante esta pesquisa.

Para facilitar a compreensão dos métodos adotados, na Figura 3.2 é apresentado um organograma que ilustra os itens que compõem cada etapa do planejamento experimental desta pesquisa.

3.3.1 Ensaios de caracterização dos materiais pétreos e emulsões asfálticas

Para os agregados e as emulsões asfálticas foram realizados os ensaios listados na Tabela 3.5, apresentada a seguir.

Tabela 3.5 - Ensaios de caracterização dos agregados feitos nesta pesquisa.

Materiais	Ensaios	Norma
Agregados	Análise Granulométrica	DNER ME 083/98
	Desgaste por abrasão “Los Angeles”	DNER ME 035/98
	Densidade real dos agregados	DNER ME 081/98
Emulsões	Determinação do resíduo asfáltico por evaporação	ABNT NBR 14376:07
	Viscosidade Saybolt Furol	ABNT NBR 14491:2007
	Peneiramento	ABNT NBR 4393

3.3.2 Dosagem e caracterização das misturas asfálticas.

Para a dosagem da mistura asfáltica, ou seja, a definição correta das proporções entre agregados e ligantes, foi adotado o método Marshall, conforme o preconizado pela norma DNER-ME 043/95.

A definição das temperaturas de aquecimento do ligante para mistura e a compactação foi realizada pela determinação da curva “temperatura x viscosidade”, traçada com os resultados de ensaios de viscosidade Saybolt-Furol, conforme a norma DNER-ME 004/94.

Conforme comentado à frente, o estudo englobou ensaios de cisalhamento com objetivo de avaliar as condições de aderência entre as camadas e os geossintéticos. Afim de parametrizar as condições de superfície dos corpos-de-prova foram realizados ensaios semelhantes ao de mancha de areia segundo norma ASTM E 965-96 (2006), denominados ensaios de mancha de areia modificados.

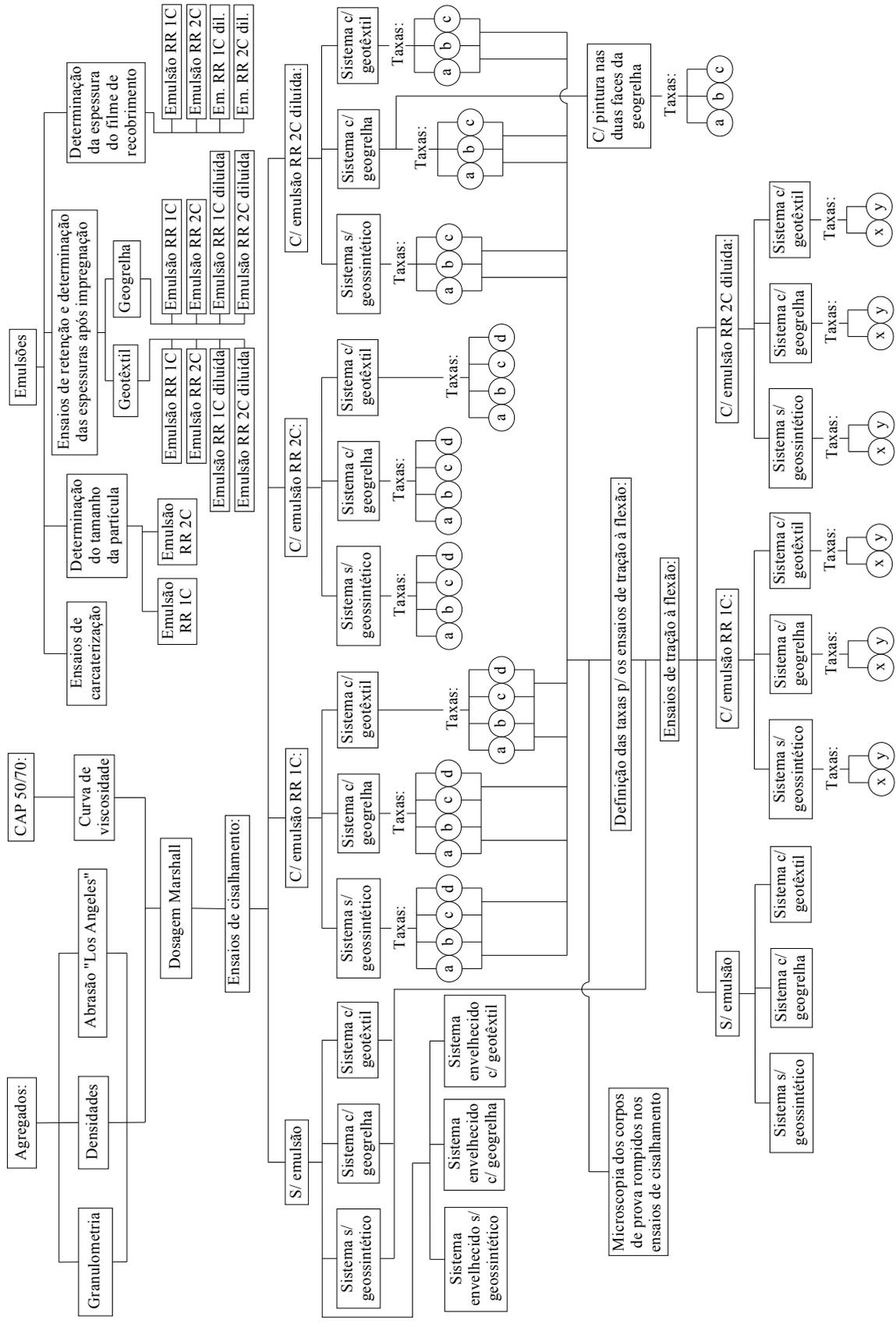


Figura 3.2 – Organograma do planejamento experimental desta pesquisa.

Em síntese, o ensaio de mancha de areia modificado foi procedido através da seguinte rotina:

- Determinação da densidade no estado solto de areia lavada seca (γ_{areia}), em g/cm³;
- Preparação de aproximadamente 10g da areia com densidade conhecida (M_i), em g;
- Posicionamento do corpo-de-prova cilíndrico, com diâmetro de 15cm (área igual a 176,7 cm²), sob um papel (cartolina), de formato quadrado com 40cm de lado;
- Lançamento da areia (M_i) sobre a superfície do corpo de prova, no centro desta;
- Espalhamento da areia sobre a superfície do corpo-de-prova, em movimentos circulares, sem pressão, com o uso de aparelho conforme norma ASTM E 965-96 (2006). Este procedimento foi executado até que todos os vazios superficiais do corpo-de-prova fossem preenchidos, e não mais extravasasse areia pelas laterais;
- Pesagem da areia extravasada, caída sobre a folha de papel (M_f), em g;
- Determinação da massa de areia sobre a superfície do corpo-de-prova ($M_{\text{superfície}}$), através da diferença entre a massa inicial (M_i) e a massa final (M_f);
- Determinação da altura aproximada a mancha de areia (H_{areia}), em mm, conforme a Equação 3.1, apresentada a seguir.

$$H_{\text{areia}} = \left(\frac{M_{\text{superfície}}}{\gamma_{\text{areia}}} \right) \div 17,67 \quad (3.1)$$

A constante 17,67 na equação 3.1 é referente a área de superfície do corpo de prova, em cm² (176,7 cm²), multiplicada por 10 para converter a unidade da altura de mancha de areia de cm para mm.

Para avaliar a homogeneidade dos corpos-de-prova moldados, foram realizados ensaios para a determinação da densidade aparente através da pesagem imersa. Isto permite o cálculo dos graus de compactação (GC). Os valores de GC foram utilizados como parâmetros de aceitação ou descarte dos corpos de prova, sendo aceitos os que atenderam a seguinte condição: $(GC_{\text{médio}} + s) \leq GC \leq (GC_{\text{médio}} - s)$, onde, $GC_{\text{médio}}$ é a média dos GC obtidos e s o desvio-padrão.

Em virtude das dimensões e pesos dos corpos de prova, principalmente as vigas prismáticas que apresentam massa superior a 16kg, foi utilizada uma balança com capacidade de 20kg e precisão de 1g. Foi assumido que esta precisão seria capaz de fornecer os parâmetros

necessários para o presente estudo, apenas verificação de homogeneidade dos corpos de prova. Além disso, considerando a ordem de grandeza das massas dos corpos de prova, variações inferiores a 1g pouco interfeririam nos resultados. Ressalte-se que esta balança foi utilizada apenas para a verificação das densidades dos CPs moldados para os ensaios de cisalhamento e flexão, a utilizada nas dosagens Marshall segue as preconizações da norma, ou seja, precisão de 0,1g.

3.3.3 Preparação dos agregados para moldagem dos corpos-de-prova.

Para minimizar discrepâncias nos corpos-de-prova em virtude de variações granulométricas, que porventura possam existir, todos os agregados, brita 1, 2 e pó foram fracionados nos diâmetros equivalentes às exigências da faixa “C” de distribuição granulométrica da especificação DNIT 031/2006 ES. Para tal, todo o material graúdo foi previamente seco ao ar e o pó-de-pedra seco em estufa a aproximadamente 105°C.

As diversas frações dos materiais foram armazenadas separadamente e quando da composição da mistura para confecção de cada corpo-de-prova, foram coletadas as massas relativas a cada percentual.

3.3.4 Avaliação da aderência.

A avaliação da aderência entre as camadas asfálticas e o elemento de reforço (geossintético) foi procedida através de ensaios de cisalhamento Leutner. O aparato para a execução destes ensaios foi desenvolvido durante a pesquisa segundo modelos de equipamentos já existentes.

O equipamento completo consiste de uma prensa para ensaio Marshall adaptada a um molde padrão que possibilite o cisalhamento de corpos de prova de misturas asfálticas. A rotina de ensaio é bastante simples, consistindo na aplicação de uma carga tangencial na superfície de união entre as camadas, sob uma velocidade constante (50mm/minuto). O resultado é a carga máxima de ruptura e a determinação do módulo de reação de interface (k).

Na Figura 3.3 é ilustrado um esquema do molde fabricado para a realização dos ensaios de cisalhamento Leutner e o aparato utilizado nos ensaios é apresentado na Figura 3.4.

A confecção dos corpos de prova foi feita por meio da compactação estática, com auxílio de prensa hidráulica e forma bipartida desmontável. A forma desmontável permitiu a redução do tempo intermediário entre as compactações, permitindo a remoção dos CPs ainda quentes sem que estes sofressem danos.

A sistemática de moldagem dos corpos-de-prova, obedeceu aos seguintes passos:

- Composição da mistura de agregados, considerando cada fração exigida pela granulometria adotada;
- Produção da mistura asfáltica, respeitando as temperaturas de aquecimento e mistura, do CAP e dos agregados. As misturas foram produzidas individualmente para cada corpo-de-prova. Estas eram deixadas em estufa por 30 minutos a fim de facilitar o controle de temperatura no ato das compactações;
- Preparação da forma metálica, as quais foram aquecidas e untadas;
- Lançamento da primeira camada de mistura asfáltica, numa massa de material solto pré-determinada, homogênea e sob temperatura adequada;
- Compactação da mistura, de forma estática, até que fosse obtida a densidade de projeto, com controle de temperatura;

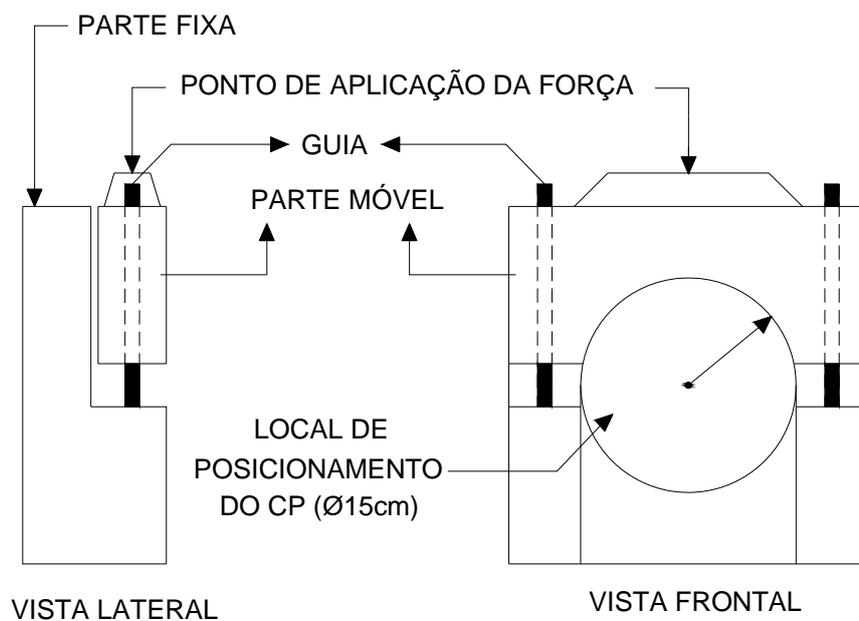


Figura 3.3 - Esquema do molde de cisalhamento Leutner.



Figura 3.4 – Aparato utilizado nos ensaios de cisalhamento Leutner.

- Aplicação da primeira pintura de ligação, sob taxas específicas para cada ensaio;
- Instalação do geossintético (caso existente);
- Aplicação da segunda pintura de ligação, sob taxas específicas para cada ensaio, somente quando do uso de geotêxtil;
- Lançamento da segunda camada de mistura asfáltica, numa massa de material solto pré-determinada, homogênea e sob temperatura adequada;
- Compactação da mistura, de forma estática, até que fosse obtida a densidade de projeto, com controle de temperatura.

Cabe ressaltar que, após a primeira compactação e moldagem da primeira camada do corpo de prova, este foi retirado cuidadosamente da forma bipartida e a continuação da moldagem só foi efetuada após o completo esfriamento da massa, sendo respeitado o intervalo mínimo de 48 horas e máximo de 5 dias.

Para aplicação da pintura de ligação, sob a primeira camada do corpo de prova, o controle das taxas foi efetuado por meio do seguinte procedimento:

- 1º passo: preparação dos corpos de prova com objetivo de evitar a perda pela lateral da emulsão aplicada. O corpo de prova era envolvido lateralmente com fita adesiva, deixando um excesso no topo da ordem de 0,5m, permitindo a criação de uma barreira para a emulsão;
- 2º passo: determinação da massa inicial (M_i), pesagem do conjunto = béquer + bandeja + rolo + colher + emulsão asfáltica, numa balança de precisão de 0,1g;

- 3º passo: determinação da massa final (M_f), $M_f = M_i - M_{emulsão}$, onde $M_{emulsão}$ é a massa de emulsão asfáltica respectiva a cada taxa a ser aplicada;
- 4º: aplicação da emulsão asfáltica sobre a primeira camada do corpo-de-prova, com auxílio da colher e do rolo de espuma, até que a leitura da balança atingisse o valor da massa final determinada.

A aplicação da segunda camada de mistura asfáltica foi efetuada imediatamente após a ruptura total da emulsão aplicada. A verificação da ruptura da emulsão foi constatada quando ocorreu a mudança de cor da mesma, sendo o tempo necessário influenciado pelo tipo de emulsão e temperatura ambiente.

As espessuras das camadas de misturas asfálticas foram de 4 cm cada, sendo então, 8cm a espessura total do corpo-de-prova. Estas medidas permitiram um adequado posicionamento e fixação no aparato de cisalhamento. O diâmetro foi de 15cm, proposto em função das magnitudes das aberturas da geogrelha utilizada.

Na preparação das amostras de geogrelha foi tomado o cuidado de realizar o corte de forma que as malhas não apresentassem disposições variadas, sendo promovidos cortes sob mesmo padrão. O padrão da disposição das malhas nas amostras é apresentado na Figura 3.5.



Figura 3.5 – Disposição da malha alcançada pelo padrão de corte adotado.

Em todas as bases dos CPs (primeira camada), foram realizados os ensaios de mancha de areia modificados, bem como o de densidade aparente. Após a confecção completa dos CPs, foram realizadas novas medidas de densidade e determinados os graus de compactação.

O programa de ensaios de cisalhamento Leutner foi realizado em três sistemas: (i) corpos de prova sem geossintéticos; (ii) corpos de prova com geotêxtil e (iii) corpos de prova com geogrelha. As condições básicas avaliadas foram:

- Com variação da taxa de pintura de ligação, sendo aplicados no mínimo quatro valores para cada sistema;
- Com variação do ligante utilizado na pintura de ligação, emulsão asfáltica RR 1C e RR 2C.

Ressalte-se que também foram efetuados ensaios sem a aplicação de qualquer das emulsões.

Cabe ressaltar que, em função dos resultados iniciais obtidos, o programa básico dos ensaios de cisalhamento foi complementado da seguinte forma:

- Realização de ensaios em corpos de prova moldados em bases (primeira camada) envelhecidas por meio da exposição ao tempo durante o período de 6 meses;
- Realização de ensaios em sistemas com uso da emulsão RR 2C diluída em água, numa razão de 1:1;
- Realização de ensaios em sistemas com uso da emulsão RR 2C diluída em água, numa razão de 1:1, com aplicação de pintura de ligação nas duas faces da geogrelha.

3.3.5 Avaliação do comportamento mecânico de camadas de misturas asfálticas reforçadas com geossintéticos

Para a avaliação do comportamento dos sistemas sem e com reforço de geossintéticos foram utilizados ensaios de tração na flexão em vigas prismáticas, semelhantes aos realizados sobre corpos-de-prova de concreto segundo a norma ABNT NBR 12142.

O aparato para a realização dos ensaios foi desenvolvido durante a pesquisa e é apresentado na Figura 3.6. Os espaçamentos entre os apoios inferiores são os expostos no esquema apresentado na Figura 3.7. A principal diferença entre o molde padrão do ensaio em concreto é a altura dos apoios inferiores, tendo em vista a necessidade de maior liberdade para que ocorram as deformações. Caso fosse utilizado o aparato para ensaios em corpos de prova de concreto, com a aplicação do carregamento e consequente deformação da viga em mistura asfáltica, a amostra seria impedida de se deslocar pela base do aparato.

Os ensaios de tração na flexão foram executados numa prensa Marshall, com aplicação carregamento monotônico referenciado a uma velocidade de 50mm/minuto. Nestes ensaios foram registrados os deslocamentos aplicados e as forças atribuídas a estes, por meio da utilização de LVDTs e células de carga.

As dimensões básicas dos corpos-de-prova são 15cm de base, 10cm de altura e 45cm de comprimento. A moldagem foi realizada por meio de compactação estática com auxílio de prensa hidráulica. Para o alcance das características exigidas, a compactação de cada camada foi feita pela aplicação de três carregamentos em pontos distintos da superfície, como descrito a seguir e exemplificado no esquema da Figura 3.8:

- 1º pressão de compactação: aplicada na superfície e na região central, com carga de 75 toneladas;
- 2º pressão de compactação: aplicada na superfície direita do corpo-de-prova, com ponto de carregamento a 7,5cm da borda, com carga de 60 toneladas;
- 3º pressão de compactação: aplicada na superfície esquerda do corpo-de-prova, com ponto de carregamento a 7,5cm da borda, com carga de 60 toneladas.



Figura 3.6 – Aparato utilizado para os ensaios de tração na flexão.

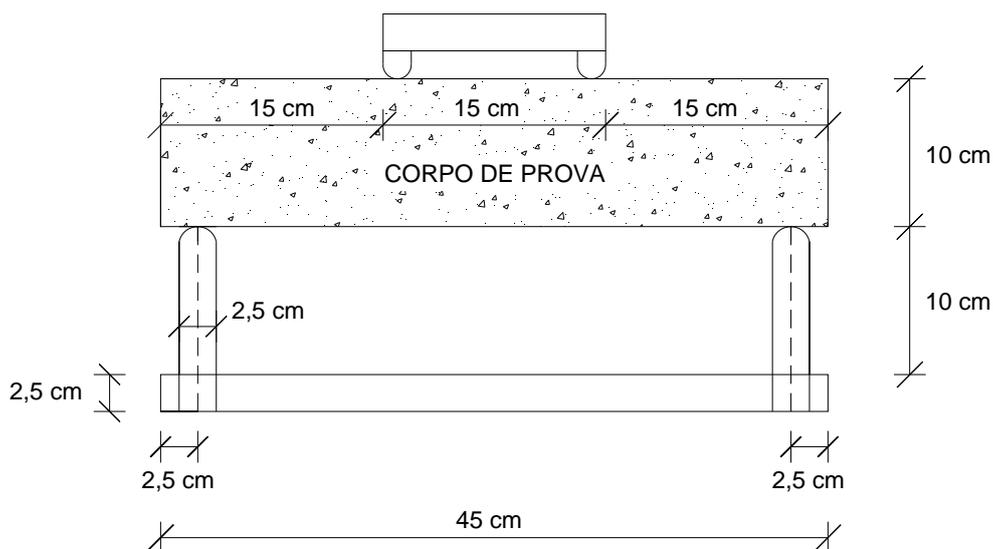


Figura 3.7 – Ilustração esquemática do aparato para o ensaio de tração na flexão.

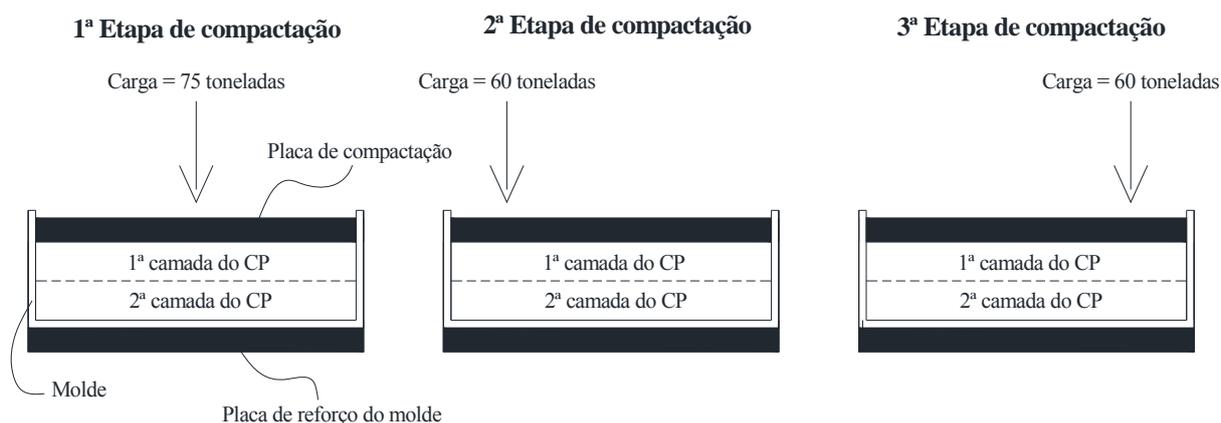


Figura 3.8 – Esquema de posicionamento das cargas para a compactação dos CPs prismáticos.

As cargas de compactação mencionadas anteriormente foram determinadas através de tentativas de moldagem de corpos de prova até que fossem obtidos graus de compactação aceitáveis, bem como, paralelismo entre as faces da viga de mistura asfáltica. As cargas aplicadas nas extremidades foram menores para que não ocorresse deformações na superfície da amostra.

Cabe ressaltar que, todo o processo de moldagem foi executado sem que ocorressem variações de temperatura da massa. Isto foi garantido por meio de determinações de temperatura com uso de termômetros.

Antes da retirada da última carga de compactação, esta compressão permaneceu por um período de no entorno de 15 minutos, com objetivo de que não ocorresse variações do arranjo alcançado com as compactações.

Na moldagem dos corpos de prova das vigas prismáticas foi utilizado um molde totalmente desmontável. Semelhante às moldagens dos corpos-de-prova para os ensaios de cisalhamento, a forma desmontável permitiu a redução do tempo intermediário entre as compactações e, permitiu a remoção dos CPs ainda quentes sem que estes sofressem danos.

As etapas para a moldagem dos corpos de prova e o modo de aplicação e controle das taxas de pintura de ligação foram as mesmas descritas para a confecção dos corpos-de-prova utilizados nos ensaios de cisalhamento. Cabe ressaltar que também foram procedidas as determinações das densidades aparentes por pesagem imersa para obtenção dos graus de compactação.

O programa de ensaios de tração na flexão também foi realizado nos três sistemas: (i) corpos de prova sem geossintéticos; (ii) corpos de prova com geotêxtil e (iii) corpos de prova com geogrelha. As condições básicas avaliadas foram:

- Com variação da taxa de pintura de ligação, sendo aplicados dois valores para cada sistema: um deles foi da ordem da taxa necessária para obtenção da força resistente ao cisalhamento de 12 kN nos ensaios de cisalhamento e, o outro, o dobro desta taxa em média;
- Com variação do ligante utilizado na pintura de ligação e emulsão asfáltica RR 1C e RR 2C.

Ressalte-se que também foram feitos ensaios sem a aplicação de qualquer das emulsões.

3.3.6 Ensaios de retenção de resíduo da emulsão asfáltica

Com objetivo de comparar as taxas aplicadas nos ensaios de resistência e desempenho dos sistemas, foram realizados ensaios para a determinação das taxas de retenção das emulsões. Estes ensaios seguiram os procedimentos indicados na norma ASTM D6140 (2009), à exceção do ligante asfáltico. A geogrelha também foi avaliada, uma vez que ela é composta por um geotêxtil ultrafino.

Em síntese, o ensaio consiste em inundar uma amostra de geossintético (20cm de comprimento e 10 cm de largura) em emulsão asfáltica. Esta amostra permanece inserida na emulsão durante 30 minutos e, após este período, é retirada e deixada em local protegido até que o ligante seque completamente. A massa de resíduo retida é determinada através da diferença entre as massas da amostra após o ensaio e antes, ainda na condição sem qualquer tipo de impregnação.

A norma ASTM D6140 (2009) define que a taxa de retenção segue a relação exposta pela Equação 3.2.

$$\text{Taxa de retenção} = \left[\frac{\text{Massa de resíduo}}{\text{Área do corpo de prova}} \div \text{densidade do resíduo} \right] \left(\frac{l}{m^2} \right) \quad (3.2)$$

Foram executados os ensaios conforme está apresentado na Tabela 3.6. Também foram avaliadas as emulsões diluídas em água, numa razão 1:1. O valor escolhido como representativo de cada situação foi a média de três corpos-de-prova.

Tabela 3.6 – Condições de realização dos ensaios de retenção

Geossintético	Emulsão	Quantidade de ensaios
Geotêxtil	RR 1C	3
	RR 1C diluída	3
	RR 2C	3
	RR 2C diluída	3
Geogrelha	RR 1C	3
	RR 1C diluída	3
	RR 2C	3
	RR 2C diluída	3
Total =		24

3.3.7 Microscopia dos geossintéticos impregnados

A fim de avaliar visualmente a condição do filme de cobertura de resíduo nos materiais geossintéticos e as condições dos geossintéticos após a ruptura dos corpos de prova, foram realizadas análises de microscopia óptica em uma lupa binocular, marca Callmex, modelo Q735S – TZ, com aumento de 120 vezes e com registro fotográfico. As imagens foram obtidas das amostras provenientes dos ensaios de retenção e dos corpos-de-prova rompidos dos ensaios de cisalhamento.

3.3.8 Determinação do tamanho das partículas das emulsões

Para auxílio, foram procedidas medições do tamanho das partículas em suspensão das emulsões. Para tal, foi utilizado o equipamento modelo HORIBA LA-300, do laboratório da Petrobras (Rio de Janeiro). O procedimento é baseado no fenômeno de espalhamento de luz pelas partículas, sendo o ângulo de espalhamento proporcional ao tamanho destas. Faz-se

através da passagem de um feixe de laser através de uma película da suspensão e mede-se a intensidade da luz espalhada em diversos ângulos. A cada ângulo corresponde um tamanho de partícula, e quanto maior a intensidade da luz espalhada nesse ângulo, maior o percentual de partículas com esse tamanho presente na suspensão.

3.3.9 Determinação da espessura do filme de resíduo de recobrimento

Para a determinação das espessuras dos filmes de recobrimento dos materiais pelo resíduo asfáltico das emulsões foi utilizado o equipamento para medida de espessuras de geotêxteis, segundo a Norma ABNT NBR 12569:1992. Trata-se de um extensômetro digital acoplado, por um suporte, à uma base rígida. Na Figura 3.9 é apresentada a imagem do equipamento. As medidas foram efetuadas sobre as amostras de geossintéticos utilizados nos ensaios de retenção e sobre camadas de resíduo aplicadas numa superfície padrão.



Figura 3.9 – Equipamento utilizado para determinação de espessuras (SANTOS, 2014).

a Determinação da espessura dos filmes sobre as amostras dos ensaios de retenção

A espessura de cobertura por resíduo asfáltico nas amostras de geotêxtil e geogrelha foi obtida conforme o seguinte procedimento:

- 1º passo - sobre os materiais virgens: determinação da espessura do geotêxtil, conforme metodologia padrão. Ressalte-se que também foram realizadas medidas sobre a geogrelha, devido a existência de um geotêxtil ultraleve entre as malhas. Assim, para as geogrelhas a espessura determinada foi a deste material componente. Esta espessura foi denominada $E_{inicial}$ (mm);
- 2º passo: determinação das espessuras dos geossintéticos impregnados pelo resíduo de material betuminoso das emulsões asfálticas, E_{final} (mm). Para tal foram tomadas medidas em 5 pontos das amostras, 4 nas extremidades e 1 no centro. Estas determinações foram realizadas após completa secagem do material betuminoso.
- 3º passo: obtenção da espessura do filme de resíduo de recobrimento, conforme a equação 3.3. Ressalte-se que, foi assumido que o recobrimento é homogêneo em toda a área externa do corpo de prova.

$$E_{filme} = E_{final} - E_{inicial} \quad (3.3)$$

Onde:

E_{filme} – espessura do filme de resíduo que recobre as duas faces dos geotêxteis (mm);

E_{final} – espessura dos geotêxteis impregnados com o resíduo de material betuminoso (mm);

$E_{inicial}$ – espessura dos geotêxteis virgens, antes do ensaio de retenção (mm).

b Determinações sobre uma superfície padrão

A fim de comparar as espessuras de recobrimento pelo resíduo sobre uma superfície idêntica em todos os testes, foram aplicadas taxas de pintura de ligação sobre recipiente impermeável, liso e com área conhecida. Para tal foram utilizadas as emulsões sem diluição, com taxas de pintura da ordem de 0,5 l/m² e 1,0 l/m², e as emulsões diluídas com taxas de aplicações da ordem de 1,0 l/m² e 2,0 l/m².

Previamente à aplicação dos banhos de emulsão, os recipientes foram posicionados em uma bancada perfeitamente nivelada, de tal forma que as espessuras do filme não ficassem com grandes variações.

Após a aplicação das emulsões, aguardou-se o tempo necessário para total ruptura das mesmas para que os recipientes fossem retirados dos locais. Depois, os recipientes foram pesados para que posteriormente as taxas de resíduo fossem conferidas.

3.3.10 Procedimentos elaborados para a pesquisa

Para auxiliar o entendimento de alguns dos procedimentos não normatizados utilizados na pesquisa, são apresentados no Anexo 1 procedimentos com recomendações e instruções dos ensaios. São apresentados:

- PROCEDIMENTO A – Ensaio de cisalhamento direto em corpos de prova de misturas asfálticas com ou sem o uso de geossintéticos
- PROCEDIMENTO B – Ensaio de mancha de areia modificado
- PROCEDIMENTO C – Ensaio de tração à flexão em vigas prismáticas de mistura asfáltica com ou sem o uso de geossintéticos
- PROCEDIMENTO D – Determinação das espessuras de recobrimento por resíduo asfáltico de emulsão asfálticas em geossintéticos
- PROCEDIMENTO E – Determinação das espessuras de recobrimento por resíduo asfáltico de emulsão asfálticas em superfície padrão

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos e as análises efetuadas são apresentados a seguir. Ressalte-se que, no item Anexo 2 são apresentados dados complementares dos ensaios e resultados comentados a seguir.

4.1 Resultados da análise computacional

De posse dos resultados das simulações do comportamento da estrutura do pavimento, verificou-se uma relação de dependência considerável de desempenho com o nível de aderência entre as camadas de revestimento. Na Tabela 4.1, a seguir, são indicadas as respostas ao carregamento em termos de tensões, deformações, deslocamentos e vida de fadiga. Ressalte-se que os níveis de aderência apresentados na tabela 4.1 consideram a relação de dependência exponencial adotada no AEMC, sendo o valor 0 para camadas totalmente aderidas e 100.000 o extremo oposto, não aderidas.

Tabela 4.1 - Resultados das análises da estrutura do pavimento

Nível de Aderência	Deflexão (x0,01mm)	Tensão vertical no topo da camada do subleito (MPa)	Tensão de tração máxima (MPa) na "fibra" inferior da camada:		Vida de Fadiga (N) da camada de (*)			
					Ligação		Rolamento	
			Ligação	Rolamento	modelo: "tensão"	modelo: "def."	modelo: "tensão"	modelo: "def."
0	74,15	0,0975	-0,714	-	1,83E+07	1,61E+07	8,70E+08	-
0,1	74,15	0,0975	-0,714	-	1,83E+07	1,61E+07	8,70E+08	-
1	74,15	0,0975	-0,714	-	1,83E+07	1,61E+07	8,70E+08	-
10	85,61	0,1059	-0,860	-0,204	1,10E+07	1,01E+07	5,07E+07	9,90E+07
100	90,36	0,1139	-0,920	-0,479	9,00E+06	8,45E+06	1,92E+07	2,39E+07
1.000	92,35	0,1159	-0,925	-0,538	8,79E+06	8,31E+06	1,63E+07	1,90E+07
10.000	92,58	0,1161	-0,925	-0,545	8,77E+06	8,31E+06	1,59E+07	1,86E+07
100.000	92,61	0,1162	-0,925	-0,546	8,77E+06	8,31E+06	1,59E+07	1,86E+07

Nota: Adotados os fatores de campo/laboratório sugeridos por Pinto e Preussler (2010).

Para o caso analisado, nota-se que a posição da linha neutra é alterada de tal modo que a camada de rolamento (CBUQ faixa "C") pode experimentar tensões de tração ou permanecer totalmente comprimida. Quando consideradas os níveis de aderência entre 0 a 1, a linha neutra é localizada no interior da camada de ligação. Isto implica diretamente na vida de fadiga dos materiais, sendo que ocorre redução com a perda da aderência.

As deformações e deslocamentos (deflexões), experimentados pela estrutura quando carregada também se modificam com a condição de contato entre as camadas. Quando totalmente aderidas, estas apresentam um melhor desempenho.

Isto posto, apesar de parecer um serviço secundário por muitos na construção de pavimentos, a deficiência na pintura de ligação pode resultar no sub-dimensionamento da estrutura, reduzindo bruscamente seu desempenho e, conseqüentemente, sua vida útil.

Ressalta-se que, a simulação com o uso de geossintéticos como elemento de reforço não foram realizadas em virtude da impossibilidade de inserção destes materiais nos softwares utilizados.

O intuito desta análise é de apenas ilustrar de forma qualitativa o grau de dependência entre os estados de tensões e deformações gerados como respostas dos esforços solicitantes e a condição de aderência entre as camadas que compõem o revestimento.

4.2 Caracterização dos materiais pétreos e dosagem da mistura asfáltica

Os resultados dos ensaios de desgaste por abrasão “Los Angeles” e de densidades real e aparente são apresentados na Tabela 4.2. Observa-se que o valor de abrasão obtido mostra que, o material é adequado para o uso, uma vez que, por este critério, é inferior a 50%, valor máximo de perda de material por desgaste abrasivo estabelecido na norma DNIT 031/2006-ES. Sobre as densidades, necessárias à dosagem Marshall, os valores obtidos se enquadram na faixa de valores típicos para a rocha gnaisse.

Tabela 4.2 - Resultados de abrasão “Los Angeles” e densidades dos agregados

Dado	Material	Resultado
Densidade real	Brita 1	2,717 g/cm ³
	Brita 0	2,694 g/cm ³
Densidade aparente	Brita 1	2,695 g/cm ³
	Brita 0	2,646 g/cm ³
Abrasão "Los Angeles"	-	20%

Para a definição da composição dos agregados para enquadramento na faixa “C” da especificação do DNIT 031/2006-ES, foram realizados 9 (nove) ensaios de granulometria para cada classificação (brita 1, 0 e pó de pedra). A média dos resultados é apresentada na Tabela 4.3. De posse destes valores, foi definido por tentativa, que os percentuais correspondentes a cada fração para compor a distribuição granulométrica da mistura são: 10% de brita 1 + 45% de brita 0 + 45% de pó-de-pedra. Na Figura 4.1, é apresentada a curva de distribuição granulométrica adotada, perfeitamente compreendida entre os limites propostos para o CBUQ faixa “C”.

Tabala 4.3 - Granolometria dos agregados e da mistura composta

Peneira		% passante dos agregados			
Série ASTM	Abertura (mm)	Brita 1	Brita 0	pó-de-pedra	Mistura de agreg.
1"	25,4	100,0	100,0	100,0	100,0
3/4"	19,1	97,6	100,0	100,0	100,0
1/2"	12,7	43,1	100,0	100,0	94,3
3/8"	9,5	2,9	88,6	100,0	85,2
Nº 4	4,8	0,3	13,1	94,5	48,5
Nº 10	2	0,4	0,8	65,1	29,7
Nº 40	0,42	0,0	0,6	30,4	14,0
Nº 80	0,18	0,0	0,5	17,7	8,2
Nº 200	0,075	0,0	0,4	8,8	4,1

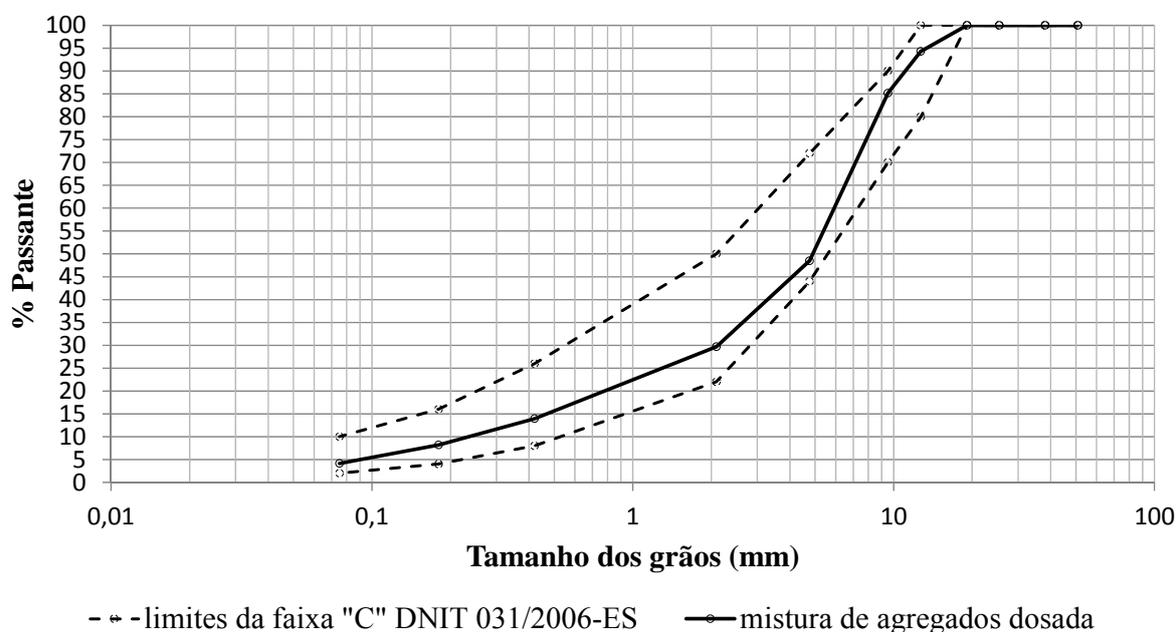
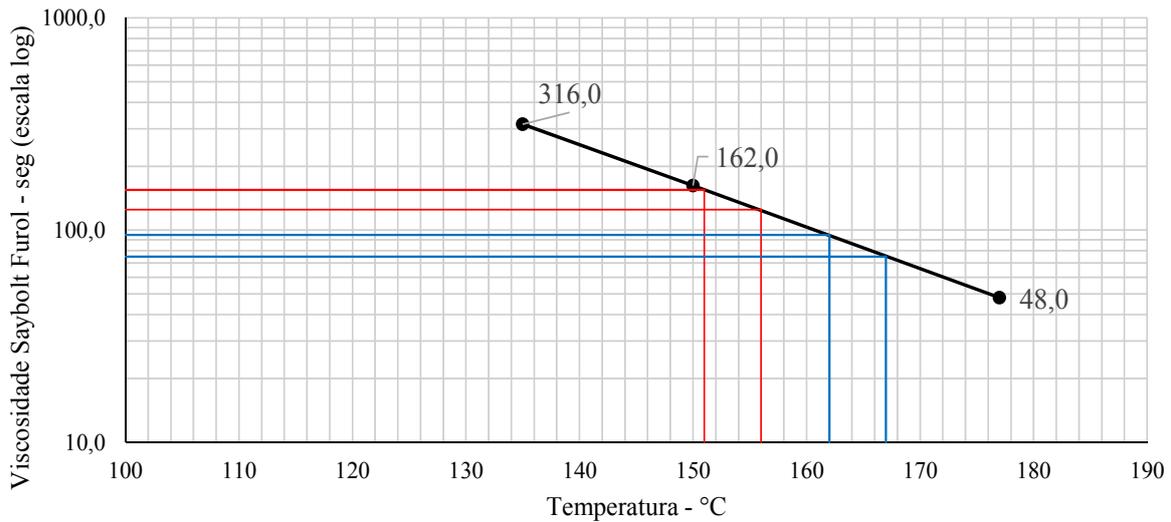


Figura 4.1 – Curva granulométrica adotada para a mistura asfáltica desta pesquisa.

Considerando a importância da viscosidade quando da fabricação e compactação da mistura, foram realizados ensaios num viscosímetro Saybolt Furol e determinada uma curva temperatura x viscosidade para o cimento asfáltico de petróleo CAP 50/70 utilizado, mostrada na Figura 4.2. Por meio desta curva foi possível determinar as faixas de temperaturas adequadas para o aquecimento e mistura do CAP com agregados, temperatura de aquecimento dos agregados e para a compactação da mistura. Os resultados são apresentados na Tabela 4.4. Estes intervalos de valores foram obedecidos em todos os trabalhos desta pesquisa.



● curva — Intervalo de temperatura para aquecimento — Intervalo de temperatura para compactação

Figura 4.2 – Curva temperatura x viscosidade obtida para o material CAP 50/70.

Tabela 4.4 - Temperaturas de mistura e compactação

Momento		Temperatura (°C)	
		Mínima	Máxima
Mistura	CAP	162	167
	agregados	172	177
Compactação		151	156

Definidas as composições de agregados, procederam-se os ensaios de dosagem Marshall para definição do teor ótimo de cimento asfáltico de petróleo. O procedimento prevê que sejam avaliados os valores de densidade aparente, estabilidade, % de vazios, relação betume-vazios (RBV) e fluência na mistura compactada. O teor de CAP correspondente à máxima densidade, não permitiu o enquadramento de todas os parâmetros. Na Tabela 4.5 são apresentados os resultados correspondentes ao teor de CAP adotado e na Figura 4.3, as curvas elaboradas para o procedimento de dosagem. Nas Figuras 4.4 e 4.5 são apresentadas imagens de alguns dos corpos de prova, em banho maria, utilizados na dosagem e da execução dos ensaios de estabilidade e fluência.

Tabela 4.5 - Resultados da dosagem Marshall.

Dado	Resultado	Especificações	
		mínimo	máximo
Densidade	2,407 g/cm ³	-	-
Porcentagem de vazios	3,05%	3%	5%
Relação betume/vazios	80	75	82
Estabilidade	830 kgf	500 kgf	-
Fluência (x0,1mm)	32	20	46
Teor de CAP adotado (sobre massa de agregados)	5,2%	-	-



Figura 4.4 – Corpos de prova de mistura asfáltica em banho maria para preparação para ensaio de estabilidade.



Figura 4.5 – Equipamento preparado com o corpo de prova dentro do molde para determinação estabilidade e fluência nesta pesquisa.

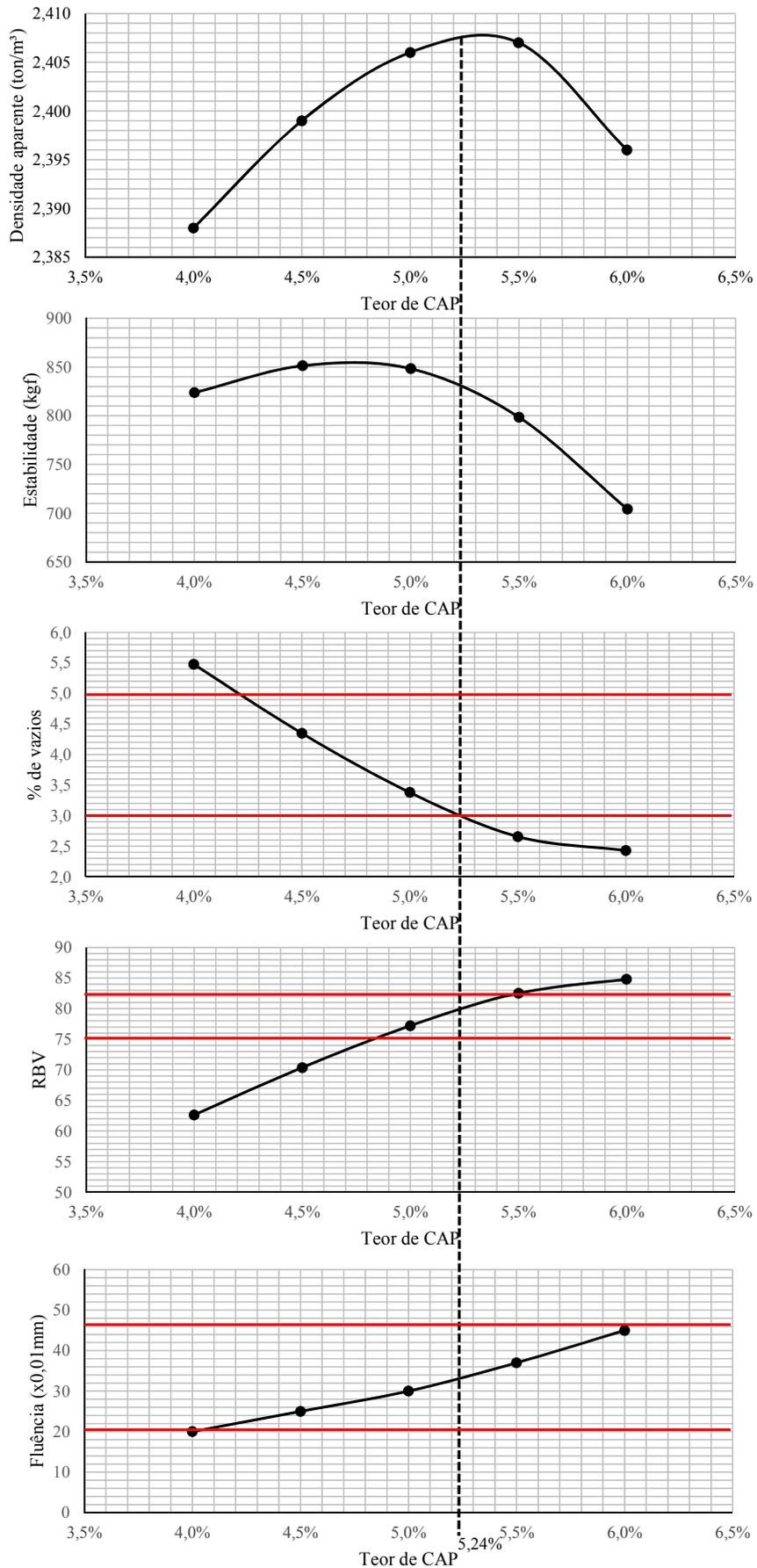


Figura 4.3 – Curvas da dosagem Marshall do concreto asfáltico desta pesquisa.

4.3 Caracterização das emulsões asfálticas

Foram procedidos ensaios para caracterização das emulsões utilizadas. Os resultados destes ensaios são apresentados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Resultados dos ensaios das emulsões asfálticas utilizadas neste pesquisa.

Dados	Emulsão RR 1C	Emulsão RR 2C
Resíduo	62%	68,0%
Viscosidade Saybolt Furol	37s	201s
Retido na peneira N° 20.	0,0%	0,0%

4.4 Ensaios para avaliação da aderência

Para a realização dos ensaios de cisalhamento direto sem a aplicação de força normal, os corpos de prova (CPs) foram moldados com base nos percentuais definidos na dosagem apresentada, sendo respeitadas todas as faixas de temperaturas. Conforme exposto no capítulo 3, os CPs foram confeccionados em duas camadas, sendo que entre elas eram aplicadas a pintura de ligação e o geossintético. Na verificação da condição de qualidade dos corpos de prova, foram realizadas medidas de densidades aparentes com o objetivo da determinação dos graus de compactação (GC). Na Tabela 4.7 são apresentados os valores de GC obtidos nos corpos de prova efetivamente ensaiados.

Tabela 4.7 - Graus de compactação dos corpos de prova para os ensaios de cisalhamento desta pesquisa

Geossintético	Corpos-de-prova utilizados com a emulsão:								
	Emulsão RR 1C			Emulsão RR 2C			Emulsão RR 2C - diluída		
	CP n°	Taxa de resíduo (l/m²)	GC (%)	CP n°	Taxa de resíduo (l/m²)	GC (%)	CP n°	Taxa de resíduo (l/m²)	GC (%)
s/ geossintético	100	0,00	97,25	-	-	-	-	-	-
	101	0,13	96,89	111	0,12	97,30	121	0,20	96,78
	102	0,25	97,61	112	0,47	98,31	122	0,41	97,51
	103	0,44	96,74	113	0,79	97,63	123	0,68	98,15
	104	0,56	98,01	114	0,95	97,91	-	-	97,50
	105	1,15	97,32	-	-	-	-	-	-
c/ geogrelha	200	0,00	98,45	-	-	-	-	-	-
	201	0,20	97,65	211	0,19	97,83	221	0,27	97,86
	202	0,40	97,86	212	0,43	97,67	222	0,41	97,57
	203	0,56	96,96	213	0,79	97,68	223	0,68	97,66
	204	0,61	98,21	214	0,95	97,59	-	-	-
c/ geog. e pintura aplicada nas duas faces	-	-	-	-	-	-	421	0,27	98,21
	-	-	-	-	-	-	422	0,41	98,00
	-	-	-	-	-	-	423	0,68	97,77
c/ geotêxtil	300	0,00	98,02	-	-	-	-	-	-
	301	0,18	97,54	311	0,19	97,51	321	0,20	97,47
	302	0,42	97,02	312	0,48	97,38	322	0,55	97,29
	303	0,86	96,99	313	1,06	97,33	323	0,75	97,36
	304	1,43	97,98	314	1,59	97,49	-	-	-

Conforme o exposto na tabela 4.7, nota-se que todos os CPs apresentaram condições semelhantes de densidade, sendo que o valor da carga de compactação necessária é da ordem de 115 toneladas.

Considerando que a textura superficial interfere nas condições de aderência entre as camadas, foram realizadas medidas de altura de mancha de areia, na 1ª parte do corpo de prova, conforme um procedimento modificado e apresentado no Capítulo 3. O objetivo destas verificações foi de garantir que todos os ensaios estivessem num mesmo padrão. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 4.8. Os valores indicam que a superfície pode ser considerada muito fina ou muito fechada.

Tabela 4.8 - Resultados dos ensaios modificados de mancha de areia nas faces dos corpos de prova desta pesquisa

Geossintético	Corpos de prova utilizados com a emulsão:					
	Emulsão RR 1C		Emulsão RR 2C		Emulsão RR 2C - diluída	
	CP n°	Altura de areia (mm)	CP n°	Altura de areia (mm)	CP n°	Altura de areia (mm)
s/ geossintético	100	0,10	-	-	-	-
	101	0,17	111	0,17	121	0,16
	102	0,11	112	0,15	122	0,15
	103	0,12	113	0,15	123	0,15
	104	0,18	114	0,16	-	-
	105	0,18	-	-	-	-
	média	0,14	média	0,16	média	0,15
c/ geogrelha	200	0,18	-	-	-	-
	201	0,15	211	0,12	221	0,14
	202	0,12	212	0,09	222	0,14
	203	0,16	213	0,10	223	0,16
	204	0,17	214	0,11	-	-
	média	0,16	média	0,10	média	0,15
c/ geog. e pintura aplicada nas duas faces	-	-	-	-	421	0,16
	-	-	-	-	422	0,13
	-	-	-	-	423	0,12
	-	-	-	-	média	0,14
c/ geotêxtil	300	0,13	-	-	-	-
	301	0,09	311	0,13	321	0,14
	302	0,10	312	0,13	322	0,14
	303	0,10	313	0,14	323	0,12
	304	0,10	314	0,16	-	-
	média	0,10	média	0,14	média	0,13

Para que as taxas de pintura de ligação aplicadas fossem garantidas, em função da possibilidade do transbordamento lateral no corpo de prova, o mesmo foi envolvido por uma fita adesiva de tal forma que esta ficasse cerca de 0,5cm acima da superfície que receberia a pintura. Na Figura 4.6 são apresentadas imagens da camada inferior envolvida por fita adesiva (a), após a ruptura da emulsão (b), bem como, um corpo de prova completamente moldado (c).

A fim de avaliar o comportamento dos sistemas quando da inexistência da pintura de ligação, foram realizados ensaios de cisalhamento nesta condição. Os resultados iniciais obtidos superaram as expectativas, principalmente para os sistemas sem geossintéticos e aquele com geotêxtil, haja vista os altos valores de resistência alcançados. Para efeito de averiguar os resultados, foram procedidas repetições dos ensaios, que não resultaram em alterações nas magnitudes dos valores encontrados. Partindo da premissa de que as altas resistências foram obtidas porque o material betuminoso presente na 1ª camada do corpo de prova ainda estaria com suas propriedades muito próximas das originais, ou seja, o material não sofreu com processo de envelhecimento ou oxidação, foram preparadas novas amostras as quais foram expostas ao tempo (chuvas e sol) com vistas ao seu envelhecimento, por um período de 6 meses. Durante este período os corpos de prova foram colocados sobre o telhado do laboratório. Depois disto, novos ensaios foram efetuados nestes corpos de prova. Os resultados médios obtidos em todos os testes de cisalhamento direto para os sistemas sem pintura de ligação são apresentados a seguir na Figura 4.7.



(a) base do CP preparada para a aplicação da pintura de ligação

(b) emulsão rompida

(c) CP moldado

Figura 4.6 – Corpos de prova para os ensaios de cisalhamento.

Conforme apresentado na Figura 4.7, a premissa foi confirmada pelos resultados obtidos sobre os corpos de prova envelhecidos. Ocorreram reduções de resistência em todos os sistemas estudados, em média de 15% para os sistemas sem geossintético e com geogrelha e de 27% para o com geotêxtil. Cabe ressaltar que estas são respostas para apenas 6 meses de exposição às intempéries e, sem qualquer aplicação de esforço, principalmente abrasivo. Portanto, é previsível que para os casos de restauração de pavimentos existentes as alterações possam ser ainda maiores.

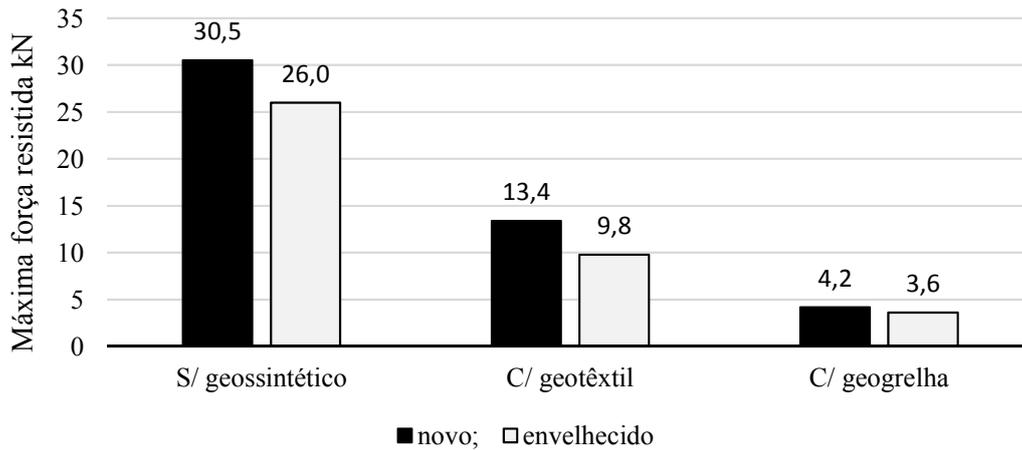


Figura 4.7 – Resultados dos ensaios de cisalhamento sem pintura de ligação nesta pesquisa.

Nas Figuras 4.8 e 4.9, são apresentados os valores das máximas forças resistidas nos ensaios de cisalhamento por tipo de emulsão estudado. Considerando os percentuais de resíduo de material betuminoso nas emulsões, as taxas representadas são as corrigidas para taxas de resíduo.

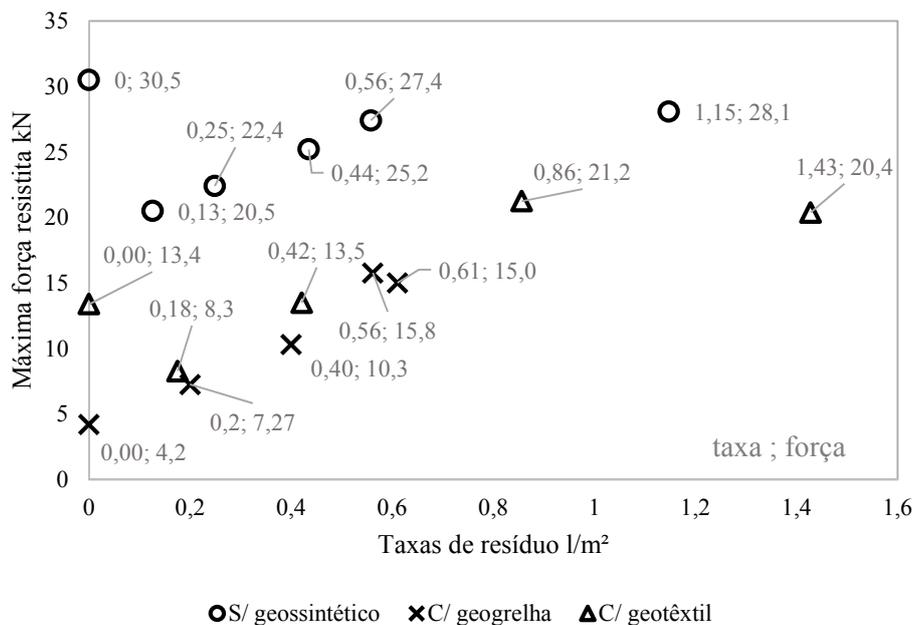


Figura 4.8 – Resultados dos ensaios de cisalhamento com uso da emulsão RR 1C na pesquisa.

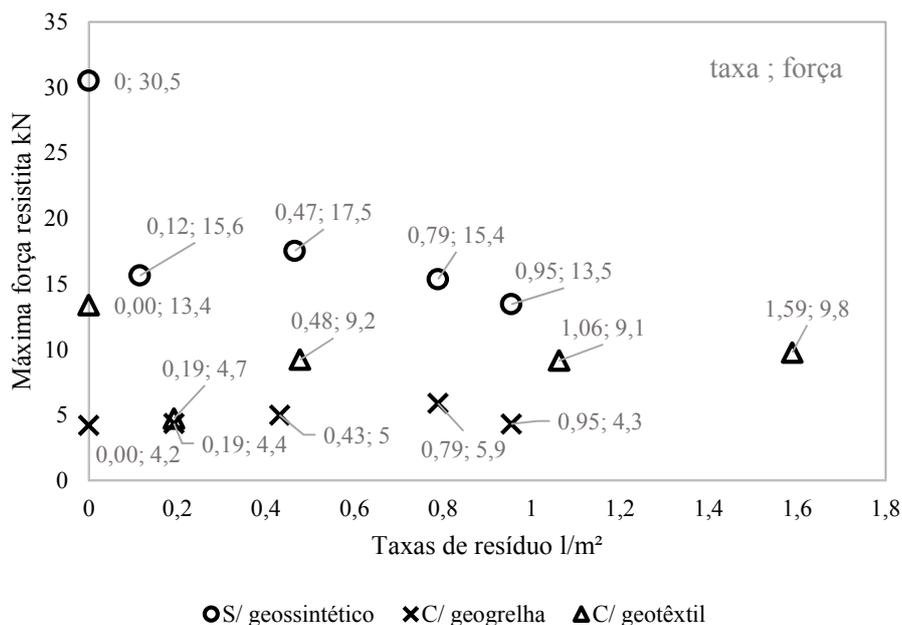


Figura 4.9 – Resultados dos ensaios de cisalhamento com uso da emulsão RR 2C nesta pesquisa.

Pelo exposto nas figuras 4.8 e 4.9, pode-se notar que para ambas as emulsões utilizadas ocorreram reduções dos valores de resistência quando da inserção dos geossintéticos, sendo esta tendência mais pronunciada para os sistemas com geogrelha. Com o uso da emulsão RR 1C, os resultados dos sistemas com geossintéticos foram muito próximos, considerando o intervalo de taxas de resíduo entre 0,18 a 0,61 l/m².

Para as duas emulsões utilizadas, exceto para o sistema com uso de geogrelha, verificou-se a queda de resistência quando aplicada uma mínima taxa de pintura. Acredita-se que para o sistema sem geossintético o fato pode estar relacionado com a criação de um filme de resíduo insuficiente para promover a adequada ligação entre as camadas e suficiente para inibir a boa ligação promovida pelo CAP presente na superfície da mistura. Para o sistema com geotêxtil, em função da grande área de contato, o raciocínio feito para o sistema sem geossintético pode ser estendido.

Considerando que, para sistemas de reforço com emulsão RR 1C e uso de geossintético o valor mínimo para a força de cisalhamento resistida é de 12 kN, a adequada aplicação da emulsão do tipo RR 1C permite reverter o fato da queda de resistência gerada pela inclusão do geotêxtil e geogrelha. Para tal, as taxas mínimas de resíduo são de 0,36 e 0,46 l/m², respectivamente para o uso de geotêxtil e geogrelha. O mesmo raciocínio não pôde ser aplicado para o uso da emulsão RR 2C, haja vista que, todas as taxas aplicadas não refletiram no alcance de forças resistentes

ao cisalhamento superiores a 12 kN. Assim, para buscar a compreensão deste comportamento obtido com a emulsão RR 2C, foi realizada uma nova campanha de ensaios, com a emulsão RR 2C diluída em água, numa razão 1:1, semelhante ao proposto pela norma DNIT 145/2012-ES. Os resultados obtidos são mostrados na Figura 4.10.

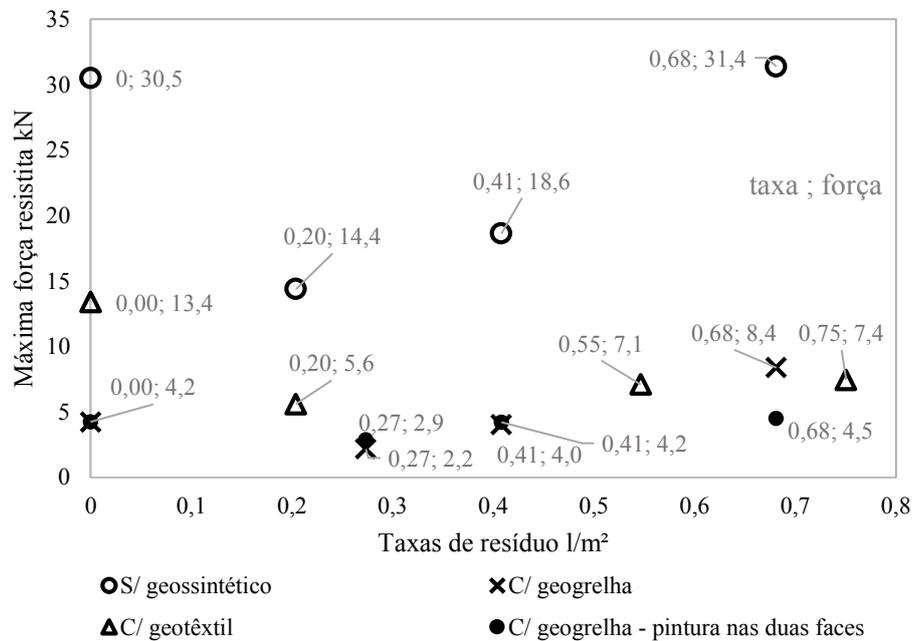


Figura 4.10 – Resultados dos ensaios de cisalhamento com uso da emulsão RR 2C diluída nesta pesquisa.

Como pode ser observado na figura 4.10, a diluição da RR 2C resultou em alterações e ganhos significativos apenas para o sistema sem uso de geossintéticos e para taxas de resíduo superiores a 0,4 l/m². Com vistas a verificar a qualidade da emulsão utilizada, nova amostra de ligante foi coletada e, imediatamente foram realizados os ensaios de conferência, os quais confirmaram os valores obtidos anteriormente e permitiram concluir que, para o caso, a força resistente é muito pouco dependente da taxa de ligante aplicada. Com o propósito de melhorar o comportamento do sistema com uso de geogrelha, foram realizados outros ensaios, agora com pintura de ligação nas duas faces do geossintético, semelhante ao procedimento executado no geotêxtil. Este procedimento não interferiu no comportamento do sistema, conforme pode ser visto na figura 4.10.

As três taxas de emulsão RR 2C diluída aplicadas foram limitadas em virtude da dificuldade de aplicação da pintura sobre os CPs, haja visto que o ligante ficou numa condição mais líquida e, portanto mais propenso ao transbordamento pelas laterais da amostra.

Para melhor visualização e possibilidade de confronto do mesmo sistema com uso das diferentes emulsões asfálticas, nas Figuras 4.11 a 4.13 são apresentados os resultados dos ensaios de cisalhamento por sistema: sem geossintético, com uso de geogrelha e com uso de geotêxtil.

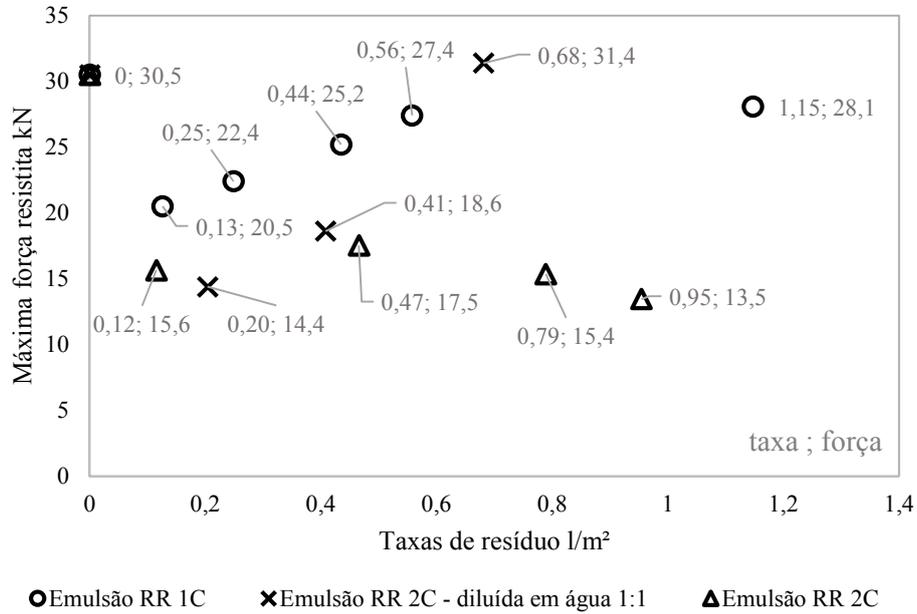


Figura 4.11 – Resultados dos ensaios de cisalhamento para o sistema sem uso de geossintéticos

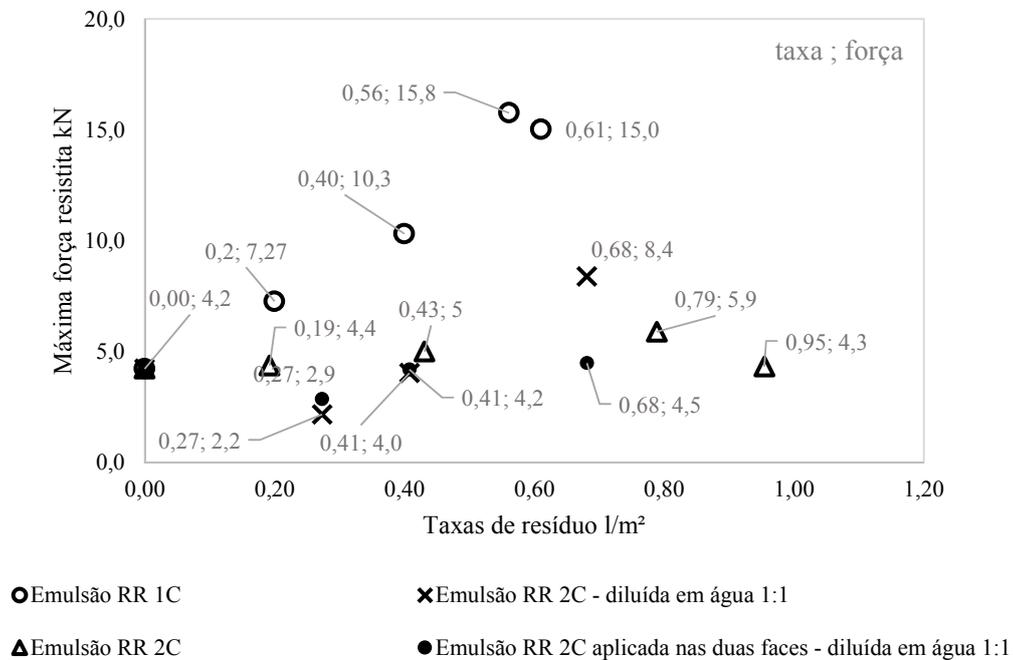


Figura 4.12 – Resultados dos ensaios de cisalhamento para o sistema com uso de geogrelha nesta pesquisa.

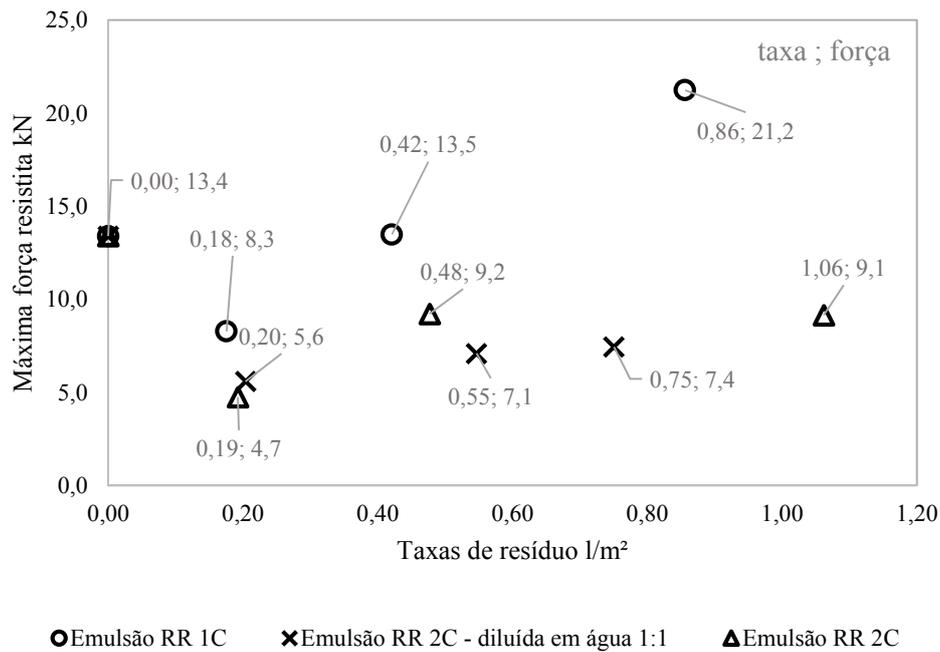


Figura 4.13 – Resultados dos ensaios de cisalhamento para o sistema com uso de geotêxtil nesta pesquisa.

Pode-se notar, através do exposto nas figuras 4.11, 4.12 e 4.13, que apenas os sistemas; (i) sem geossintético com uso da emulsão RR 2C diluída, (ii) com geogrelha e uso da emulsão RR 1C e (iii) com geogrelha e uso da emulsão RR 2C diluída, não apresentaram a tendência de estabilização de resistência.

Acredita-se que a resposta para o comportamento verificado com o uso da emulsão RR 2C possa ser explicado pela viscosidade da emulsão e forma de recobrimento dos materiais. Para taxas de resíduo superiores a 0,4 l/m² a emulsão RR 2C sem diluir forma um filme superficial de tal modo que prejudica a condição de aderência entre as camadas. Fato semelhante ocorre com a emulsão RR 1C (sem diluir) para taxas de resíduo superiores a 0,6 l/m².

Na Tabela 4.9 as relações pontuais entre resistência ao cisalhamento e taxa de resíduo são expostas para cada sistema avaliado. Depois de avaliar tais valores, observa-se que o sistema com uso de geogrelha e com as emulsões RR 1C e RR 2C diluída, é o que se mostrou mais sensível à variação da taxa de resíduo, haja vista os maiores valores de ganho porcentual médio por l/m² de resíduo. Vê-se que a relação de dependência entre resistência e quantidade de resíduo é mais pronunciada para as taxas menores, haja vista a tendência assintótica de ganho de resistência.

Tabela 4.9 - Ralações entre máximas tensões resistidas e taxas de resíduo aplicadas nesta pesquisa

Geossintético	Emulsão RR 1C			Emulsão RR 2C			Emulsão RR 2C - diluída		
	Taxa de resíduo (l/m ²)	Tensão (MPa)	Relação	Taxa de resíduo (l/m ²)	Tensão (MPa)	Relação	Taxa de resíduo (l/m ²)	Tensão (MPa)	Relação
s/ geossintético	0,00	1,73	-	0,00	1,73	-	0,00	1,73	-
	0,13	1,16	9,18	0,12	0,89	7,67	0,20	0,81	3,99
	0,25	1,27	5,09	0,47	0,99	2,13	0,41	1,05	2,58
	0,44	1,43	3,28	0,79	0,87	1,10	0,68	1,78	2,61
	0,56	1,55	2,78	0,95	0,76	0,80	-	-	-
	1,15	1,59	1,38	-	-	-	-	-	-
c/ geogrelha	0,00	0,24	-	0,00	0,24	-	0,00	0,24	-
	0,20	0,41	2,06	0,19	0,25	1,28	0,27	0,12	0,45
	0,40	0,58	1,46	0,43	0,28	0,66	0,41	0,23	0,56
	0,56	0,89	1,59	0,79	0,33	0,42	0,68	0,47	0,70
	0,61	0,85	1,39	0,95	0,24	0,26	-	-	-
c/ geogrelha e pintura aplicada nas duas faces	-	-	-	-	-	-	0,00	0,24	-
	-	-	-	-	-	-	0,27	0,16	0,59
	-	-	-	-	-	-	0,41	0,24	0,58
	-	-	-	-	-	-	0,68	0,25	0,37
c/ geotêxtil	0,00	0,76	-	0,00	0,76	-	0,00	0,76	-
	0,18	0,47	2,67	0,19	0,27	1,39	0,20	0,32	1,55
	0,42	0,76	1,81	0,48	0,52	1,09	0,55	0,40	0,73
	0,86	1,20	1,40	1,06	0,52	0,49	0,75	0,42	0,56
	1,43	1,15	0,81	1,59	0,55	0,35	-	-	-

As reduções da resistência ao cisalhamento, ocorridas quando da inserção dos geossintéticos nos sistemas são expressas a seguir em termos percentuais na Tabela 4.10. Cabe ressaltar que reduções pontuais foram determinadas para taxas de resíduo de valores próximos. É possível notar que os valores médios das reduções para uma mesma emulsão não variam significativamente entre os sistemas com geogrelha e geotêxtil, em que pese a diferença que existe entre estes geossintéticos. Para análise das maiores reduções encontradas com o uso da emulsão RR 2C, deve ser considerado comportamento obtido quando do seu uso com os geossintéticos, principalmente para a condição diluída, a qual implicou na elevação da resistência apenas do sistema sem geossintéticos.

Outro aspecto importante a ser analisado nos ensaios de cisalhamento direto são os deslocamentos apresentados entre as duas faces dos corpos de prova durante o carregamento. Para tal, faz-se necessária a análise dos módulos de reação de interface (k), o qual representa a relação entre a resistência ao cisalhamento de pico (valor máximo) e o respectivo deslocamento necessário. Nas Tabelas 4.11 a 4.13 são apresentados os valores que permitem a análise do modo de reação ao carregamento e forma de ruptura ocorrida e na Tabela 4.14 o resumo deste parâmetro.

Tabela 4.10 - Redução aproximada dos valores de resistência com a inclusão do geossintético nesta pesquisa.

Emulsão	S/ geossintético		C/ geogrelha		C/ geotêxtil		Percentual de redução			
	Taxa de resíduo (l/m ²)	Força máx resistida (kN)	Taxa de resíduo (l/m ²)	Força máx resistida (kN)	Taxa de resíduo (l/m ²)	Força máx resistida (kN)	com geogrelha		com geotêxtil	
							pontual	médio	pontual	médio
RR 1C	0,13	20,50	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,25	22,40	0,20	7,27	0,18	8,29	68%	-	63%	55%
	0,44	25,20	0,40	10,31	0,42	13,49	59%	-	46%	
	0,56	27,40	0,56	15,77	-	-	42%	-	-	
	-	-	0,61	15,02	0,86	21,24	-	-	-	
	1,15	28,08	-	-	1,43	20,38	-	-	-	
RR 2C	0,12	15,65	0,19	4,37	0,19	4,74	72%	-	70%	
0,47	17,53	0,43	5,00	0,48	9,22	71%	-	47%		
0,79	15,36	0,79	5,90	-	-	62%	-	-		
0,95	13,46	0,95	4,33	1,06	9,15	68%	-	-		
-	-	-	-	1,59	9,77	-	-	-		
RR 2C diluída em água	0,20	14,38	0,27	2,17	0,20	5,59	85%	-	61%	69%
0,41	18,62	0,41	4,03	0,55	7,09	78%	-	-		
0,68	31,39	0,68	8,38	0,75	7,44	73%	-	76%		

Tabela 4.11 - Módulos de reação na interface (k): sem emulsão e com emulsão RR 1C nesta pesquisa.

Geossintético	Taxa de resíduo (l/m ²)	Valores de pico			k (MPa/mm)			
		Força (kN)	Tensão (MPa)	Deslocamento (mm)	pontual	médio	desvio-padrão	(*) médio estatístico
s/ geossintético	0,00	30,5	1,73	5,44	0,32	-	-	0,32
	0,13	20,5	1,16	3,77	0,31	0,35	0,0303	0,36
	0,25	22,4	1,27	3,77	0,34			
	0,44	25,2	1,43	3,89	0,37			
	0,56	27,4	1,55	4,17	0,37			
	1,15	28,1	1,59	4,17	0,38			
c/ geogrelha	0,00	4,2	0,24	5,00	0,05			
0,20	7,3	0,41	3,43	0,12	0,16	0,0409	0,15	
0,40	10,3	0,58	4,17	0,14				
0,56	15,8	0,89	4,17	0,21				
0,61	15,0	0,85	5,00	0,17				
c/ geotêxtil	0,00	13,4	0,76	7,50	0,10	-	-	0,10
0,18	8,3	0,47	5,00	0,09	0,15	0,0626	0,13	
0,42	13,5	0,76	6,67	0,11				
0,86	21,2	1,20	6,67	0,18				
1,43	20,4	1,15	5,00	0,23				

Nota: (*) - valor médio compreendido no intervalo $K_{médio} \pm$ desvio padrão.

Tabela 4.12 - Módulos de reação na interface (k): sem emulsão e com emulsão RR 2C nesta pesquisa.

Geossintético	Taxa de resíduo (l/m ²)	Valores de pico			k (MPa/mm)			
		Força (kN)	Tensão (MPa)	Deslocamento (mm)	pontual	médio	desvio-padrão	(*) médio estatístico
s/ geossintético	0,00	30,5	1,73	5,44	0,32	-	-	0,32
	0,12	15,6	0,89	5,83	0,15	0,16	0,0096	0,15
	0,47	17,5	0,99	5,83	0,17			
	0,79	15,4	0,87	5,83	0,15			
	0,95	13,5	0,76	5,00	0,15			
c/ geogrelha	0,00	4,2	0,24	5,00	0,05	-	-	0,05
	0,19	4,4	0,25	4,17	0,06	0,06	0,0106	0,06
	0,43	5,0	0,28	4,72	0,06			
	0,79	5,9	0,33	5,00	0,07			
	0,95	4,3	0,24	5,83	0,04			
c/ geotêxtil	0,00	13,4	0,76	7,50	0,10	-	-	0,10
	0,19	4,7	0,27	10,00	0,03	0,08	0,0345	0,09
	0,48	9,2	0,52	5,00	0,10			
	1,06	9,1	0,52	6,67	0,08			
	1,59	9,8	0,55	5,83	0,09			

Nota: (*) - valor médio compreendido no intervalo $K_{\text{médio}} \pm$ desvio padrão.

Tabela 4.13 - Módulos de reação na interface (k): sem emulsão e com emulsão RR 2C diluída em água (razão 1:1) nesta pesquisa.

Geossintético	Taxa de resíduo (l/m ²)	Valores de pico			k (MPa/mm)			
		Força (kN)	Tensão (MPa)	Deslocamento (mm)	pontual	médio	desvio-padrão	(*) médio estatístico
s/ geossintético	0,00	30,50	1,73	5,44	0,32	-	-	0,32
	0,20	14,38	0,81	2,50	0,33	0,32	0,1078	0,38
	0,41	18,62	1,05	5,00	0,21			
	0,68	31,39	1,78	4,17	0,43			
c/ geogrelha	0,00	4,22	0,24	5,00	0,05	-	-	0,05
	0,27	2,17	0,12	5,00	0,02	0,07	0,0628	0,04
	0,41	4,03	0,23	5,00	0,05			
	0,68	8,38	0,47	3,33	0,14			
c/ geog. e pintura nas duas faces	0,00	4,22	0,24	5,00	0,05	-	-	0,05
	0,27	2,86	0,16	1,67	0,10	0,09	0,0116	0,10
	0,41	4,20	0,24	2,50	0,09			
	0,68	4,48	0,25	3,33	0,08			
c/ geotêxtil	0,00	13,40	0,76	7,50	0,10	-	-	0,10
	0,20	5,59	0,32	10,00	0,03	0,05	0,0159	0,04
	0,55	7,09	0,40	9,17	0,04			
	0,75	7,44	0,42	6,67	0,06			

Nota: (*) - valor médio compreendido no intervalo $K_{\text{médio}} \pm$ desvio padrão.

Tabela 4.14 – Resumo dos valores de k obtidos nesta pesquisa.

Geossintético	Valores de k (MPa/mm) por emulsão asfáltica utilizada na pintura de ligação			
	S/ pintura	RR 1C	RR 2C	RR 2C diluída
Sem geossintético	0,32	0,36	0,15	0,38
geogrelha	0,05	0,15	0,06	0,04
geogrelha c/ pintura aplicada nas duas faces		-	-	0,10
geotêxtil	0,10	0,13	0,09	0,04

Numa análise individual por sistemas, os módulos de reação de interface não variaram significativamente com incrementos das taxas de resíduo. Entretanto, a variação dos valores de k foi perceptível com a inclusão dos geossintéticos nos sistemas.

Como pode ser visto, de modo geral, quando comparados os valores de k e deslocamentos, a ligação promovida pela emulsão RR 1C se mostrou mais rígida que as demais, haja visto os valores mais elevados de k e menores deslocamentos. Este comportamento fortalece a ideia da formação de um filme superficial pela emulsão RR 2C, que para o presente caso, prejudicou a condição de aderência entre as camadas.

4.5 Ensaios de retenção de resíduo da emulsão asfáltica

A fim de quantificar a taxa de retenção, máxima taxa de resíduo que o geotêxtil e a geogrelha são capazes de absorver, foram realizados os ensaios de retenção. Os resultados individuais e médios são apresentados na Tabela 4.15 para o geotêxtil e 4.16 para a geogrelha. Além da condição normal foram realizados estudos com as emulsões diluídas em água, numa razão 1:1. Em que pese ser tradicional este tipo de ensaio para geotêxtil, foram realizados também sobre a geogrelha, uma vez que, esta é composta também por um geotêxtil ultrafino.

Tabela 4.15 - Resultados dos ensaios de retenção para o geotêxtil utilizado nesta pesquisa

Emulsão asfáltica	Corpo-de-prova (CP)	Massa (g)			Taxa de retenção (l/m ²)	
		inicial (*)	final (**)	resíduo (***)	por CP	Média
RR 2C	1b	2,62	26,41	23,79	1,19	1,16
	2b	2,36	24,84	22,48	1,12	
	3b	2,48	25,63	23,15	1,16	
RR 2C diluída	4b	2,43	12,35	9,92	0,50	0,47
	5b	2,48	11,46	8,98	0,45	
	6b	2,55	11,68	9,13	0,46	
RR 1C	7b	2,55	19,76	17,21	0,86	0,82
	8b	2,62	18,28	15,66	0,78	
	9b	2,81	19,21	16,40	0,82	
RR 1C diluída	10b	2,77	8,07	5,30	0,27	0,27
	11b	2,90	7,71	4,81	0,24	
	12b	2,80	9,10	6,30	0,32	

Nota: (*) - Massa inicial: massa do CP antes do ensaio; (**) - Massa final: massa do CP impregnado de emulsão; (***) - Massa de resíduo: (massa final) - (massa inicial)

Tabela 4.16 - Resultados dos ensaios de retenção para a geogrelha utilizada nesta pesquisa

Emulsão asfáltica	Corpo-de-prova (CP)	Massa (g)			Taxa de retenção (l/m ²)	
		inicial (*)	final (**)	resíduo (***)	por CP	Média
RR 2C	1a	4,36	14,82	10,46	0,52	0,52
	2a	4,83	15,37	10,54	0,53	
	3a	4,1	14,18	10,08	0,50	
RR 2C diluída	4a	4,78	7,03	2,25	0,11	0,09
	5a	4,35	5,89	1,54	0,08	
	6a	4,32	5,98	1,66	0,08	
RR 1C	7a	4,38	8,36	3,98	0,20	0,21
	8a	4,49	8,58	4,09	0,20	
	9a	4,74	9,50	4,76	0,24	
RR 1C diluída	10a	4,38	6,13	1,75	0,09	0,09
	11a	5,08	6,90	1,82	0,09	
	12a	4,29	5,90	1,61	0,08	

Nota: (*) - Massa inicial: massa do CP antes do ensaio; (**) - Massa final: massa do CP impregnado de emulsão; (***) - Massa de resíduo: (massa final) - (massa inicial)

Para melhor visualização, os resultados médios encontrados são expostos na Figura 4.14. De posse dos resultados, é possível perceber que o geotêxtil, em virtude de sua espessura e porosidade, é capaz de reter maior quantidade de resíduo. Além disso, ambos os geossintéticos reduzem a sua capacidade de retenção quanto menos viscoso for o líquido.

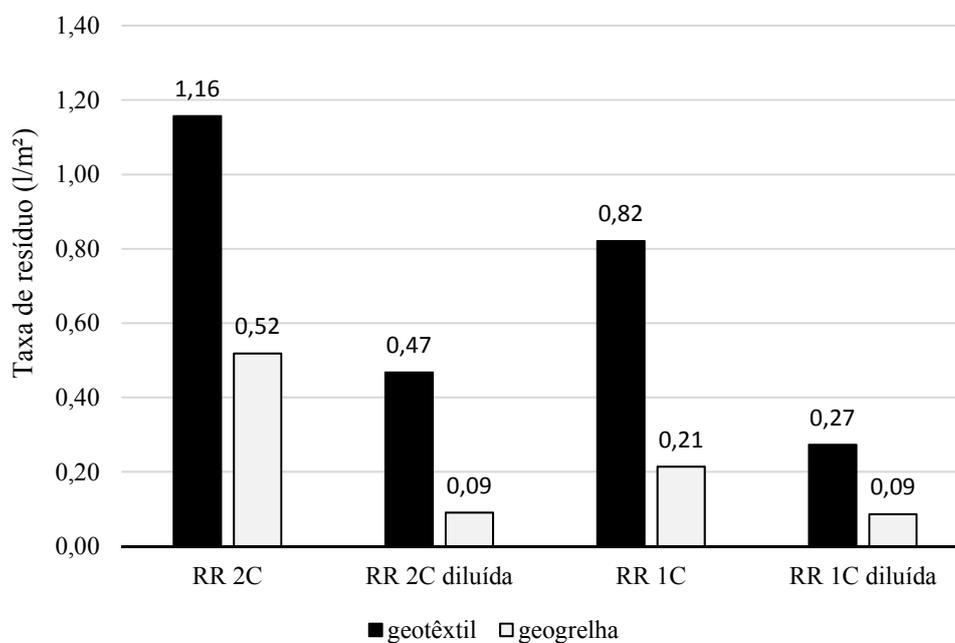


Figura 4.14 – Taxas médias de retenção de resíduo asfáltico nos geossintéticos desta pesquisa

Nas Figuras 4.15 e 4.16 é possível visualizar imagens dos corpos de prova utilizados após os ensaios de retenção. Observa-se que as emulsões não diluídas formam um filme de cobertura denso, externo ao geossintético. Este filme é visualmente mais espesso para a emulsão RR 2C. Acredita-se que o fato possa ser correlacionado com a viscosidade da emulsão.

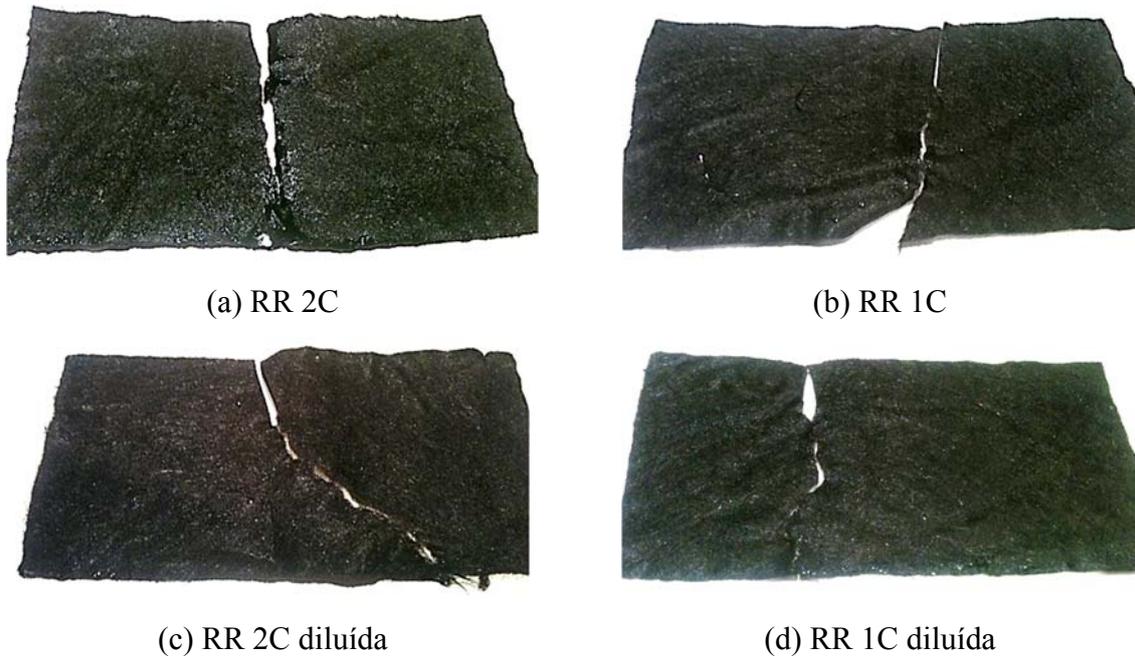


Figura 4.15 – Imagens das amostras de geotêxtil após os ensaios de retenção (tamanho da amostra: 10cm x 20cm).

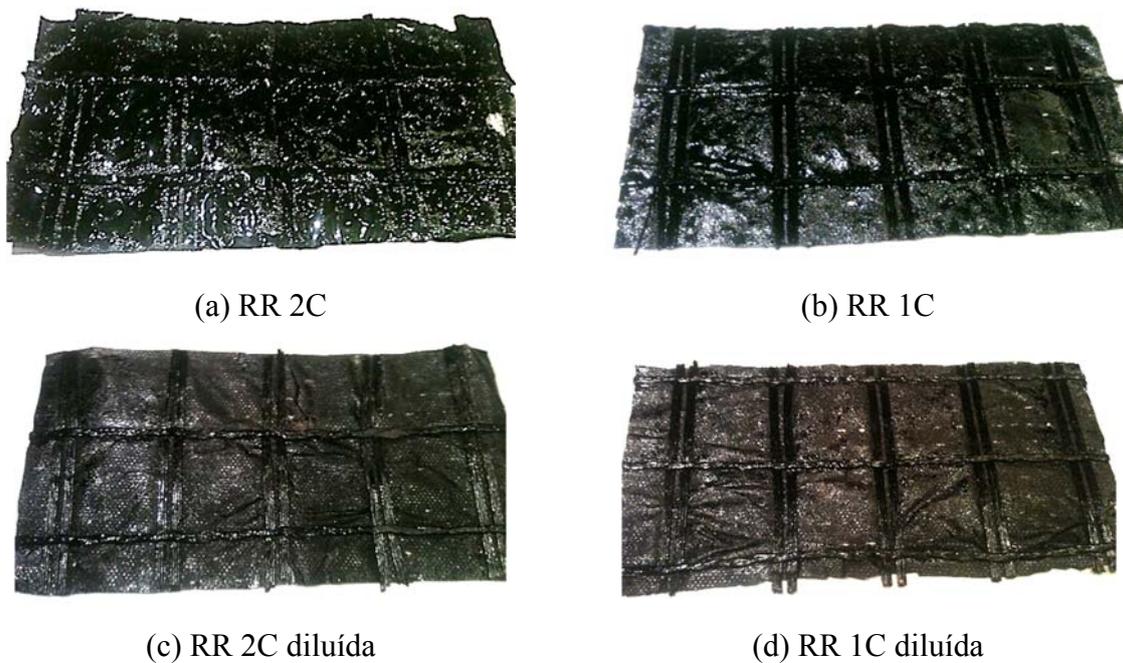


Figura 4.16 – Imagens das amostras de geogrelha após os ensaios de retenção (tamanho da amostra: 10cm x 20cm).

De posse dos resultados dos ensaios de retenção foi possível obter as taxas recomendadas para a aplicação conforme o proposto por Button et al. (1982), determinadas pela equação 2.2. Na Tabela 4.17 são apresentados os valores determinados para o uso das emulsões RR 1C e 2C. Para tal, em função dos resultados dos ensaios de mancha de areia modificado, a condição de superfície do pavimento foi classificada como lisa, não porosa, sendo assim, a taxa de resíduo de correção adotada foi de 0,16 l/m², valor médio do intervalo proposto por Button et al. (1982), conforme Tabela 2.4.

Tabela 4.17 - Taxas de resíduo de projeto conforme proposto por Button et al. (1982)

Emulsão	Geossintético			
	geotêxtil		geogrelha	
	Taxa de saturação - Q _s (l/m ²)	Taxa de projeto - Q _D (l/m ²)	Taxa de saturação - Q _s (l/m ²)	Taxa de projeto - Q _D (l/m ²)
RR 2C	1,16	1,67	0,52	1,03
RR 2C diluída	0,47	0,98	0,09	0,6
RR 1C	0,82	1,33	0,21	0,72
RR 1C diluída	0,27	0,78	0,09	0,6

Nota: $Q_D = 0,36 + Q_s + Q_C$; $Q_C = 0,16$ l/m² (superfície lisa / não porosa)

Considerando a metodologia proposta por Button et al. (1982), as taxas de projeto obtidas foram superiores as adotadas no presente trabalho. Cabe ressaltar que a metodologia aplica taxas e constantes de correção que foram obtidas para condições possivelmente diferente das investigadas no caso. Os resultados obtidos de comportamento põem em dúvida os valores apresentados na tabela 4.17. Além disso, considerando que as emulsões possuem cerca de 40% do seu peso em água, as taxas de aplicação ainda sem diluição chegariam a valores consideravelmente elevados.

4.6 Microscopia e tamanho das partículas da emulsão asfáltica

Para auxiliar no entendimento do comportamento dos sistemas avaliados, em particular o nível de retenção pelas fibras do geotêxtil e da geogrelha foram analisados os corpos de prova dos ensaios de retenção e cisalhamento por meio de uma lupa com possibilidade de registro fotográfico. As imagens obtidas são apresentadas nas Figuras 4.17 a 4.20.

Através das imagens expostas na Figura 4.17, nota-se que a emulsão RR 1C diluída ou não, visualmente apresenta o mesmo padrão de recobrimento. Quando comparada a imagem da

figura 4.17 (c), emulsão RR 2C não diluída, percebe-se um recobrimento mais denso que as demais. Além disso, quando diluída, é possível identificar algumas áreas de heterogeneidade do padrão de recobrimento. Para uma melhor observação da retenção da emulsão nas fibras, efetuou-se um rasgo no geotêxtil que permitisse a sua visualização interna. As imagens obtidas pela lupa são apresentadas nas Figuras 4.18 (a) a (d).

Considerando que as imagens da Figura 4.18 ilustram a região de um rasgo promovido intencionalmente nas amostras de geotêxtil, é possível avaliar como ocorreu o preenchimento do material pelas emulsões. Nota-se que os padrões de recobrimento das emulsões RR 1C (diluída ou não) e RR 2C diferem dos observados na superfície externa dos geossintéticos (Figura 4.17), apresentando vários pontos de exposição das fibras. Interessante observar que a emulsão RR 2C não diluída recobriu de forma mais homogênea, possivelmente em excesso, as fibras do interior do material.

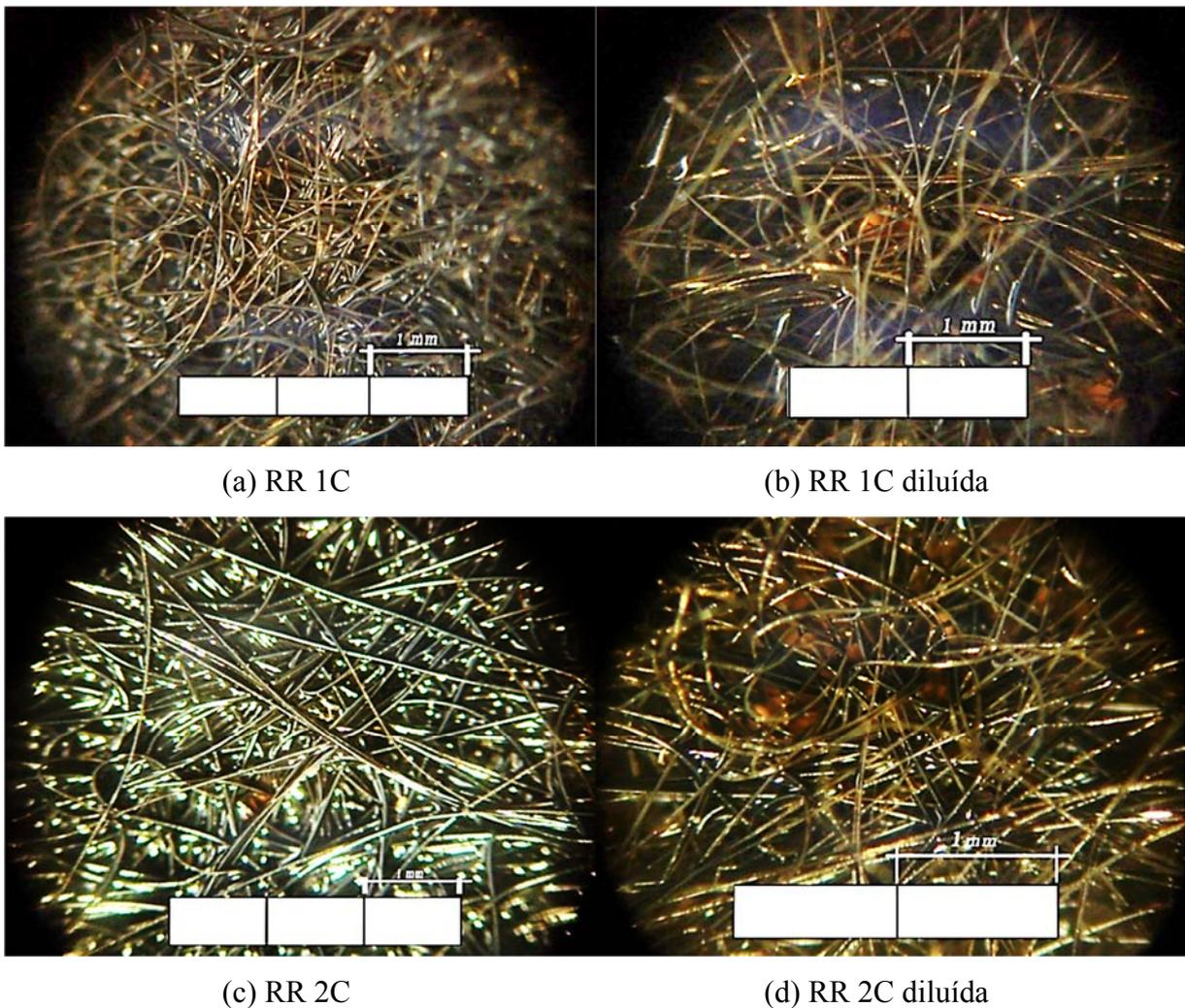
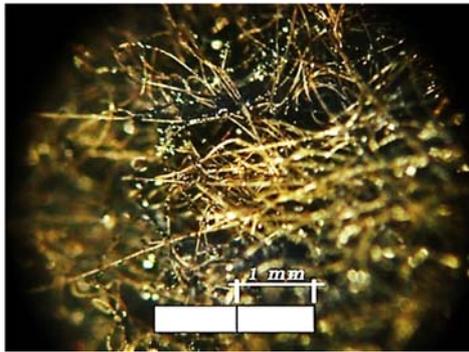
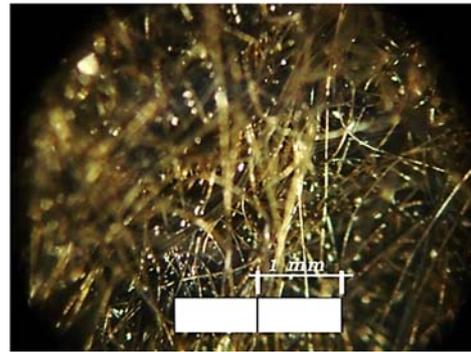


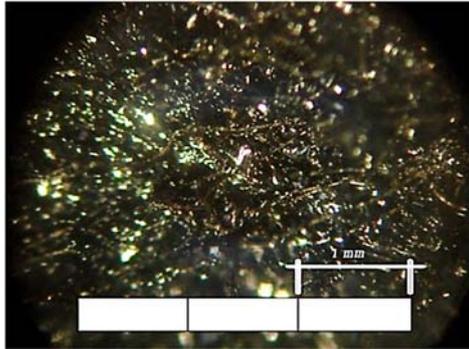
Figura 4.17 – Imagens das amostras de geotêxtil utilizadas nos ensaios de retenção.



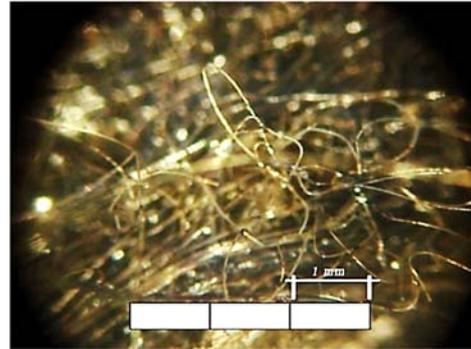
(a) RR 1C



(b) RR 1C diluída

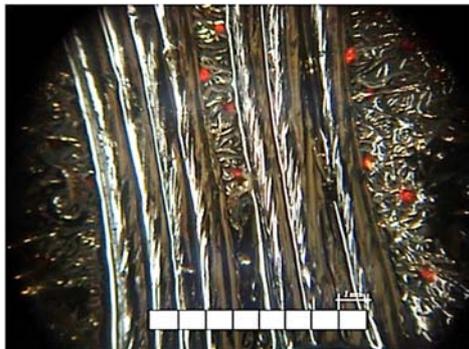


(c) RR 2C

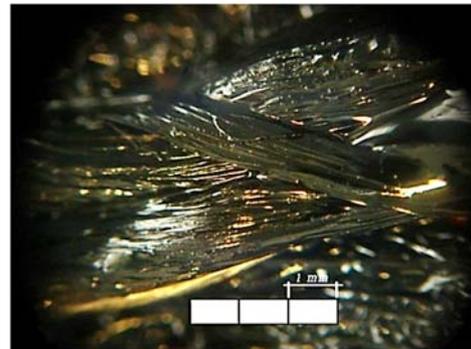


(d) RR 2C diluída

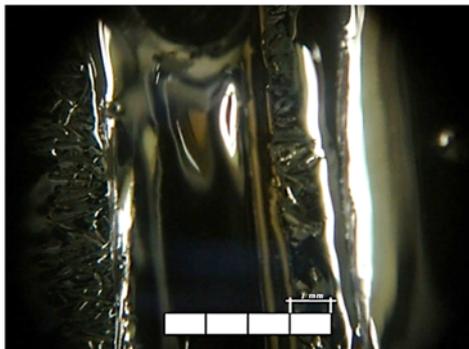
Figura 4.18 – Imagens do local do “rasgo” promovido nas amostras de geotêxtil utilizadas nos ensaios de retenção.



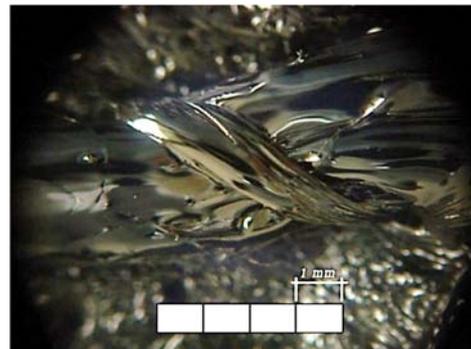
(a) RR 1C



(b) RR 1C diluída



(c) RR 2C



(d) RR 2C diluída

Figura 4.19 – Imagens das amostras de geogrelha utilizadas nos ensaios de retenção.

Conforme exposto na Figura 4.19, visualmente o recobrimento da geogrelha pela emulsão RR 2C é mais denso que o promovido pela emulsão RR 1C, haja visto que, nas imagens das emulsões RR 1C é possível visualizar as fibras da grelha, o que não é observado com o uso da emulsão RR 2C. Quanto à homogeneidade, todas apresentaram o mesmo padrão.

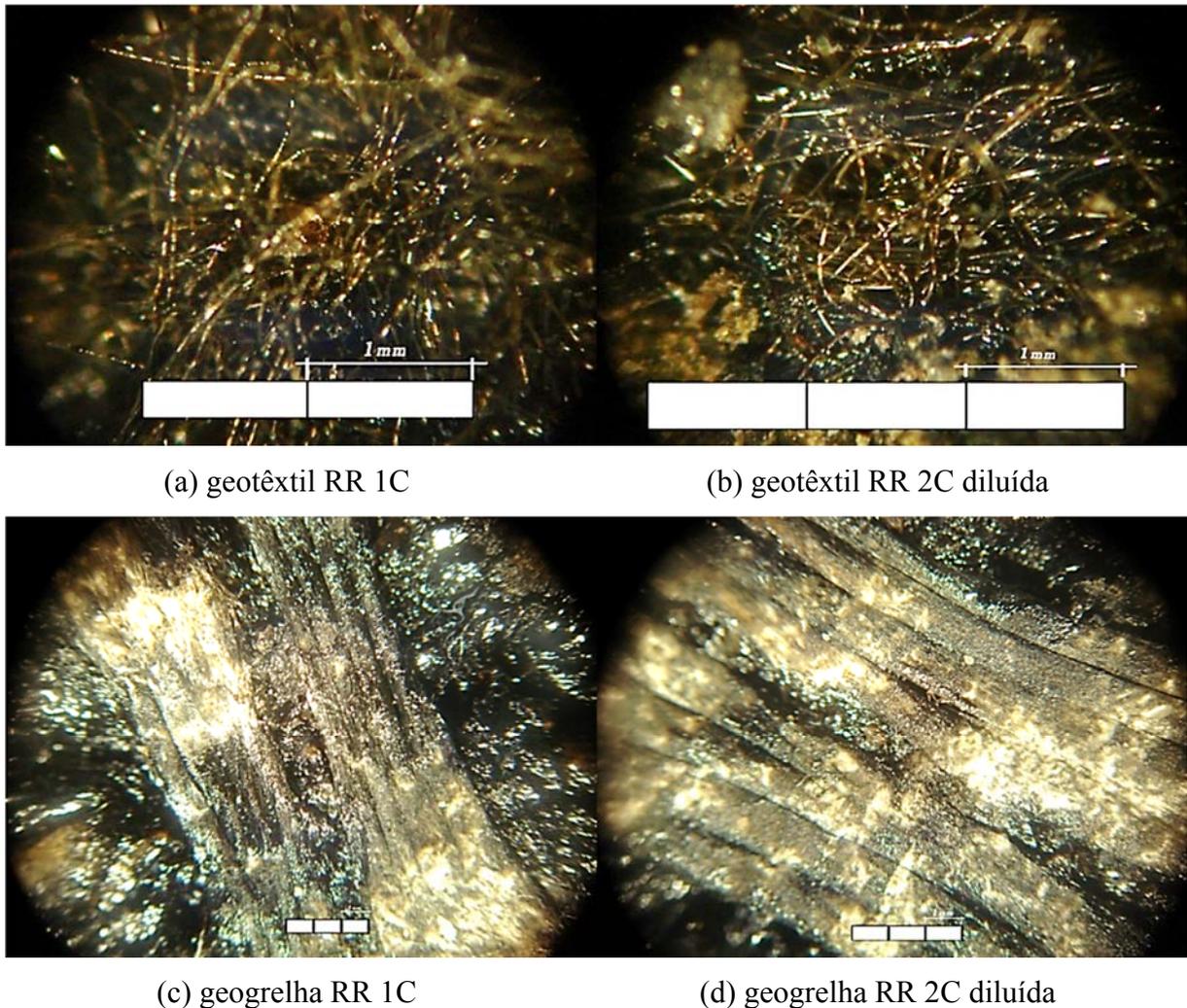


Figura 4.20 – Imagens das CPs utilizadas nos ensaios de cisalhamento.

Na visualização dos geossintéticos dos corpos de prova dos ensaios de cisalhamento, não puderam ser observadas diferenças entre as emulsões utilizadas. Para todos os casos notaram-se falhas de recobrimento que podem ter sido geradas no momento da ruptura.

Com relação às determinações do tamanho das partículas das emulsões, os resultados obtidos não indicam grandes diferenças das dimensões nem das distribuições destes. A Figura 4.21 apresenta os resultados numa curva de frequência acumulada. Os diâmetros médios determinados foram $3,949\mu\text{m}$ para a emulsão RR 1C e $3,531\mu\text{m}$ para a RR 2C.

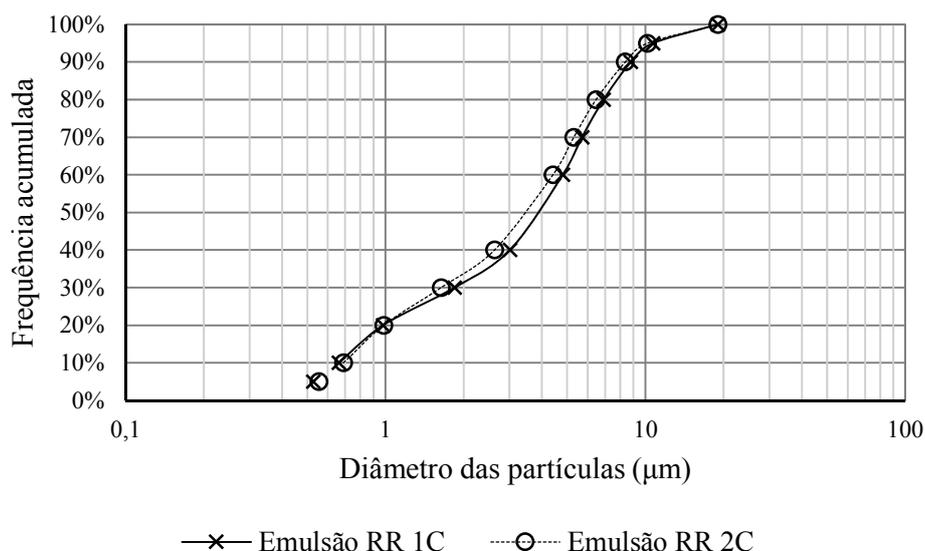


Figura 4.21 – Curvas de frequência acumulada dos tamanhos das partículas das emulsões.

4.7 Espessura do filme de recobrimento de resíduo

Na Tabela 4.18, para cada tipo de geossintético e emulsão são listadas as taxas de retenção e respectivas medidas de espessuras retiradas nas amostras impregnadas de material betuminoso, utilizadas nos ensaios de retenção.

Tabela 4.18 - Espessuras do filme de resíduo nas amostras do ensaio de retenção desta pesquisa

Geossintético	Emulsão	Taxa de retenção	Espessura média (mm)			Relação: $E_{\text{filme}} / \text{taxa de retenção}$
			inicial	final	filme	
Geogrelha	RR 1C	0,21 l/m ²	0,078	0,204	0,126	0,59
	RR 1C diluída	0,09 l/m ²	0,078	0,104	0,026	0,30
	RR 2C	0,52 l/m ²	0,078	0,386	0,308	0,59
	RR 2C diluída	0,09 l/m ²	0,078	0,092	0,014	0,15
Geotêxtil	RR 1C	0,82 l/m ²	1,761	2,350	0,589	0,72
	RR 1C diluída	0,27 l/m ²	1,761	2,580	0,819	2,99
	RR 2C	1,16 l/m ²	1,761	2,390	0,629	0,54
	RR 2C diluída	0,47 l/m ²	1,761	2,440	0,679	1,45

Como pode ser visto, os valores da relação espessura de filme por taxa de resíduo obtidos para o geotêxtil foram superiores aos determinados para geogrelha. Entretanto, em termos absolutos, isto pode não significar maior espessura de filme de cobertura externa, uma vez que, em virtude da constituição do geotêxtil, existe a possibilidade de que uma parcela da variação de espessura também ter sido gerada pela presença do material betuminoso no interior do geotêxtil.

Outro aspecto observado quando da determinação das espessuras do geotêxtil impregnado foi que o geossintético após a submersão em emulsão e secagem, apresentou algumas rugas que interferiram nos resultados, principalmente para o corpo de prova de geotêxtil com emulsão RR 1C diluída com taxa de 0,27 l/m². Portanto, os resultados apresentados na Tabela 4.18, para o geotêxtil, devem ser analisados qualitativamente.

Para os corpos de prova da geogrelha, observou-se que para as emulsões não diluídas, o potencial de recobrimento em termos de espessura do filme de resíduo foi o mesmo, devido a mesma relação espessura de filme por taxa de resíduo. Fato não verificado quando da aplicação das emulsões diluídas. Ressalte-se que, as medidas apresentadas para a geogrelha referem-se ao geotêxtil ultraleve presente como elemento de fechamento das malhas. Este, por ser muito fino e pela existência dos fios da grelha não enrugou após os ensaios de retenção, possibilitando assim a determinação de medidas de espessuras de forma adequada.

Considerando que o geotêxtil presente na geogrelha é extremamente fino, entende-se que a presença do material betuminosos no interior não interfere tanto na espessura determinada do filme de cobertura.

Os valores das espessuras do filme de resíduo obtidas sobre uma superfície lisa e padrão são indicadas na Tabela 4.19. É importante ressaltar que os ensaios realizados com as emulsões diluídas apresentaram espessuras, no mesmo corpo de prova, bastante variáveis. Este fato deve-se à grande fluidez demonstrada pelas emulsões diluídas, dificultando muito a permanência de uma camada uniforme, em que pese o recipiente de aplicação ter sido apoiado em superfície devidamente nivelada. O próprio processo de evaporação da água e ruptura da emulsão já contribuiu para as variações de espessura do filme.

Tabela 4.19 - Espessuras do filme de resíduo sobre a superfície padrão medidos nesta pesquisa

Emulsão	Taxa de emulsão (l/m²)	Taxa de resíduo (l/m²)	Espessura média do filme (mm)	Relação: E_{filme} / taxa de resíduo
RR 1C	0,54	0,34	0,270	0,81
RR 1C diluída	0,62	0,38	0,263	0,69
RR 1C	1,00	0,62	0,875	1,41
RR 1C diluída	1,00	0,62	0,500	0,81
RR 2C	0,62	0,42	0,484	1,15
RR 2C diluída	0,62	0,42	0,242	0,57
RR 2C	1,06	0,72	0,685	0,95
RR 2C diluída	1,02	0,69	0,800	1,15

Conforme os resultados apresentados na tabela 4.19, a diluição da emulsão implicou em menor espessura de recobrimento, para taxas próximas de resíduo. Ao confrontar os resultados das emulsões RR 1C e 2C, não diluídas, notou-se que não existe uma proporcionalidade constante entre as taxas de resíduo e espessuras do filme de cobertura, conforme os resultados de variações das relações espessura de filme / taxa de retenção.

4.8 Considerações sobre a aderência nos sistemas avaliados

Os resultados obtidos nos ensaios de aderência demonstraram tendências de comportamento distintas quando do uso dos diferentes tipos de emulsões estudadas. Os sistemas estudados com uso da emulsão RR 1C mostraram que os incrementos das taxas de resíduo possibilitam o incremento da resistência ao cisalhamento. Entretanto, com o emprego da emulsão RR 2C, a resistência se manteve praticamente constante com qualquer taxa da emulsão aplicada, exceto quando da diluição desta e aplicação nos sistemas sem geossintéticos.

A fim de explicar tal comportamento foram procedidas investigações sobre as emulsões e o modo que estas recobriram os materiais. Os resultados das determinações do tamanho das partículas das emulsões e das espessuras de recobrimento não indicaram respostas que explicassem os comportamentos verificados. Entretanto, quando analisados os deslocamentos experimentados nos ensaios de cisalhamento quando do carregamento, constatou-se que o uso da emulsão RR 2C permitiu um comportamento menos rígido, possibilitando a ocorrência de maiores deslocamentos entre as faces dos corpos de prova.

Aspecto importante a ser comentado é a forma em que se deram as rupturas. Ocorreram na superfície de contato entre as camadas, permanecendo as faces inalteradas. Este fato não foi alcançado por Guimarães (2013), em alguns dos seus resultados, conforme Figura 4.22.



Figura 4.22 – Corpos de prova que romperam na mistura (GUIMARÃES, 2013).

No presente trabalho, os corpos de prova com uso de geotêxtil tiveram sua superfície de ruptura inserida neste, de tal forma que as duas camadas de mistura tinham suas faces de contato recobertas pelo geossintético. Este fato indica que a força de contato foi superior a resistência do geossintético.

Para as geogrelhas, o rompimento ocorreu na ligação entre o CBUQ e as fibras da grelha. O geotêxtil ultraleve presente entre as malhas da grelha foi totalmente danificado, sendo possível notar apenas vestígios de sua presença. Não foi possível identificar se o geotêxtil era danificado quando da moldagem ou da ruptura do corpo de prova. A Figura 4.20 (c) e (d), apresentada anteriormente, mostram imagens das grelhas após o rompimento do CP no ensaio. É possível notar que parte da cobertura original da grelha é arrancada, expondo suas fibras. Desta forma, entende-se que a ligação promovida pela emulsão foi eficaz. Na Figura 4.23, são apresentadas imagens dos corpos de prova rompidos nos ensaios de cisalhamento.



(a) sem geossintético



(b) com geogrelha

Figura 4.23 – Corpos de prova rompidos nos ensaios de cisalhamento.

Isto posto, mesmo que alguns sistemas não tenham alcançado valores de resistência compatíveis com o mínimo recomendado, a ligação promovida entre geossintético e mistura betuminosa foi eficaz.

As taxas de pintura adotadas e aplicadas nos estudos sobre o sistema com uso de geotêxtil não possibilitaram a completa impregnação do material por meio de penetração invertida. Guimarães (2013) aplicou num trecho de rodovia taxas investigadas e definidas em laboratório

que também não foram capazes de recobrir todo o geotêxtil. Na Figura 4.24, é apresentada uma ilustração de um dos corpos de prova com o geotêxtil ainda sem receber o segundo banho de pintura, e na Figura 4.25, a imagem do trecho experimental de Guimarães (2013) já com a aplicação do segundo banho de emulsão.



Figura 4.24 – Geotêxtil com impregnação de material betuminoso por penetração invertida em corpo de prova utilizado nesta pesquisa.



Figura 4.25 – Geotêxtil aplicado na pista, já com segundo banho de emulsão aplicado com uso de caneta (GUIMARÃES, 2013).

4.9 Avaliação do comportamento nos ensaios de tração na flexão

A avaliação de desempenho mecânico dos sistemas sem e com reforço de geossintéticos foi realizada através dos ensaios de flexão em vigas prismáticas. Com os resultados foi possível perceber a implicação de diferentes taxas de pintura de ligação, da presença ou não de geossintéticos e tipos destes nas tensões de tração resistidas e nas flechas, deslocamentos, experimentados pelos corpos de prova.

Na Tabela 4.20, são indicados os valores obtidos de graus de compactação para os corpos de prova ensaiados. Especial atenção foi dada a estes, devido a possibilidade de interferências nos resultados dos ensaios. Percebe-se que a discrepância entre os valores encontrados é bastante reduzida. Assim, foi considerado que as condições relativas à mistura asfáltica são homogêneas para toda a amostra de 15 corpos de prova. Na Figura 4.26 é mostrada uma imagem de um dos corpos de prova.

Tabela 4.20 - Dados das moldagens dos corpos-de-prova (vigas)

Corpo-de-prova	peso (kgf)		densidade aparente (ton/m ³)	GC (%)	altura média (mm)	base média (mm)
	ao ar	imerso				
1	16,272	9,336	2,346	97,47%	10,43	15,38
2	16,328	9,382	2,351	97,66%	10,31	15,36
3	16,168	9,276	2,346	97,46%	10,32	15,28
4	16,252	9,358	2,357	97,94%	10,27	15,35
5	16,52	9,546	2,369	98,41%	9,95	15,39
6	16,344	9,396	2,352	97,73%	10,38	15,51
7	16,144	9,3	2,359	98,00%	10,39	15,43
8	16,336	9,398	2,355	97,82%	10,38	15,44
9	16,36	9,41	2,354	97,80%	10,23	15,40
10	16,156	9,302	2,357	97,93%	10,44	15,45
11	16,356	9,388	2,347	97,52%	10,48	15,38
12	16,392	9,432	2,355	97,85%	10,37	15,38
13	16,372	9,496	2,381	98,92%	10,37	15,43
14	16,308	9,438	2,374	98,62%	10,58	15,41
15	16,204	9,356	2,366	98,31%	10,03	15,26



Figura 4.26 – Imagem de um dos corpos de prova utilizados no ensaio de flexão nesta pesquisa.

No Anexo 2 são apresentadas as fichas dos ensaios de resistência a tração na flexão. Apenas para ilustrar, na Figura 4.27 é apresentada uma das curvas obtidas nestes ensaios.

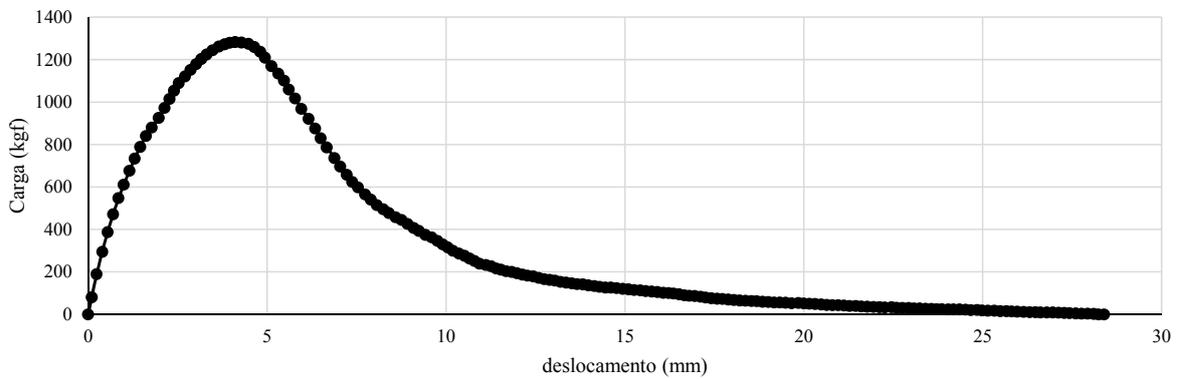


Figura 4.27 – Exemplo do resultado do ensaio de tração na flexão (corpo de prova com uso de emulsão RR 1C, taxa de resíduo igual a 1,45 l/m² e geotêxtil).

Na Figura 4.28, são apresentados os resultados de resistência à tração na flexão (estática) obtidos para os sistemas sem a aplicação da pintura de ligação e com o uso da emulsão RR 1C.

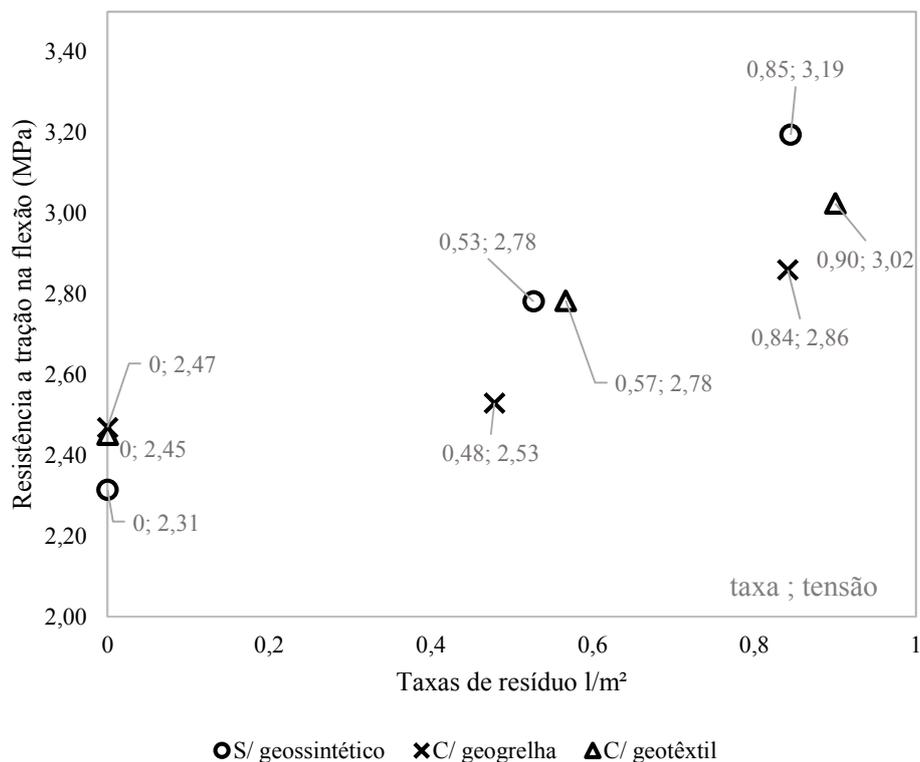


Figura 4.28 – Resultados dos ensaios de flexão com uso da emulsão RR 1C desta pesquisa.

Através do exposto na figura 4.28, é possível notar que as resistências obtidas foram inferiores quando da não aplicação da pintura de ligação, fato não ocorrido nos ensaios de cisalhamento

direto. Para qualquer taxa de emulsão aplicada, o sistema sem o uso de geossintético se mostrou mais resistente, seguido dos sistemas com geotêxtil e com geogrelha. Para as variações de taxas de resíduo experimentadas não foi verificado uma tendência de estabilização de ganho de resistência. Semelhante ao observado nos ensaios cisalhamento, o sistema com geotêxtil alcançou melhores respostas que com geogrelha. É válido ainda comentar que, quando comparados os sistemas com e sem geossintéticos, as discrepâncias entre os resultados nos ensaios de flexão foram inferiores às magnitudes encontradas com os resultados dos ensaios de cisalhamento.

Os resultados de resistência a tração na flexão, obtidos para os sistemas sem aplicação da pintura de ligação e com o uso da emulsão RR 2C, diluída em água numa razão de 1:1, são apresentados na Figura 4.29. Os ensaios foram realizados com a emulsão RR 2C diluída em virtude de seu melhor comportamento nos ensaios de cisalhamento.

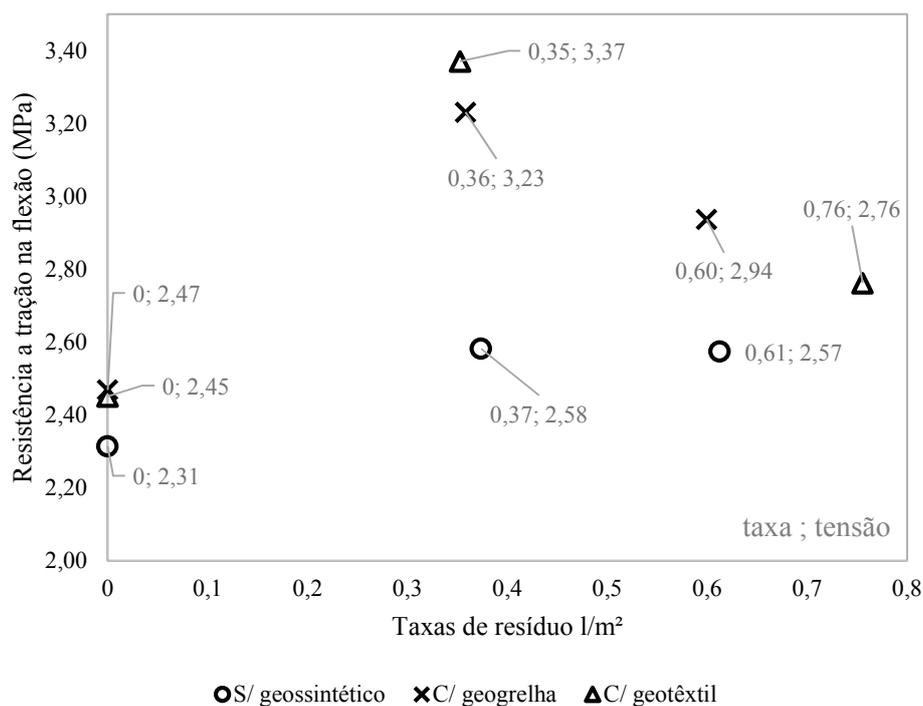
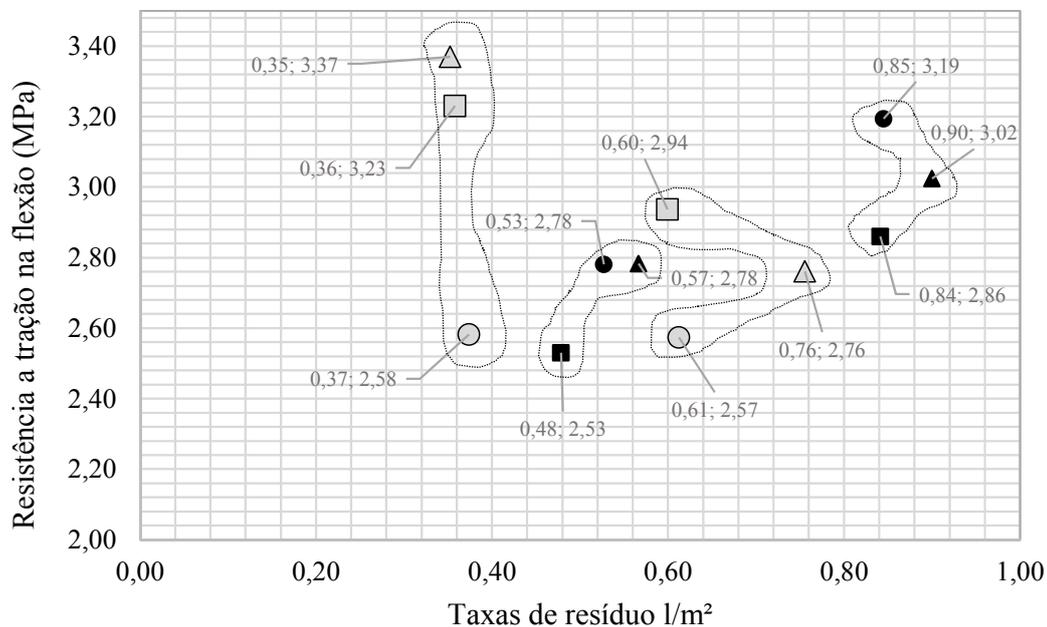


Figura 4.29 – Resultados dos ensaios de flexão com uso da emulsão RR 2C diluída desta pesquisa.

Nos ensaios de flexão, o comportamento verificado para os sistemas com uso da emulsão RR 2C diluída foi bastante diferente do com uso da emulsão RR 1C. Para cada sistema, observaram-se trechos em que a resistência cresce e decresce, referindo assim, a possível existência de uma taxa ótima de resíduo, padrão este que não identificado em nenhum outro ensaio realizado nesta

pesquisa. Quando comparados os sistemas sem e com uso de geossintéticos, vê-se a tendência esperada de melhores respostas com o uso dos reforços. Entretanto, semelhante ao ocorrido nos ensaios de cisalhamento, o geotêxtil se mostrou mais eficaz que a geogrelha.

Para melhor visualização, na Figura 4.30 são representados os valores de resistência a tração obtidos nos ensaios de flexão para todos os sistemas que tiveram aplicação de pintura de ligação. Quando confrontadas as resistências à tração na flexão determinadas com uso das diferentes emulsões, constatou-se que o comportamento com uso da emulsão RR 2C diluída dos sistemas reforçados com geossintéticos é superior em relação do emprego da emulsão RR 1C, pois com taxas inferiores as resistências são significativamente maiores.



- S/ geossintético com emulsão RR 2C diluída
- S/ geossintético com emulsão RR 1C
- C/ geogrelha com emulsão RR 2C diluída
- C/ geogrelha com emulsão RR 1C
- △ C/ geotêxtil com emulsão RR 2C diluída
- ▲ C/ geotêxtil com emulsão RR 1C

Figura 4.30 – Resultados de resistência a tração na flexão dos sistemas com pintura de ligação desta pesquisa.

Na Figura 4.30 são circulos os conjuntos de resultados respectivos aos grupos de taxas que foram empregados, separadamente por emulsão. As taxas não foram únicas devido ao percentual de resíduo das emulsões não serem iguais e da dificuldade de aplicação de taxas maiores quando da diluição do ligante. Vê-se então que, para os sistemas ensaiados, para a

condição sem reforço o emprego da emulsão RR 1C se mostrou mais adequado, enquanto que, para os com inserção de geossintéticos, o ligante mais eficiente é a RR 2C.

Além da avaliação de resistência, os ensaios de flexão permitiram a análise das deflexões ou deslocamentos experimentados pelos corpos de prova. Nas Tabelas 4.21 a 4.23, os valores de resistência e deslocamentos obtidos nos ensaios de flexão são apresentados separadamente por sistemas, sem geossintéticos, com geogrelha e com geotêxtil. Além dos valores de resistência, também são indicadas as taxas de resíduo e resistências.

Após a análise dos valores apresentados na tabela 4.21, nota-se que os sistemas que receberam as pinturas de ligação atingiram maior resistência e também permitiram maior deflexão antes da ruptura, tendo em vista o aumento da magnitude da relação resistência / deslocamento. Foi constatado que o sistema com a emulsão RR 1C foi o mais eficiente em termos de resistência e o mais rígido. Os deslocamentos máximos expostos são referentes aqueles que a carga resistente novamente se iguala a 0 MPa.

Tabela 4.21 - Resumo dos resultados dos ensaios em vigas s/ geossintético nesta pesquisa

CP	Emulsão utilizada na pintura de ligação	Taxa de resíduo (l/m ²)	Força máxima (kgf)	Resistência a tração na flexão (MPa)	Deslocamentos		Relação: resist. / deslocamento
					relativo a força máxima (mm)	máximo (mm)	
3	s/ emulsão	-	958,8	2,31	2,89	7,84	0,80
13	RR 1C	0,53	1175,1	2,78	2,36	9,33	1,18
1	RR 1C	0,85	1362,6	3,19	3,12	8,67	1,02
15	RR 2C	0,37	986,9	2,58	2,55	8,14	1,01
9	RR 2C	0,61	1057,8	2,57	2,80	8,94	0,92

Tabela 4.22 - Resumo dos resultados dos ensaios em vigas c/ geogrelha nesta pesquisa

CP	Emulsão utilizada na pintura de ligação	Taxa de resíduo (l/m ²)	Força máxima (kgf)	Resistência a tração na flexão (MPa)	Deslocamentos		Relação: resist. / deslocamento
					relativo a força máxima (mm)	máximo (mm)	
11	s/ emulsão	-	1062,8	2,47	2,71	34,51	0,91
8	RR 1C	0,48	1071,4	2,53	2,78	24,51	0,91
6	RR 1C	0,84	1218,7	2,86	2,81	34,98	1,02
4	RR 2C	0,36	1333,1	3,23	2,74	33,85	1,18
12	RR 2C	0,60	1236,4	2,94	2,72	29,08	1,08

Tabela 4.23 - Resumo dos resultados dos ensaios em vigas c/ geotêxtil nesta pesquisa

CP	Emulsão utilizada na pintura de ligação	Taxa de resíduo (l/m ²)	Força máxima (kgf)	Resistência a tração na flexão (MPa)	Deslocamentos		Relação: resist. / deslocamento
					relativo a força máxima (mm)	máximo (mm)	
10	s/ emulsão	-	1051,3	2,45	3,10	16,37	0,79
14	RR 1C	0,57	1223,5	2,78	3,32	13,89	0,84
7	RR 1C	0,90	1283,0	3,02	2,86	28,39	1,06
5	RR 2C	0,35	1309,8	3,37	2,67	19,52	1,26
2	RR 2C	0,76	1149,8	2,76	2,75	18,75	1,00

Os comportamentos dos sistemas com geogrelha e geotêxtil, conforme apresentados nas Tabelas 4.22 e 4.23, mostram que a aplicação da pintura de ligação também interferiu nos deslocamentos relativos à máxima força experimentada, aumentando-os. Ao contrário do observado nos sistemas sem geossintéticos, quando do uso da emulsão RR 2C além de resistências mais altas, os corpos-de prova também apresentaram um grau de rigidez maior. Quando comparados aos reforços com geogrelha e geotêxtil, de modo geral os comportamentos foram semelhantes.

Com relação aos deslocamentos máximos listados nas tabelas 4.21 a 4.23, que são relativos a perda total de resistência, vê-se que a introdução dos geossintéticos foi capaz de promover grandes mudanças em termos de resistência residual, sendo a geogrelha o material com melhor comportamento neste aspecto.

Nas Figuras 4.31 a 4.33 são ilustradas as formas típicas de rupturas ocorridas nos sistemas sem geossintético, com geogrelha e com geotêxtil. São apresentados: o momento de início visível na face da formação da trinca, intermediário e final de ensaio.

Conforme ilustrado na Figura 4.31, o padrão das trincas ocorridas sem reforço com geossintéticos foi de propagação vertical direta até a superfície do corpo de prova. Além disso, as rupturas foram bastante bruscas e num curto espaço de tempo após o surgimento da descontinuidade na face inferior do CP.

Quando do uso de geogrelha como elemento de reforço, ficou constado o seu poder para absorver significativamente as tensões relativas à trinca. Conforme demonstrado na Figura 4.32 (b), quando a descontinuidade atingiu a geogrelha, esta foi capaz de absorver a trinca e ainda conceder resistência ao sistema por um determinado período antes que a camada superficial apresentasse algum indício de trincamento. Além disso, quando do trincamento da camada

superficial, a trinca foi subdividida em várias de menor abertura. Cabe ressaltar que a ruptura não foi brusca, sendo que para alguns casos o equipamento necessitou ser desligado em função do término do seu curso de trabalho sem a ruptura total do corpo de prova.

Nos sistemas reforçados com geotêxtil, as rupturas também não foram bruscas. Quando as trincas atingiram o geotêxtil, este foi capaz de alterar sua direção de propagação, desviando-a do caminho vertical para o horizontal, conforme ilustrado na figura 4.33 (b). A trinca na camada superficial só se iniciou após o corpo de prova experimentar significativa deflexão. De modo diferente do ocorrido com a geogrelha, a trinca refletida na camada superficial foi uma única fissura. Semelhante aos ensaios executados nos corpos de prova com geogrelha foi observada a ocorrência de uma resistência residual após as rupturas.

Os comportamentos verificados para os sistemas reforçados com uso de geogrelha e geotêxtil, em termos do padrão de dissipação das trincas, é coerente o esperado, conforme relatado por Montestruque (2002).

Obando (2012), realizou ensaios de tração na flexão (com carregamento monotômico) em sistemas sem e com reforço de geossintéticos. Neste trabalho, o valor de resistência a tração determinada para o corpo de prova sem reforço foi superior aos demais reforçados com geogrelha. O valor médio de resistência à tração obtido foi de 1 MPa. Ressalta-se que, uma das geogrelhas utilizadas por Obando (2012) foi a mesma avaliada na presente pesquisa e, as taxas de aplicação da pintura de ligação não foram variadas como neste trabalho.

Os valores de resistência alcançados por todos os sistemas ensaiados nesta pesquisa superaram significativamente os resultados obtidos por Obando (2012). Além disso, com a variação das taxas da pintura de ligação e do tipo da emulsão, os comportamentos verificados também são distintos dos expostos por Obando (2012), sempre obtendo valores superiores, no mínimo igual a 2,3 vezes.



(a) (b) (c)
Figura 4.31 – Imagens do ensaio de tração na flexão no sistema sem geossintético: (a) início de formação da trinca; (b) momento intermediário do ensaio e (c) final de ensaio, desligamento da prensa.



(a) (b) (c)

Figura 4.32 – Imagens do ensaio de tração na flexão no sistema com geogrelha: (a) início de formação da trinca; (b) momento intermediário do ensaio e (c) final de ensaio, desligamento da prensa.



(a)

(b)

(c)

Figura 4.33 – Imagens do ensaio de tração na flexão no sistema geotêxtil: (a) início de formação da trinca; (b) momento intermediário do ensaio e (c) final de ensaio, desligamento da prensa.

4.10 Considerações finais

Nesta pesquisa foi estudado o comportamento mecânico de sistemas de camadas de misturas asfálticas sobrepostas, sem e com reforço de elementos geossintéticos, em corpos de prova de laboratório. Para isto, foram realizados ensaios de laboratório para averiguação das variáveis envolvidas na resistência destes sistemas.

A análise computacional realizada refletiu a importância da condição de aderência entre as camadas asfálticas do revestimento, que é promovida pela pintura de ligação. A perda de resistência implicou significativamente na distribuição de tensões na estrutura, resultando em esforços de tração na fibra inferior da camada de rolamento, que gerou brusca queda na vida de fadiga da camada. Assim, apesar de parecer um serviço secundário na construção de pavimentos, a deficiência na pintura de ligação pode resultar no sub-dimensionamento da estrutura, reduzindo bruscamente seu desempenho e, conseqüentemente, em sua vida útil.

A resistência ao cisalhamento é reduzida com o envelhecimento da mistura asfáltica. Para os sistemas sem uso de geossintéticos, os resultados obtidos para as misturas novas alcançaram valores de resistência mais elevados do que aqueles obtido nos corpos de prova com aplicação da pintura de ligação. Esta tendência também foi observada nos sistemas reforçados com geotêxtil e geogrelha, porém, numa intensidade menor.

O comportamento verificado quanto ao cisalhamento foi alterado quando da mudança do tipo de emulsão utilizada. Com a aplicação da emulsão RR 1C, menos viscosa, houve aumento da resistência ao cisalhamento com incrementos de taxas de pintura de ligação, enquanto o uso da emulsão RR 2C, diluída ou não, a resistência se mostrou variável apenas para os sistemas sem uso de geossintéticos.

Nos sistemas com utilização da emulsão RR 1C não foi observado uma tendência de crescimento e depois redução dos valores de resistência ao cisalhamento quando do acréscimo das taxas de resíduo, mas sim uma estabilização.

Com relação aos ensaios de cisalhamento, a inclusão dos geossintéticos reduziu os valores das resistências. O melhor desempenho foi verificado para os sistemas não reforçados, seguidos daqueles com uso de geotêxtil e geogrelha. Este comportamento é explicado pela condição de contato entre a superfície da camada asfáltica e geossintético. Para o geotêxtil a área de contato é muito maior que o da geogrelha, em que pese esta ser composta por um geotêxtil ultraleve entre suas malhas que desapareceu após a ruptura. Conclui-se que, é possível a obtenção de

forças de resistência ao cisalhamento superiores a 12 kN, desde que utilizadas taxas adequadas de pintura de ligação e emulsões adequadas aos casos. Para tal, as taxas mínimas de resíduo são de 0,36 e 0,46 l/m², respectivamente para o uso de geotêxtil e geogrelha, com a emulsão RR 1C. A emulsão RR 2C, para o estudo, não se mostrou adequada para uso.

A análise dos deslocamentos ocorridos nos carregamentos dos ensaios de cisalhamento demonstrou que a emulsão RR 1C concede uma maior rigidez na ligação entre as camadas asfálticas e entre elas e os geossintéticos.

As rupturas ocorridas nos corpos de prova utilizados nos ensaios de cisalhamento sempre foram localizadas no contato entre as camadas para os sistemas sem reforço, no interior do geossintético, quando do uso do geotêxtil e, na ligação entre a geogrelha e a camada de CBUQ. O geotêxtil ultraleve presente na geogrelha não resistiu as solicitações impostas, uma vez que ele desaparece quase que na totalidade quando da verificação dos corpos de prova rompidos.

Não foi possível correlacionar fisicamente as espessuras dos filmes de resíduo que recobrem os materiais com os comportamentos observados nos ensaios de cisalhamento. As medidas realizadas não refletiram variações das espessuras obtidas com as emulsões RR 1C e 2C. Além disso, de forma semelhante, as dimensões médias das partículas das emulsões são muito próximas.

A inclusão dos geossintéticos nos sistemas implicou sistematicamente na queda da resistência ao cisalhamento. Entretanto, as respostas dos ensaios para a determinação da resistência à tração na flexão não seguiram esta tendência. Quando do uso da emulsão RR 1C, os sistemas com reforço ou sem alcançaram resistências próximas. Já com o uso da emulsão RR 2C, os resultados encontrados com os sistemas reforçados são parecidos entre si e bastante superiores às respostas fornecidas pelo tradicional.

Nos ensaios de cisalhamento, foram obtidos altos valores de resistência nos corpos de prova que não receberam aplicação da pintura de ligação, principalmente quando não empregados geossintéticos. Nos testes de flexão, esta tendência não ocorreu, sendo as resistências nestes casos as mais baixas obtidas.

No comportamento quanto a resistência à tração na flexão com a pintura de ligação com uso da emulsão RR 1C, não foi possível a identificar tendência de aumento e depois redução para as taxas investigadas. Entretanto, esta foi observado nas curvas traçadas pelas respostas dos corpos de prova que receberam a aplicação da emulsão RR 2C.

Com uso da emulsão RR 1C, as melhores respostas de resistência a tração foram obtidas pelos sistemas sem geossintético, com geotêxtil e com geogrelha, respectivamente. Com a aplicação da emulsão do tipo RR 2C, as melhores respostas foram na sequência: sistema com geotêxtil, com geogrelha e sem geossintético.

Quando confrontadas as resistências à tração na flexão determinadas com uso das diferentes emulsões, constatou-se que o desempenho dos sistemas reforçados com geossintéticos e com uso da emulsão RR 2C diluída é superior àquele do emprego da emulsão RR 1C, tendo em vista que com taxas inferiores da primeira as resistências são significativamente maiores.

Constatou-se que o reforço com geossintético alterou significativamente as deflexões registradas. Este fato é correlacionado com as formas em que as rupturas ocorreram. Nos sistemas não reforçados, as rupturas foram bruscas, através de uma trinca única de grande abertura. O reforço com geotêxtil alterou o modo de propagação da trinca para a camada superficial sendo que a descontinuidade foi absorvida pelo geossintético e sua direção foi alterada para a horizontal. Quando o carregamento continuou, a trinca surgiu na camada superficial, no entanto, em outro ponto. A geogrelha foi capaz de absorver as tensões geradas pelas trincas até certo ponto, quando então, permitiu a propagação para a camada superficial, no entanto, as trincas surgiram com aberturas menores e em maior número.

Diante do exposto, pôde-se concluir que apenas os ensaios de cisalhamento não são suficientes para a avaliação do comportamento e do desempenho de sistemas de reforço com geossintéticos, tendo em vista, as variações de comportamento observadas nos ensaios de tração na flexão.

As diferentes formas de comportamento observadas podem estar relacionadas às características de respostas dos materiais a um dado tipo de carregamento e ensaio. As solicitações atuantes numa estrutura de pavimento, provenientes da passagem dos veículos, geram tensões que atuam no plano de união entre as camadas. No campo, são aplicadas cargas de compressão na superfície, que implicam em deformações e tensões cisalhantes no plano de interface entre as camadas. Assim, a proposta do ensaio de tração na flexão é mais próxima das condições de campo, em que pese não serem determinadas as magnitudes das tensões cisalhantes.

5 CONCLUSÕES

A seguir são apresentadas de forma direta as principais conclusões obtidas nesta pesquisa:

- O estudo do comportamento de sistemas reforçados com geossintético não deve ser realizado apenas por meio de ensaios de cisalhamento, haja visto as variações observadas nos ensaios de flexão;
- A inclusão de geossintéticos entre as camadas de mistura asfáltica reduziu a resistência de aderência entre as camadas. Entretanto, é possível reverter este fato com o uso da emulsão e taxas adequadas no serviço de pintura de ligação;
- A viscosidade da emulsão betuminosa interfere no comportamento quanto a resistência ao cisalhamento dos sistemas de reforço de mistura asfáltica com geossintéticos, sendo que para esta pesquisa o melhor comportamento foi verificado quando do uso de emulsão menos viscosa (RR-1C);
- O envelhecimento da mistura asfáltica reflete na redução da resistência ao cisalhamento entre as camadas;
- As melhores respostas nos ensaios de cisalhamento foram obtidas pelos sistemas não reforçados, seguidos dos reforçados com uso de geotêxtil e por fim com o emprego da geogrelha;
- Com utilização da emulsão mais viscosa (RR 2C), a inclusão dos geossintéticos implicaram em acréscimos de resistência à tração na flexão, sendo observados nesta pesquisa comportamentos muito semelhantes entre geotêxtil e geogrelha;
- As formas de ruptura e propagação de trincas foram diferentes nos sistemas com geogrelha, geotêxtil e sem reforço de geossintéticos;
- Conforme análise computacional realizada, a distribuição de tensões e conseqüentemente o comportamento da estrutura é alterado de forma negativa quando ocorrem reduções nos níveis de aderência entre as camadas de misturas asfálticas do revestimento.

5.1 Sugestões para pesquisas futuras

Por fim, para pesquisas futuras, são feitas as seguintes sugestões:

- Considerando que a indústria dos materiais geossintéticos encontra-se em crescimento e da existência de outros tipos de geotêxteis e geogrelhas, sugere-se a execução da metodologia adotada nesta pesquisa com outros geossintéticos;
- Sendo as condições da superfície da camada de mistura asfáltica uma das importantes variáveis que regem o comportamento dos sistemas de reforço com geossintéticos, se sugere a reprodução dos métodos adotados nesta pesquisa com uso de outras misturas betuminosas, principalmente, com conjuntos que possibilitam diferentes condições de rugosidade;
- Como constatado nesta pesquisa, o envelhecimento da mistura asfáltica presente na camada interfere também na condição de aderência entre as camadas. Assim, é relevante a realização de ensaios que permitam a avaliação da resistência ao cisalhamento entre as camadas e entre estas e os geossintéticos, com emprego de misturas envelhecidas e oxidadas. Desta forma, será possível uma visão mais precisa do comportamento e desempenho dos sistemas quando utilizados em restaurações ou reabilitações de pavimentos existentes;
- Avaliar as respostas dos sistemas de reforço com uso de emulsões modificadas com polímeros;
- Os ensaios de cisalhamento direto executados neste trabalho não receberam aplicação de força normal. Assim, sugere-se a complementação do equipamento fabricado nesta pesquisa com instrumento que possibilite a aplicação de uma dada força normal atuante. Desta forma, poderá ser avaliada a interferência desta no comportamento e desempenho dos sistemas de reforço;
- Com objetivo de simular a condição dinâmica de carregamento dos veículos sobre uma estrutura real de pavimento, se sugere a realização de campanhas de ensaios que avaliem as respostas sob este tipo de solicitação, principalmente no que tange a vida de fadiga. Verificar se o comportamento dependente do tipo de emulsão, taxa de aplicação da pintura de ligação e tipo de geossintético seguem as mesmas tendências verificadas para a condição de carregamento estático, imposta nesta pesquisa;
- Considerando que o comportamento e desempenho das misturas betuminosas são totalmente dependentes das variações de temperaturas, é interessante a verificação da condição da

aderência, principalmente para casos de camadas de revestimento delgadas, sob temperaturas próximas às observadas em campo;

- De modo semelhante às variações de temperatura, os materiais betuminosos também apresentam comportamento influenciado pela velocidade em que o carregamento é aplicado. A avaliação dos sistemas de reforço sobre estas condições poderá colaborar com o entendimento da forma de reação sob solicitações impostas por variações de temperatura ou cargas aplicadas sob altas velocidades;
- Estudos laboratoriais como os realizados neste trabalho são de extrema importância. Entretanto, inúmeras condições de contorno devem ser assumidas para a não consideração de variáveis extremamente difíceis de reprodução. Assim, como próximo passo, sugere-se a construção de trechos testes, instrumentados e compostos por soluções distintas, possibilitando assim o confronto de desempenho entre estas;
- Como alternativa da construção de trechos experimentais, existe a construção de caixas testes, com a execução de estruturas de pavimentos em dimensões reais. Estas possibilitam a verificação dos sistemas de forma conjunta com todas as diversas outras camadas e materiais que constituem a estrutura do pavimento. Além disso, estas permitem a obtenção de resultados num tempo reduzido e podem ser dotadas de sistemas que simulem as condições do ambiente externo, tais como variações de temperatura e umidade.

REFERÊNCIAS

ABEDA – Associação Brasileira das Empresas distribuidoras de Asfaltos. Manual básico de emulsões asfálticas: Soluções para pavimentar sua cidade. ABEDA, Rio de Janeiro, 2001.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12553: Geossintéticos – Terminologia, Rio de Janeiro, 2003.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12142: Concreto — Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos, Rio de Janeiro, 2010.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12824: Geotêxteis - Determinação da resistência à tração não-confinada - Ensaio de tração de faixa larga - Método de ensaio, Rio de Janeiro, 2003.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13359: Geotêxteis - Determinação da resistência ao punçionamento estático - Ensaio com pistão tipo CBR - Método de ensaio, Rio de Janeiro, 1995.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14376: Emulsões asfálticas - Determinação do resíduo asfáltico por evaporação - Método expedito, Rio de Janeiro, 2007.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14491: Emulsões asfálticas - Determinação da viscosidade Saybolt Furol, Rio de Janeiro, 2007.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12569: Geotêxteis - Determinação da espessura - Método de ensaio, Rio de Janeiro, 1992.

ANTUNES, L. G. S. *Reforço de pavimentos rodoviários com geossintéticos*. 2008. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Barsília, UNB, 2008.

ASTM D6140-00, Standard Test Method to Determine Asphalt Retention of Paving Fabrics Used in Asphalt Paving for Full-Width Applications, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2009

ASTM D4632 / D4632M-15a, Standard Test Method for Grab Breaking Load and Elongation of Geotextiles, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015

ASTM D4533 / D4533M-15, Standard Test Method for Trapezoid Tearing Strength of Geotextiles, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015

ASTM D4833 / D4833M-07(2013)e1, Standard Test Method for Index Puncture Resistance of Geomembranes and Related Products, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013

ASTM E965-96, Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Depth Using a Volumetric Technique (Withdrawn 2015), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2006.

BASTOS, G. A. *Comportamento mecânico de misturas asfálticas reforçadas com geogrelhas para pavimentos flexíveis*. Dissertação de mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil. Rio de Janeiro. 2010.

BAZARRA, D. Z.; PERÉZ, M. C.; FRESNO, D. C.; ZAMANILLO, A. V. New procedure for measuring adherence between a geosynthetic material and a bituminous mixture. *Geotextiles and Geomenbranes*, n. 28, p. 483 – 489, 2010.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. PETROBRÁS, ABEDA, Rio de Janeiro, 2006.

BIDIM, www.bidim.com.br, acessado em junho de 2015.

CARMO, C. A. T.; RUIZ, E. F.; MONTESTRUQUE, G. Restauração de pavimentos aeroportuários sulamericanos com geogrelha de poliéster. 43ª RAPv – Reunião Anual de Pavimentação e 17º ENACOR – Encontro Nacional de Conservação Rodoviária, Maceió, AL, 2014

CARMO, C. A. T. Aplicação da Geogrelha HATELIT C na restauração do pavimento da rodovia MG 424. Revista Estradas, DAER, RS, 2014.

CHEN, J.; HUANG, C. Effect os surface characateristics on bonding properties of bituminous tack coat. *Journal of the Transportation Research Board*, USA, n. 2180, p. 142 – 149, 2010.

CONSOL. Relatório de avaliação da estrutura de pavimento projetada para a rodovia BR 163/PA. Relatório interno. CONSOL Engenheiros Consultores, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2015.

CNT, SEST, SENAT. Pesquisa CNT de rodovias 2014: relatório gerencial, Confederação Nacional dos Transportes, Brasília, 2014.

de BONDT, A. H. *Anti-reflective cracking design of (reinforced) asphaltic overlays*. Tese (PhD), Delft University of Technology, Delft, Holanda, 1999.

DER/SP, ET-DE-P00/43: Tratamento anti-reflexão de trincas com geossintéticos. Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo, São Paulo, 2006.

DER/SP, ET-DE-P00/027: Concreto asfáltico. Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo, São Paulo, 2005.

DER/PR, ES-P 21/05: Pavimentação: concreto asfáltico usinado a quente. Departamento de Estradas de Rodagem do Paraná, Curitiba, Paraná, 2005.

DIN 2974. Asphalt prüfung – ALP A-Stb Teil 9. Haftzugfestigkeit von Dünnen Schichten. Cologne, Germany, 2003.

DNIT – SNV: Sistema Nacional de Viação Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2014.

DNIT 134/2010 – ME, Pavimentação – solos: determinação do módulo de resiliência – Método de Ensaio. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2010.

DNIT 165/2013 – EM. Emulsões asfálticas para pavimentação – Especificação de Material. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2013.

DNIT 145/2012 – ES. Pavimentação: pintura de ligação com ligante asfáltico convencional – Especificação de Serviço. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2012.

DNIT 031/2006 – ES. Pavimentos flexíveis: concreto asfáltico – Especificação de Serviço. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2006.

DNER ME 083/98. Agregados: Análise granulométrica – Método de Ensaio. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 1998.

DNER ME 035/98. Agregados: Determinação de Abrasão “Los Angeles” – Método de Ensaio. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 1998.

DNER ME 043/95. Misturas betuminosas a quente: ensaio Marshall – Método de Ensaio. Ensaio. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 1995.

DNER ME 081/98. Agregados – determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo – Método de Ensaio. Ensaio. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 1998.

DNER ME 004/94 Material betuminoso – determinação da viscosidade Saybolt-Furol a alta temperatura método da película delgada – Método de Ensaio. Ensaio. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 1994.

DS EN 13863-2 Concrete pavements – Part 2: Test method for the determination of the bond between two layers, European Standard, 2004.

FRANCO, F. A. C. P. *Método de dimensionamento macanístico-empírico de pavimentos asfálticos – SisPav*. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ – COPPE, 2007.

FRITZEN, M. A. *Avaliação de soluções de reforço de pavimentos asfálticos com simulador de tráfego na rodovia Rio Teresópolis*. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ – Universidade federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

GARDONI, M. G. A. Notas de aula da disciplina Geossintéticos em geotecnia e meio ambiente do curso de mestrado em Transportes e Geotecnia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

GEOFOCO, www.geofoco.com.br, acessado em junho de 2015.

GOVERNO DE MINAS GERAIS, Portal do Governo do Estado de Minas Gerais: <http://www.mg.gov.br/governomg/portal/m/governomg/conheca-minas/5662-rodovias/5146/5044>, acessado em dezembro de 2013.

GUIMARÃES, P. A. *Estudo da aderência entre camadas asfálticas de pavimentos*. 2013. 189f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2013.

HUESKER, www.huesker.com.br, acessado em junho de 2015.

KANAFLEX, www.kanaflex.com.br, acessado em junho de 2015.

KOERNER, R. M. - “Designing with Geosynthetics”, 5a edição, Prentice Hall, Englewood Cliffs (2005).

KRUNTCHEVA, M. R.; COLLOP, A. C.; THOM, N. H. Effect of bond condition on flexible pavement performance. *Journal of Transportation Engineering*, p. 880 – 888, 2005.

MACAFERRI. Reforço de solos – Manual Técnico, MACAFERRI América Latina, 2009.

MOHAMMAD, L. N.; BAE, A.; ELSEIFI, M. A.; BUTTON, J.; PATEL, N. Effects of pavement surface type and sample preparation method on tack coat interface shear strength. *Journal of the Transportation Research Board*, USA, n. 2180, p. 93 –101, 2010.

MONTESTRUQUE, G.; VASCONCELOS, K. L.; BERNUCCI, L. L. B. Characterization of shear resistance with the use geogrid. In: 5th International Conference Bituminous Mixtures and Pavements, Grécia, 2011.

MONTESTRUQUE, G. E. *Contribuição para elaboração de método de projeto de restauração de pavimentos asfálticos utilizando geossintéticos em sistemas anti-reflexão de trincas*. 2002. 138f. Tese (Doutorado) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ITA, 2002.

MONTESTRUQUE, G. *Estudo de sistemas anti-reflexão de trincas na restauração de pavimentos asfálticos*. 1996. Dissertação (Mestrado) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ITA, 1996.

MUSLICH, H. S.: *Assessment of bond between asphalt layers*. Tese de Doutorado, Departamento de engenharia civil – The University of Nottingham, UK, 2009.

NISHIYAMA, T; LEE, D. H.; BHATTI, M. A. Investigation of bonding condition in concrete overlay by laboratory testing, finite element modeling and field evaluation. 84º encontro anua TRB, Washington, EUA, 2005.

OBANDO, J. R. A. *Geossintéticos como reforço de revestimento em pavimentação*. 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, UNB, 2012.

PINTO, S.; PREUSSLER. *Pavimentação rodoviária: conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis*. IBP, Editora Synergia, Rio da Janeiro, 2010.

PLASTON, www.plaston.com.br, acessado em junho de 2015.

- PLUG, C.P.; de BONDT, A. H. Adhesion of Reinforcement grids in asphalt overlays. In: 5th World congresso on emulsions, Lyon, France, 2010.
- PREFEITURA DE RECIFE. Diretrizes executivas de serviços de pavimentação – ES-P13: camadas de concreto betuminoso usinado a quente. Recife, 2003.
- RAAB, C.; PARTL, M. N. Interlayer shear performance: Experience with diferente pavement structures. In: 3º Eurasphalt & Eurobitume Congress, Vienna, 2004.
- RAPOSEIRAS, A. C.; ZAMANILLO, A. V.; PÉREZ, M. A. C.; FRESNO, D. C. Influence os surface macro-texture and binder dosage on the adhesion between bituminous pavement layers. *Construction and Building Materials*, n. 28, p. 187 – 192, 2012.
- RAPOSEIRAS, A.C.; CASTRO-FRESNO, D.; VEJA-ZAMANILLO, A.; RODRIGUEZ-HERNADEZ, J. Test methods and influential factors for analusis of bonding between bituminous pavement layers. *Construction and Building Materials*, Spain, v. 43, p. 372 – 381, 2013.
- ROMANOSCHI, S. A.; METCALF, J. B. Effects os interface condition and horizontal wheel loads on the life of flexible pavement structures. *Journal of the Transportation Research Board*, USA, n. 1778, p. 123 –131, 2001.
- SANTOS, L. S. *Estudo da durabilidade de geomenbranas utilizadas na impermeabilização de reservatórios das barragens de rejeito de ouro*. Dissertação (mestrado), Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2014.
- SHAHIN, M. Y.; KIRCHNER, K.; BLACKMON, E. W.; TOMITA, H. Effect of layer slippage on performance of asphalt concrete pavements. *Journal of the Transportation Research Board*, USA, n. 1095, p. 79 – 85, 1986.
- TASHMAN, L.; NAM, K.; PAPAGIANNAKIS, T. Avaluation os the influence of tack coat construction factors on the bond strength between pavement layers. *Washington State Department of Trsnportation*. USA, 2006.
- UZAN, J.; LIVNEH, M.; ESHED, Y. Investigation of adhesion properties between asphaltic concrete layers. In: *Proceddings of the Association of Asphalt Paving Technologics*, Flórida, 1978.
- VANELSTRAETE, A. H.; COURARD, L. Prevention of Reflective Cracking in Pavements. RILEM – Researcg Laboratories for Materials and Structures, report 18, Bélgica, 1997.
- VERTEMATTI, J. C. Manual Brasileiro de Geossintéticos. ABINT – Associação Brasileira das Indústrias de Nãotecidos e Tecidos Técnicos. Editora Blucher, São Paulo, 2004.
- WALSH, I. D.; WILLIAMS, J. T. HAPAS certificates for procurement of thin surfacing. *Highways and Transportation*, Volume 48, pág. 12-14, 2001.
- ZIARI, H.; KHABIRI, M. M. Interface consition influence on prediction of flexible pavement life. *Journal of Civil Engineering and Management*. Vol XIII, n. 1, 2007.

ANEXO 1 - PROCEDIMENTOS

PROCEDIMENTO A – Ensaio de cisalhamento direto em corpos de prova de misturas asfálticas com ou sem o uso de geossintéticos

Introdução: Este procedimento apresenta a metodologia para a execução de ensaios de cisalhamento direto em corpos de prova de misturas asfálticas densas, cilíndricos, moldados em laboratório por compressão, com ou sem o uso de geossintéticos entre camadas sobrepostas de mistura.

Objetivo: Determinar a máxima força cisalhante resistida e o módulo de reação da interface (k)

Equipamentos: a seguir são listados os equipamentos necessários para a realização dos ensaios:

- Prensa hidráulica com capacidade mínima de 120 toneladas;
- Prensa eletromecânica Marshall;
- Anel dinamômetro (com relógio comparador dotado de dispositivo de fixação de máxima leitura) ou célula de carga com capacidade mínima de 5.000 kgf;
- Extensômetro ou LVDT com curso mínimo de 25 mm;
- Molde rígido, metálico para moldagem dos corpos de prova (Figura A.1);
- Aparato para fixação e cisalhamento dos corpos de prova (Figura A.2);
- Estufa capaz de manter temperaturas constantes até 180°C;
- 2 Termômetros graduados (1°C), com capacidade 200°C;
- Balança com precisão de 0,1g;
- Espátulas;
- Tachos metálicos;
- Óleo mineral;
- Fonte de calor: fogão ou placa térmica;

Preparação dos materiais e equipamentos:

- Mistura asfáltica: a mistura asfáltica deverá ser preparada conforme os resultados da dosagem procedida. Devem ser rigorosamente obedecidas os percentuais para composição

da curva granulométrica e faixas de temperaturas especificadas. Ressalte-se que a rotina de fabricação da mistura deverá ser idêntica à adotada quando da realização da dosagem. Considerando que o corpo de prova é composto por duas camadas, a massa necessária para confecção de cada uma destas deve ser preparada separadamente, numa quantidade pré-determinada em função da espessura de cada uma e da densidade obtida no procedimento de dosagem;

- Molde metálico: antes do lançamento da mistura no interior do molde, este deverá estar devidamente pré-aquecido e untado com uma fina película de óleo mineral

Sugere-se que seja preparada uma massa de mistura asfáltica com um percentual de acréscimo em torno de 2% em função de perdas, que porventura possam ocorrer.

Moldagem dos corpos-de-prova:

Após a adequada fabricação da mistura, recomenda-se que esta permaneça em estufa por um período de 30 minutos com objetivo de homogeneização da temperatura. Após este período, a massa deve ser imediatamente retirada da estufa e lançada no molde metálico.

Sobre a mistura solta no interior do molde, devem ser aplicados 25 golpes, igualmente distribuídos, com uso de uma espátula, com objetivo de conferir melhor acomodação da mistura. Após esta etapa, deve ser verificado o nivelamento da superfície da massa solta, garantindo estar numa condição plana.

O molde com a massa em seu interior deve ser posicionado na prensa hidráulica. Antes da instalação do êmbolo de compressão, deve ser tomada a temperatura da massa e conferida com a faixa de aceitação especificada na metodologia de dosagem.

Proceder a compactação da mistura, através a compressão estática. Sugere-se que sejam realizados testes prévios, com objetivo de estabelecer uma relação entre espessura da camada compactada, carga de compactação e grau de compactação. Após esta etapa, as moldagens poderão ser reproduzidas respeitando-se a carga de compressão necessária para a obtenção do valor de grau de compactação exigido.

Finalizada a compressão da mistura asfáltica, o conjunto massa + molde devem ser retirados da prensa e deixados esfriar. Assim que a mistura resistir, a camada do corpo de prova deverá ser retirada do interior do molde de compressão. Recomenda-se que seja utilizado molde bipartido

para facilitar e agilizar o processo, além de, reduzir a possibilidade de perturbações na mistura ainda quente.

As etapas comentadas anteriormente deverão ser obedecidas também para a compactação da segunda camada do corpo de prova. Entretanto, a primeira camada deverá ser posicionada na base do molde previamente preparado. Não deve ser levado à estufa ou aquecido o molde metálico já com a primeira camada (base) do corpo de prova.

Caso sejam aplicadas taxas de pintura de ligação ou instalados geossintéticos entre as camadas de mistura asfálticas, estes procedimentos deverão ser realizados previamente ao posicionamento da primeira camada (base do corpo de prova) no molde metálico.

Os corpos de prova devem ser inspecionados visualmente quanto a ortogonalidade entre as faces e as laterais. Além disso, a interface entre as camadas deve ser rigorosamente paralela às faces externas do corpo de prova. Caso estes aspectos não sejam satisfatórios, os corpos de prova devem ser descartados, pois poderão ser determinados falsos resultados.

Sugere-se que o diâmetro do corpo de prova deve ser igual a 15cm. Valores inferiores a este podem gerar resultados inconsistentes.

Rompimento dos corpos-de-prova:

Após fabricado e retirado do molde o corpo de prova é levado a ruptura. Sugere-se que este permanece em descanso, protegido, até que ocorra o completo esfriamento da massa.

O corpo de prova é posicionado e fixado na base do aparato utilizado para o cisalhamento. Para tal, metade do corpo deve ser presa respeitando-se o paralelismo entre a interface de união entre as camadas de mistura asfáltica e direção que será aplicada a força cortante.

Em seguida, a parte móvel do aparato é posicionado e o conjunto posicionado na prensa para o carregamento e ruptura.

Com o corpo de prova devidamente posicionado na prensa, inicia-se então o carregamento, sob uma velocidade constante de 50 mm/minuto. Durante a aplicação da carga são registrados os pares de valores de deslocamento e força.

Após ruptura, o corpo de prova deve ser retirado do aparato e observada a forma em que ocorreu a ruptura.

A ruptura deve ser realizada sob temperatura de 25°C, com tolerância de $\pm 2^\circ\text{C}$.

Resultados:

Os resultados do ensaio são a máxima força resistida ($F_{\text{máx}}$) o módulo de reação da interface (k). A tensão de resistência ao cisalhamento pode ser obtida através da divisão da máxima força resistida e a área do corpo de prova.

O módulo de reação da interface é obtido através da relação entre a tensão de resistência ao cisalhamento e o deslocamento necessário a esta reação.

As unidades utilizadas são:

- Máxima força resistida: $F_{\text{máx}}$ em N;
- Tensão de resistência ao cisalhamento em MPa;
- Módulo de reação de interface (k) em MPa/mm.



Figura A.1 – Molde bipartido para confecção dos corpos de prova.



(a) vista lateral



(b) vista superior



(c) vista frontal

Figura A.2 – Aparato de cisalhamento do corpo de prova.

PROCEDIMENTO B – Ensaio de mancha de areia modificado

Introdução: Este procedimento apresenta a metodologia para a execução de ensaios de mancha de areia sobre a superfície de corpos de prova cilíndricos, com diâmetro igual a 15cm, de misturas asfálticas.

Objetivo: Determinar a altura média dos vazios superficiais do corpo de prova de mistura asfáltica.

Equipamentos: a seguir são listados os equipamentos necessários para a realização dos ensaios:

- Todos listados na norma ASTM E 965-96 (2006);
- Folha de papel tipo cartolina.

Execução do ensaio:

Previamente a execução do ensaio, deve ser determinada a densidade seca no estado solto da areia (γ_{areia}) que será utilizada no ensaio. Ressalte-se que a granulometria desta deve passar 100% na peneira n° 50 e 0% na peneira n° 100.

A superfície do corpo-de-prova deverá ser seca e limpa, garantindo a inexistência de partículas soltas que poderão interferir nos resultados.

Posicionar o corpo de prova de mistura betuminosa sobre e no centro da folha de papel cartolina. Verificar que sobre a folha de papel tipo cartolina não exista nenhuma partícula solta de qualquer material.

Sobre a superfície do corpo de prova de mistura asfáltica, lançar uma massa de areia conhecida (M_i), aproximadamente 10g. Esta massa deverá ser espalhada sobre a superfície do corpo de prova, em movimento circulares, sem pressão, com o uso de aparelho conforme norma ASTM E 965-96 (2006). Este procedimento deve ser executado até que todos os vazios superficiais do corpo de prova sejam preenchidos, e não mais extravase areia pelas laterais.

Retirar cuidadosamente o corpo de prova, com vazios superficiais preenchidos com areia, de cima da folha de papel cartolina. Coletar toda a massa de areia sobre a folha de papel cartolina num recipiente e determinar a massa de areia extravasada pela lateral do corpo de prova (M_f).

Na Figura B.1 é apresentada uma imagem ilustrativa da execução do ensaio.

Resultado:

O resultado do ensaio é a altura da mancha de areia (H_{areia}), em mm, que representa a altura média dos vazios superficiais do corpo de prova de mistura asfáltica. Esta é determinada através da seguinte expressão:

$$H_{\text{areia}} = \left(\frac{M_{\text{superfície}}}{\gamma_{\text{areia}}} \right) \div 17,67$$

Onde: $M_{\text{superfície}}$ é a massa de areia sobre a superfície do corpo-de-prova, sendo $M_{\text{superfície}} = M_i - M_f$.

A altura da mancha de areia pode ser correlacionada com a condição da textura superficial da amostra, conforme Tabela B.1, apresentada a seguir.

Tabela B.1 – Correlação entre altura da mancha de areia e a textura superficial.

Altura da mancha de areia	Textura superficial
$H_{\text{areia}} < 0,20\text{mm}$	Muito fina ou muito fechada
$0,20\text{mm} < H_{\text{areia}} < 0,40\text{mm}$	Fina ou fechada
$0,40\text{mm} < H_{\text{areia}} < 0,80\text{mm}$	Média
$0,80\text{mm} < H_{\text{areia}} < 1,20\text{mm}$	Grosseria ou aberta
$H_{\text{areia}} > 1,20\text{mm}$	Muito grosseira ou aberta



Figura B.1 – Imagem da execução do ensaio modificado de mancha de areia.

PROCEDIMENTO C – Ensaio de tração à flexão em vigas prismáticas de mistura asfáltica com ou sem o uso de geossintéticos

Introdução: Este procedimento apresenta a metodologia para a execução de ensaios de tração à flexão em corpos de prova de misturas asfálticas densas, prismáticos, moldados em laboratório por compressão, com ou sem o uso de geossintéticos entre camadas sobrepostas de mistura.

Objetivo: Determinar a resistência à tração na flexão em vigas prismáticas com dimensões básicas de 15cm de largura, 10cm de altura e 45cm de comprimento.

Equipamentos: a seguir são listados os equipamentos necessários para a realização dos ensaios:

- Prensa hidráulica com capacidade mínima de 120 toneladas;
- Prensa eletromecânica Marshall;
- Anel dinamômetro (com relógio comparador dotado de dispositivo de fixação de máxima leitura) ou célula de carga com capacidade mínima de 5.000 kgf;
- Extensômetro ou LVDT com curso mínimo de 50 mm;
- Molde de paredes rígidas, desmontável, metálico para moldagem dos corpos de prova (Figura C.1);
- Aparato para acomodação e ruptura do corpo de prova (Figura C.2);
- Estufa capaz de manter temperaturas constantes até 180°C;
- 2 Termômetros graduados (1°C), com capacidade 200°C;
- Balança com precisão de 0,1g;
- Espátulas;
- Tachos metálicos;
- Óleo mineral;
- Fonte de calor: fogão ou placa térmica;

Preparação dos materiais e equipamentos:

- Mistura asfáltica: a mistura asfáltica deverá ser preparada conforme os resultados da dosagem procedida. Devem ser rigorosamente obedecidas os percentuais para composição da curva granulométrica e faixas de temperaturas especificadas. Ressalte-se que a rotina de fabricação da mistura deverá ser idêntica à adotada quando da realização da dosagem. Considerando que o corpo de prova é composto por duas camadas, a massa necessária para confecção de cada uma destas deve ser preparada separadamente, numa quantidade pré-determinada em função da espessura de cada uma e da densidade obtida no procedimento de dosagem;
- Molde metálico: antes do lançamento da mistura no interior do molde, este deverá estar devidamente pré-aquecido e untado com uma fina película de óleo mineral

Sugere-se que seja preparada uma massa de mistura asfáltica com um percentual de acréscimo em torno de 2% em função de perdas, que porventura possam ocorrer.

Execução do ensaio:

Após a adequada fabricação da mistura, recomenda-se que esta permaneça em estufa por um período de 30 minutos com objetivo de homogeneização da temperatura. Após este período, a massa deve ser imediatamente retirada da estufa e lançada no molde metálico.

Sobre a mistura solta no interior do molde, devem ser aplicados 50 golpes, igualmente distribuídos, com uso de uma espátula, com objetivo de conferir melhor acomodação da mistura. Após esta etapa, deve ser verificado o nivelamento da superfície da massa solta, garantindo estar numa condição plana. Para tal, deve ser utilizado uma régua nível.

O molde com a massa em seu interior deve ser posicionado na prensa hidráulica. Antes da instalação do êmbolo de compressão, deve ser tomada a temperatura da massa e conferida com a faixa de aceitação especificada na metodologia de dosagem.

A moldagem deve ser realizada por meio de compactação estática com auxílio de prensa hidráulica. Para o alcance das características exigidas, a compactação de cada camada deve ser feita pela aplicação de três carregamentos em pontos distintos da superfície, como:

- 1º pressão de compactação: aplicada na superfície e na região central;

- 2º pressão de compactação: aplicada na superfície direita do corpo-de-prova, com ponto de carregamento a 7,5cm da borda;
- 3º pressão de compactação: aplicada na superfície esquerda do corpo-de-prova, com ponto de carregamento a 7,5cm da borda.

Sugere-se que sejam realizados testes prévios, com objetivo de estabelecer uma relação entre espessura da camada compactada, carga de compactação e grau de compactação. Após esta etapa, as moldagens poderão ser reproduzidas respeitando-se a carga de compressão necessária para a obtenção do valor de grau de compactação exigido.

A primeira compactação a ser realizada na parte central do corpo de prova deve ser realizada com uma carga de compressão cerca de 25% superior as demais compressões nas extremidades.

Finalizada a compressão da mistura asfáltica, o conjunto massa + molde devem ser retirados da prensa e deixados esfriar. Assim que a mistura resistir, a camada do corpo de prova deverá ser retirada do interior do molde de compressão. Recomenda-se que seja utilizado molde totalmente desmontável (4 faces) para facilitar e agilizar o processo, além de, reduzir a possibilidade de perturbações na mistura ainda quente.

As etapas comentadas anteriormente deverão ser obedecidas também para a compactação da segunda camada do corpo de prova. Entretanto, a primeira camada deverá ser posicionada na base do molde previamente preparado. Não deve ser levado à estufa ou aquecido o molde metálico já com a primeira camada (base) do corpo de prova.

Caso sejam aplicadas taxas de pintura de ligação ou instalados geossintéticos entre as camadas de mistura asfálticas, estes procedimentos deverão ser realizados previamente ao posicionamento da primeira camada (base do corpo de prova) no molde metálico.

Os corpos de prova devem ser inspecionados visualmente quanto a ortogonalidade entre as faces e as laterais. Além disso, a interface entre as camadas deve ser rigorosamente paralela às faces externas do corpo de prova. Caso estes aspectos não sejam satisfatórios, os corpos de prova devem ser descartados, pois poderão ser determinados falsos resultados.

Sugere-se que a largura do corpo de prova deve ser igual a 15cm. Valores inferiores a este podem gerar resultados inconsistentes. Após a moldagem do corpo de prova, devem ser tomadas medidas de alturas e larguras. Para cada face devem ser realizadas no mínimo 3 determinações.

Rompimento dos corpos-de-prova:

Após fabricado e retirado do molde o corpo de prova é levado a ruptura. Sugere-se que este permanece em descanso, protegido, até que ocorra o completo esfriamento da massa.

O corpo de prova é posicionado sobre os apoios do aparato de rompimento. Em seguida, a parte superior do aparato é posicionado e o conjunto posicionado na prensa para o carregamento e ruptura. O aparato é semelhante ao apresentado na norma ABNT NBR 12142, exceto as dimensões que são ilustradas na Figura C.3, a seguir.

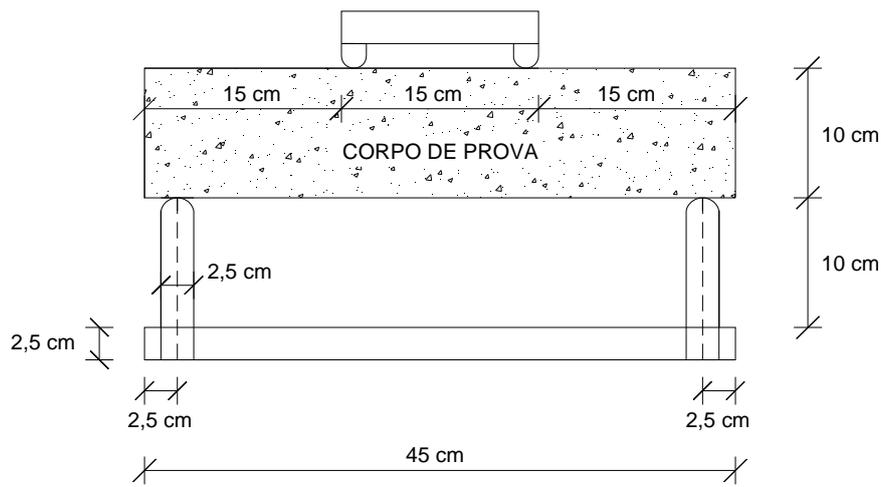


Figura C.3 – Ilustração esquemática do aparato para o ensaio de tração na flexão.

Sugere-se que sejam feitas marcações nos corpos de prova nos locais onde ocorrerá os contatos com os apoios do aparato, tanto da parte inferior quanto na parte superior.

Com o corpo de prova devidamente posicionado na prensa, inicia-se então o carregamento, sob uma velocidade constante de 50 mm/minuto. Durante a aplicação da carga são registrados os pares de valores de deslocamento e força.

Após ruptura, o corpo de prova deve ser retirado do aparato e observada a forma em que ocorreu a ruptura.

A ruptura deve ser realizada sob temperatura de 25°C, com tolerância de $\pm 2^\circ\text{C}$.

Resultado:

O resultado do ensaio é a resistência à tração na flexão, que é determinada através da seguinte expressão:

$$f_{ctM} = \frac{pl}{bh^2} \quad (\text{C.1})$$

Onde:

f_{ctM} – resistência à tração na flexão (MPa);

p – carga máxima aplicada (N);

l – distância entre cutelos de suporte (mm);

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

h – altura média do corpo-de-prova (mm).

É importante observar a forma de ruptura ocorrida. Caso essa se localize fora da região do terço médio do corpo de prova, a expressão apresentada não é válida.



Figura C.1 - Molde de paredes rígidas, desmontável, metálico para moldagem dos corpos de prova.



Figura C.2 - Aparato para acomodação do corpo de prova.

PROCEDIMENTO D – Determinação da espessura de recobrimento por resíduo asfáltico de emulsão asfálticas em geossintéticos

Introdução: Este procedimento apresenta a metodologia para a execução de ensaios de determinação da espessura de recobrimento por resíduo asfáltico de emulsão asfálticas em geossintéticos, especificamente em geogrelha composta por um geotêxtil ultraleve entre suas malhas. Para tal, são utilizados os corpos de prova usados em ensaios de retenção de material betuminoso.

Objetivo: Determinar as espessuras de recobrimento por resíduo asfáltico de emulsão asfálticas em geogrelha composta por um geotêxtil ultraleve entre suas malhas.

Equipamentos: os mesmos listados na norma ABNT NBR 12569:1992.

Execução do ensaio:

A determinação da espessura é realizada através do cálculo das espessuras do material depois e antes dos ensaios de retenção de material betuminoso. Assim, o procedimento se divide em duas partes, uma antes do ensaio de retenção e outra após os ensaios de retenção.

Sobre as amostras de geossintéticos preparadas para os ensaios de retenção, devem ser tomadas medidas de espessura do geotêxtil ultraleve existente entre as malhas. Para tal, posiciona-se o corpo de prova no aparelho de medição de espessura, ilustrado na Figura D.1. Devem ser realizadas cinco medidas, uma no centro e as demais nos quatro bordos da amostra, todas com a ponta do extensômetro apoiada sobre o geotêxtil ultraleve. O valor médio será tomado como a espessura do material no estado virgem, denominada $E_{inicial}$, em mm.

Após a conclusão dos ensaios de retenção, as amostras de geossintéticos impregnadas são novamente posicionadas no aparelho e, então, realizadas novas medidas de espessuras. Estas devem ser realizadas nos mesmos locais quando das medições no material na condição virgem. A média das cinco determinações é adotada como representativo do material impregnado, e denominada E_{final} , em mm.

Quando das medições sobre o material impregnado, sugere-se que após o apoio da ponta do extensômetro a leitura seja realizada imediatamente. A natureza do material betuminoso pode permitir que apenas a reação do extensômetro implique na penetração no resíduo.

A determinações de espessuras devem ser realizadas sob temperatura de 25°C, com tolerância de $\pm 2^\circ\text{C}$.

Resultados:

A espessura de recobrimento por resíduo asfáltico de emulsão asfáltica é obtida através da seguinte expressão:

$$E_{filme} = E_{final} - E_{inicial} \quad (\text{D.1})$$

Onde:

E_{filme} – espessura do filme de resíduo que recobre as duas faces dos geotêxteis (mm);

E_{final} – espessura dos geotêxteis impregnados com o resíduo de material betuminoso (mm);

$E_{inicial}$ – espessura dos geotêxteis virgens, antes do ensaio de retenção (mm).



Figura D.1 – Equipamento utilizado para determinação de espessuras (SANTOS, 2013).

PROCEDIMENTO E – Determinação da espessura de recobrimento por resíduo asfáltico de emulsão asfálticas em superfície padrão

Introdução: Este procedimento apresenta a metodologia para a execução de ensaios de determinação da espessura de recobrimento por resíduo asfáltico de emulsão asfálticas em uma superfície padrão, lisa e impermeável.

Objetivo: Determinar as espessuras de recobrimento por resíduo asfáltico de emulsão asfálticas em uma superfície padrão.

Equipamentos:

- Os mesmos listados na norma ABNT NBR 12569:1992;
- Recipiente padrão, de superfície lisa e impermeável e com área conhecida.
- Placa rígida, com massa máxima de 10g.

Execução do ensaio:

Previamente a realização da pintura com emulsão, deve ser determinada a espessura do conjunto recipiente + placa rígida, sendo esta medida denominada $E_{inicial}$, em mm. Esta medida deve ser o resultado da média de quatro determinações em pontos marcados em direções perpendiculares na superfície do recipiente.

Após determinada a $E_{inicial}$, o recipiente padrão deve ser posicionado em bancada rígida, fixa e perfeitamente nivelada. O local de realização do ensaio deve ser protegido de agentes externos que possam causar perturbações, tais como, vento e poeira.

Aplicar a taxa determinada de pintura com emulsão sobre a superfície do recipiente. Sugere-se que o lançamento do material betuminoso deva ser realizado com auxílio de uma colher, de forma homogênea por toda a área do recipiente.

A taxa de pintura a ser aplicada deve ser aquela em que se deseja conhecer a espessura de filme de resíduo produzida.

Após aplicada a pintura, aguardar total ruptura da emulsão. Para tal, os recipientes devem permanecer em local protegido e rigorosamente nas mesmas posições, mantendo assim o nivelamento inicial.

Os recipientes recobertos pelo filme de resíduo devem ser posicionados no equipamento para determinação das espessuras. Sobre o filme de resíduo, deve ser colocada a placa rígida, sem qualquer aplicação de esforço de pressão externo. Neste momento, o conjunto recipiente + placa rígida + filme de resíduo está pronto para as determinações das espessuras. Estas, de modo semelhante a $E_{inicial}$, é a média das leituras em quatro pontos marcados em direções perpendiculares na superfície do recipiente. Este valor é denominado E_{final} , em mm.

Nas Figura E.1 e E.2 são apresentados esquemas com localização dos pontos de leituras e conjuntos recipiente + placa rígida + filme de resíduo e recipiente + placa rígida.

A determinações de espessuras devem ser realizadas sob temperatura de 25°C, com tolerância de $\pm 2^\circ\text{C}$.

Resultados:

A espessura de recobrimento por resíduo asfáltico de emulsão asfáltica é obtida através da seguinte expressão:

$$E_{filme} = E_{final} - E_{inicial} \quad (\text{E.1})$$

Onde:

E_{filme} – espessura do filme de resíduo de material betuminoso (mm);

E_{final} – espessura do conjunto recipiente + placa rígida + filme de resíduo (mm);

$E_{inicial}$ – espessura do conjunto recipiente + placa rígida (mm).

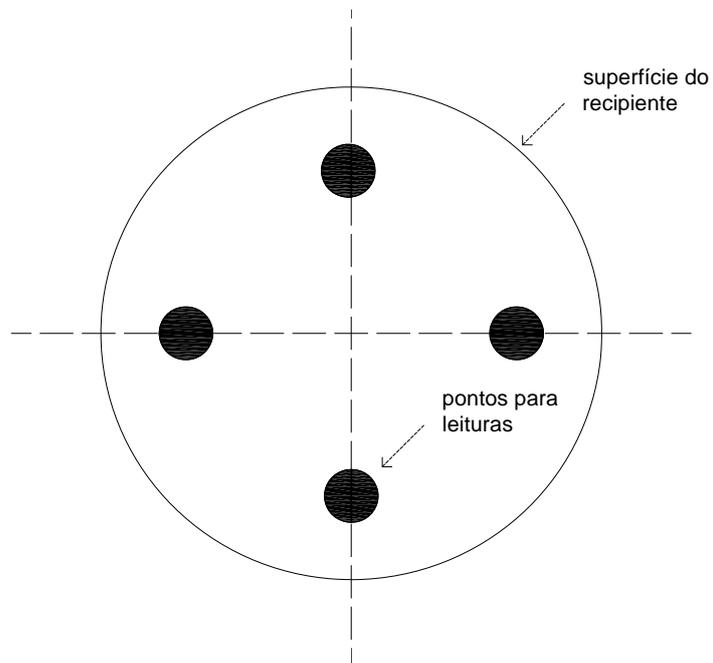


Figura E.1 – localização dos pontos de leituras na superfície.

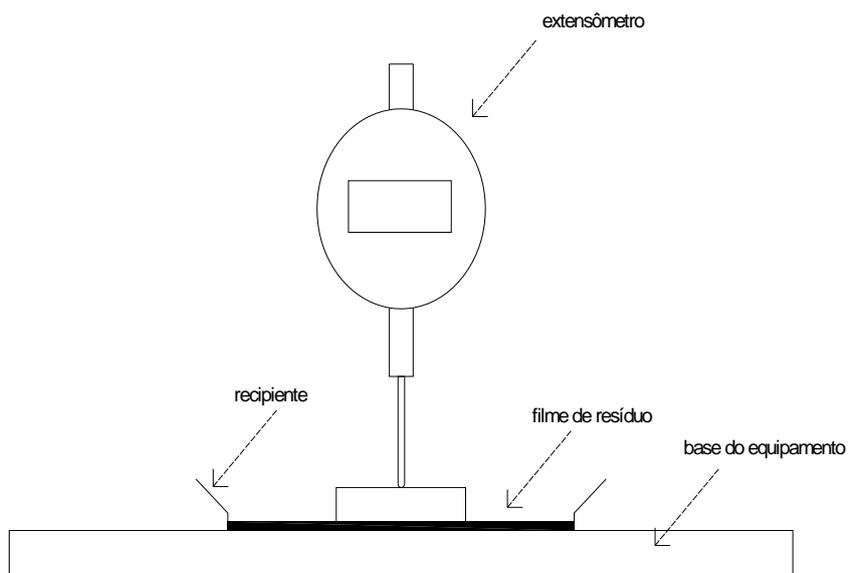


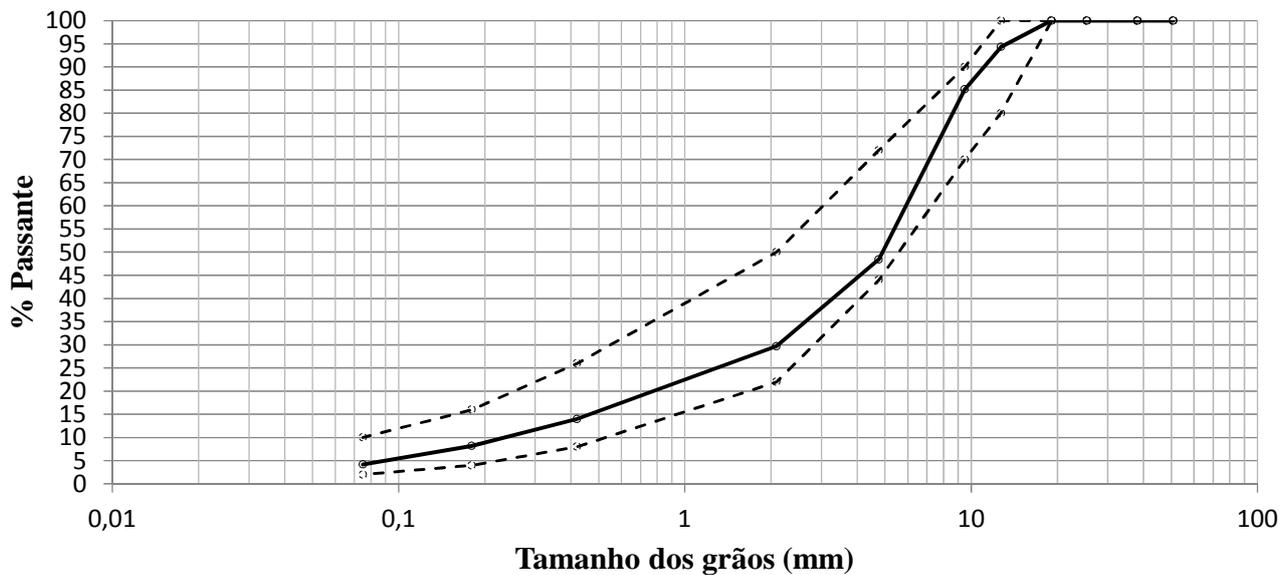
Figura E.2 – Esquema de representação do conjunto recipiente + placa rígida + filme de resíduo.

ANEXO 2 – FICHAS E CERTIFICADOS DE ENSAIOS

DENSIDADE DO AGREGADO GRAÚDO				
Agregado passante na peneira 3/4" e retido na peneira n°. 10				
Material: BRITA 0 (gnáisse)				
Anotações	Determinações			
	1	2	3	média
PH: massa ao ar agregado saturado e superfície seca (g)	379,6	401,4	414,0	-
PI: massa do agregado saturado imerso em água (g)	237,0	251,2	258,2	-
PS: massa de agregado seca (g)	377,0	399,0	411,0	-
Dr: densidade real (g/cm ³) Dr = PS / (PS - PI)	2,693	2,700	2,690	2,694
Da: densidade aparente (g/cm ³) Dr = PS / (PH - PI)	2,644	2,656	2,638	2,646
Ab: absorção (%) Ab = [(PH - PS) / OS] x 100	0,69%	0,60%	0,73%	0,67%

DENSIDADE DO AGREGADO GRAÚDO				
Agregado passante na peneira 3/4" e retido na peneira n°. 10				
Material: BRITA 1 (gnáisse)				
Anotações	Determinações			
	1	2	3	média
PH: massa ao ar agregado saturado e superfície seca (g)	735,4	583,6	630,0	-
PI: massa do agregado saturado imerso em água (g)	464,2	367,0	397,2	-
PS: massa de agregado seca (g)	733,4	581,0	628,2	-
Dr: densidade real (g/cm ³) Dr = PS / (PS - PI)	2,724	2,715	2,719	2,720
Da: densidade aparente (g/cm ³) Dr = PS / (PH - PI)	2,704	2,682	2,698	2,695
Ab: absorção (%) Ab = [(PH - PS) / OS] x 100	0,27%	0,45%	0,29%	0,33%

DOSAGEM E TRAÇOS TEÓRICOS DE MISTURAS



- - - limites da faixa "C" DNIT 031/2006-ES

—●— mistura de agregados dosada

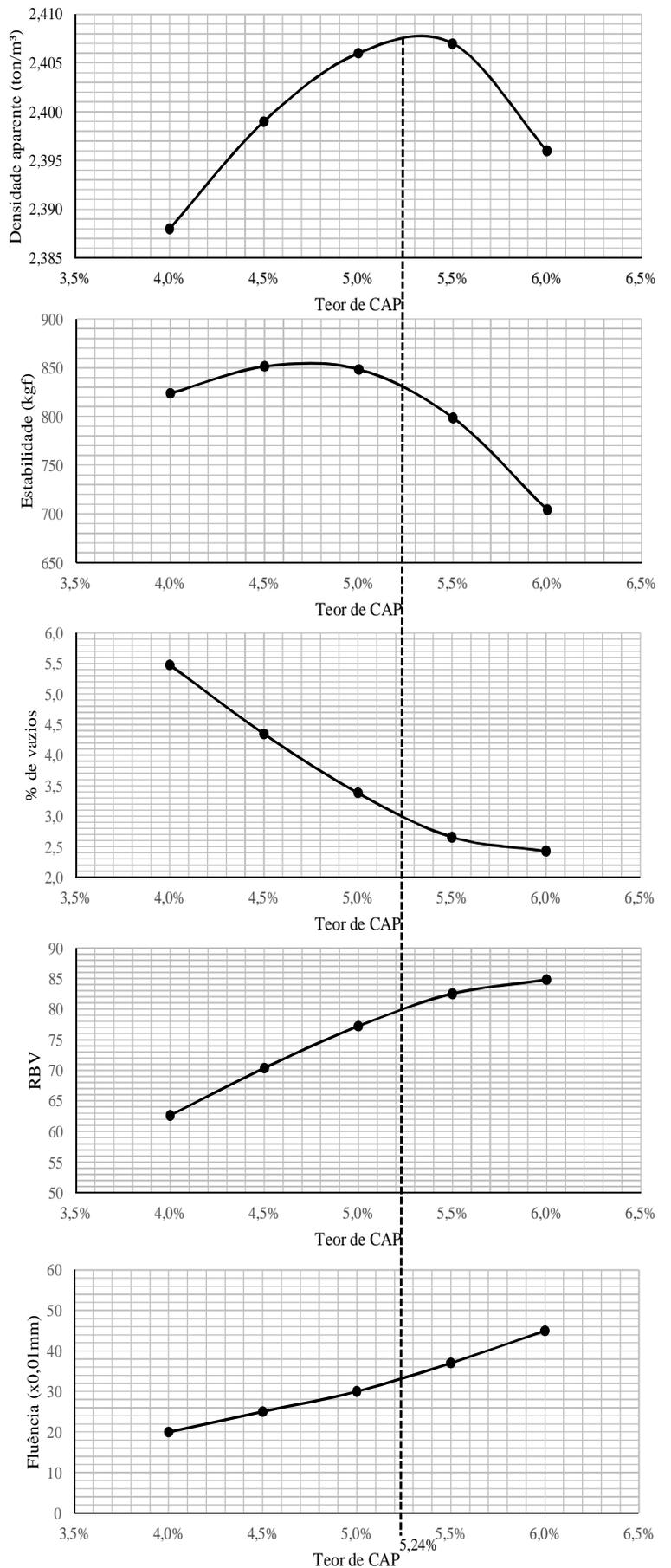
MATERIAL		BRITA 1		BRITA 0		PÓ						GRAN. DA MISTURA	DNIT-031/2006-ES
DOSAGEM (%)		10		45		45							
PENEIRAS		GRAN. PASSANTE	% ADOTADA	C									
pol.	mm												
2"	50,8	100	10	100	45	100	45		-		-	100	100 - 100
1.1/2"	38,1	100	10	100	45	100	45		-		-	100	100 - 100
1"	25,4	100	10	100	45	100	45		-		-	100	100 - 100
3/4"	19,1	98	10	100	45	100	45		-		-	100	100 - 100
1/2"	12,7	43	4	100	45	100	45		-		-	94	80 - 100
3/8"	9,5	3	0	89	40	100	45		-		-	85	70 - 90
Nº4	4,76	0	0	13	6	95	43		-		-	48	44 - 72
Nº10	2,09	0	0	1	0	65	29		-		-	30	22 - 50
Nº40	0,42		-	1	0	30	14		-		-	14	8 - 26
Nº80	0,18		-	1	0	18	8		-		-	8	4 - 16
Nº200	0,075		-	0	0	9	4		-		-	4	2 - 10

OBSERVAÇÕES:

DOSAGEM DE MISTURAS BETUMINOSAS - ENSAIO MARSHALL

Cimento Asfáltico (Classif. por Viscos. ou Penet.)		CAP-50/70	
Densidade Cimento Asfáltico - D.C.A		I	
Densidade Média Mistura Agregados - D.A.G		2,691	
obs.		I	
		a = I / D.C.A	
		b = I / D.A.G	

MÉDIA DOS CORPOS-DE-PROVA	% Cimento Asfáltico		AUXILIARES				DENSIDADE		VAZIOS				ESTAB.			
	P. Agreg.	P. Mistura	A	B	C	D	E	F	APAR.	TEÓRICA	V.C.B.	AUX.		TOTAIS	V.A.M.	R.B.V.
1	4,0	3,85%	96,2	35,7	39,6	39,6	39,6	39,6	G	H	I	J	K	L	M	N
2	4,5	4,31%	95,7	35,6	39,9	39,9	39,9	39,9	Processo pesagem hidrost.	$\frac{100}{F}$	C x G	$\frac{100 \cdot G}{H}$	100 - J	I + K	$100 \cdot \frac{I}{L}$	(Kg)
3	5,0	4,76%	95,2	35,4	40,2	40,2	40,2	40,2	2,388	2,526	9,2	94,5	5,5	14,7	62,64	824
4	5,5	5,21%	94,8	35,2	40,4	40,4	40,4	40,4	2,399	2,508	10,3	95,7	4,3	14,7	70,38	851
5	6,0	5,66%	94,3	35,1	40,7	40,7	40,7	40,7	2,406	2,490	11,5	96,6	3,4	14,8	77,22	848
									2,407	2,473	12,5	97,3	2,7	15,2	82,52	798
									2,396	2,456	13,6	97,6	2,4	16,0	84,81	704



DETERMINAÇÃO DA CURVA DE TEMPERATURA x VISCOSIDADE

Material: CAP 50/70

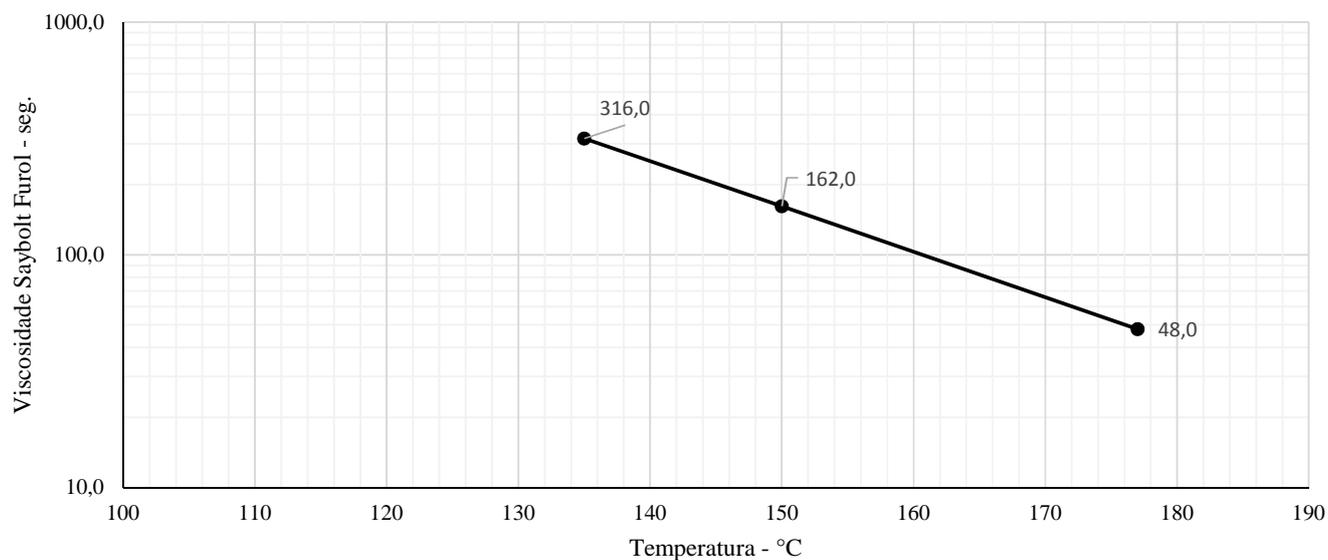
Procedência: REGAP - Betim/MG

Leituras no visímetro:

1° ponto		
Temp. (°C)	Tempo (s)	
	leitura 1	leitura 2
135	317,0	315,0
	média	
	316,0	

2° ponto		
Temp. (°C)	Tempo (s)	
	leitura 1	leitura 2
150	164,0	160,0
	média	
	162,0	

3° ponto		
Temp. (°C)	Tempo (s)	
	leitura 1	leitura 2
177	48,0	48,0
	média	
	48,0	



Temperaturas	Mínima	Máxima
de compactação	151°C	156°C
aquecimento do ligante	162°C	164°C

CERTIFICADO DE ENSAIO

Produto: CIMENTO ASFALTICO 50/70

Código: 71K

Local de Amostragem: TQ 250116A
Data/ hora Amostragem: 26/02/14 09:20
Data/ hora Recebimento: 26/02/14 10:01

Laboratório: REGAP/OT/QP
Endereço: Rodovia Fernão Dias Km 427
Betim/MG
Telefone:(0XX31) 3529-4420 Fax: (0XX31) 3529-4151

Característica	Método	Especificação	Resultado	Unidade
PENETRAÇÃO	D 5	50 a 70	54	0,1 mm
PONTO DE AMOLECIMENTO	D 36	46 min	50,8	grau C
VISCOSIDADE BROOKFIELD 135GC-SP21 20RPM	D 4402	274 min	327	cp
VISCOSIDADE BROOKFIELD 150 GC-SP21	D 4402	112 min	165	cp
VISCOSIDADE BROOKFIELD A 177GC SP21	D 4402	57 a 285	62	cp
RTFOT PENETRAÇÃO RETIDA	D 5	55 min	64	%
RTFOT-AUMENTO DO PONTO DE AMOLECIMENTO	D 36	8 max	2,5	grau C
RTFOT - DUCTILIDADE A 25GC	D 113	20 min	>150	cm
RTFOT VARIACAO EM % MASSA	D 2872	-0,50 a 0,50	-0,074	%
DUCTILIDADE A 25 GC	D 113	60 min	>150	cm
SOLUBILIDADE NO TRICLOROETILENO	D 2042	99,5 min	99,9	% massa
PONTO DE FULGOR	D 92	235 min	348	grau C
INDICE DE SUSCETIBILIDADE TERMICA	X 018	-1,5 a 0,7	-0,8	N/A
DENSIDADE RELATIVA A 20/4 GRAUS CELSIUS	D 70	Anotar (1)	1,008	N/A
AQUECIMENTO A 177 GC	X 215	NESP (2)	NESP	N/A

Notas:

(1) Ensaio não faz parte da especificação. Informação para fins de faturamento.

(2) NESP = Não espuma

Data de Emissão: 26/02/2014 22:36:18

Página: 1 de 1

Os resultados deste Certificado de Ensaio referem-se à amostra acima especificada.
Este certificado só pode ser reproduzido integralmente com a autorização do responsável pelo seu conteúdo.

Original Assinado Por:

Responsável:
Elisa Mara Silva Moraes de Oliveira
CRQ: N° 02202821



CERTIFICADO DE QUALIDADE

Centro: 5362 – Fábrica de Emulsões Asfálticas de Betim (FASFBET)

Dados do Produto

Código do Produto 1005.095	Nome do Produto Emulsão Asfáltica RR 1C KG				
Nº Tanque 115					
Data da Produção 07/03/2014	Data de Análise 10/03/2014				
Característica	Unidade	Especificação Lim. Inf. Lim. Sup		Resultado	Método
Resíduo	% (mínimo)	62,0	-	62,20	NBR-14376
Viscosidade Saybolt Furol a 50°C	segundo	100	400	37	NBR-14491
Peneira. Retido na malha # 20 (0,84 mm) %		-	0,1	0,0	NBR-4393

Formulação do Produto	Quantidade do Produto	Fase Aquosa: 12.000L
Genamin	70 Kg	
Murol	60 L	

Observação:

Data de emissão: 10 /03/2014

Os resultados deste certificado de qualidade referem-se à amostra acima especificada

Este certificado só pode ser reproduzido integralmente e com autorização do responsável pelo seu conteúdo.

Químico Responsável:

Rodrigo Silveira Viana

CRQ: 0241610 – 2ª Região / MG



CERTIFICADO DE QUALIDADE

Centro: 5362 – Fábrica de Emulsões Asfálticas de Betim (FASFBET)

Dados do Produto

Código do Produto 1005.096	Nome do Produto Emulsão Asfáltica RR 2C KG				
Nº Tanque 126					
Data da Produção 04/02/2014	Data de Análise 05/02/2014				
Característica	Unidade	Especificação Lim. Inf. Lim. Sup		Resultado	Método
Resíduo	% (mínimo)	67,0	-	68,0	NBR-14376
Viscosidade Saybolt Furol a 50 ^o C	segundo	100	400	201	NBR-14491
Peneira. Retido na malha # 20 (0,84 mm)	%	-	0,1	0,0	NBR-4393
Desemulsibilidade	%	50,0	-	70,27	NBR-6299

Formulação do Produto	Quantidade do Produto	Fase Aquosa: 12.000L
Genamin	80 Kg	
Aditivo	05 Kg	
Murol	70 L	

Observação:

Data de emissão: 10 /03/2014
Os resultados deste certificado de qualidade referem-se à amostra acima especificada
Este certificado só pode ser reproduzido integralmente e com autorização do responsável pelo seu conteúdo.

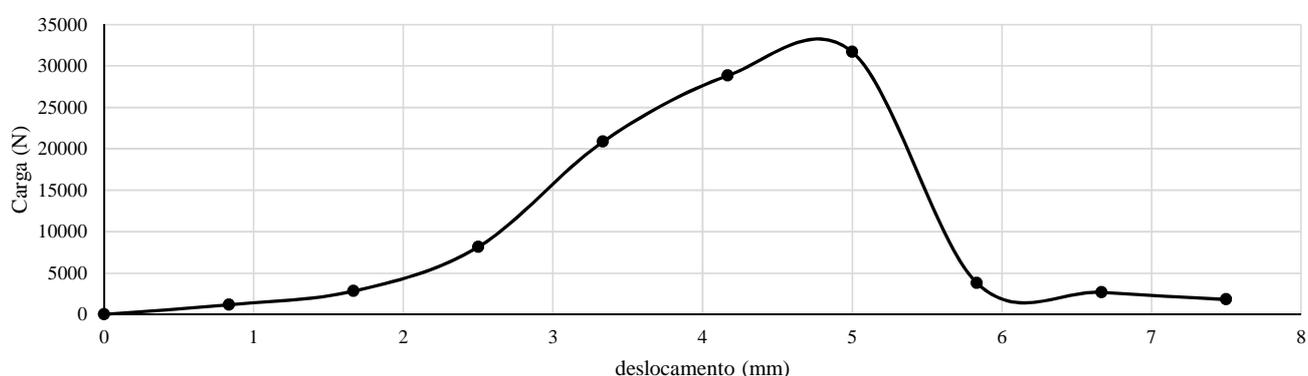
Químico Responsável:
Rodrigo Silveira Viana
CRQ: 0241610 – 2^a Região / MG

ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	-
Emulsão diluída:	-
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	0,00
Geossintético:	S/ geossint.
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

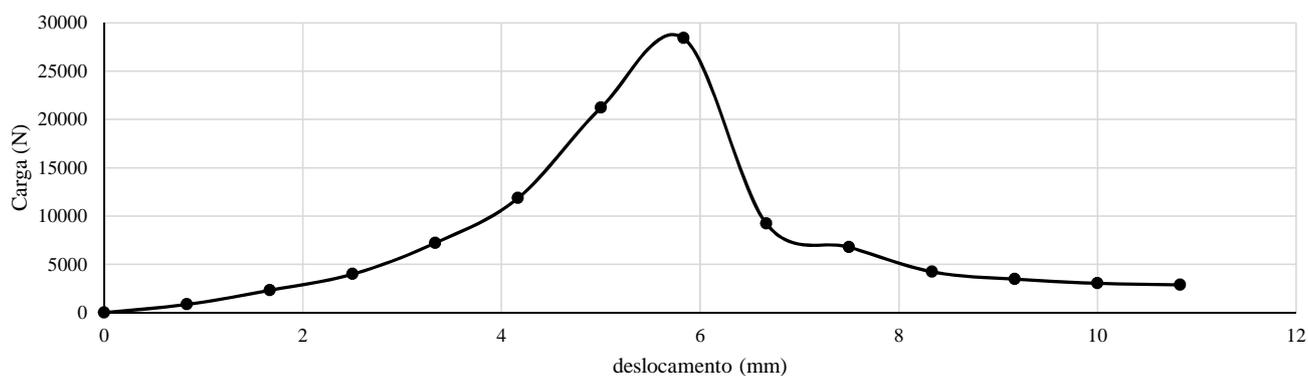
Carga máxima (kN):	31,7
Deslocamento na ruptura (mm):	5,00
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,36

Curva: força x deslocamento:**ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO**

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	-
Emulsão diluída:	-
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	0,00
Geossintético:	S/ geossint.
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

Carga máxima (kN):	28,4
Deslocamento na ruptura (mm):	5,83
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,28

Curva: força x deslocamento:

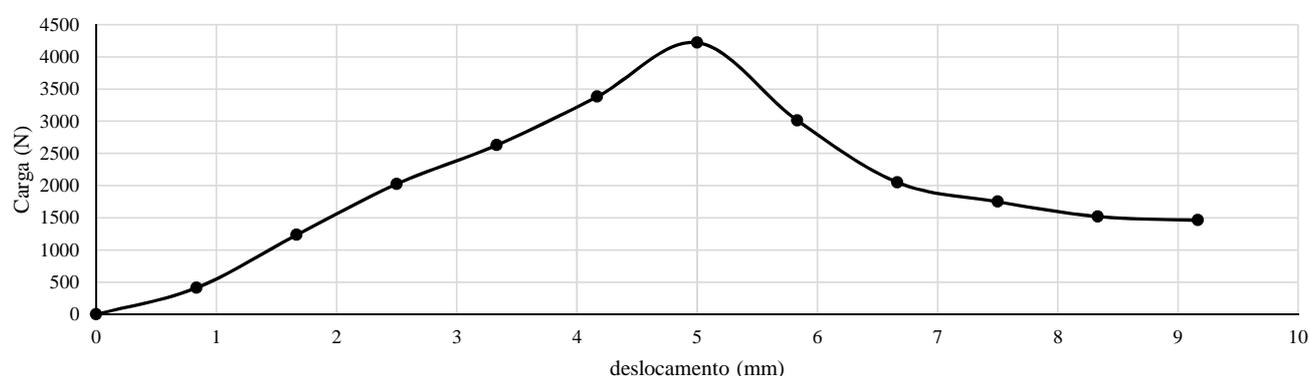
ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	-
Emulsão diluída:	-
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	0,00
Geossintético:	Geogrelha
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

Carga máxima (kN):	4,2
Deslocamento na ruptura (mm):	5,00
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,05

Curva: força x deslocamento:



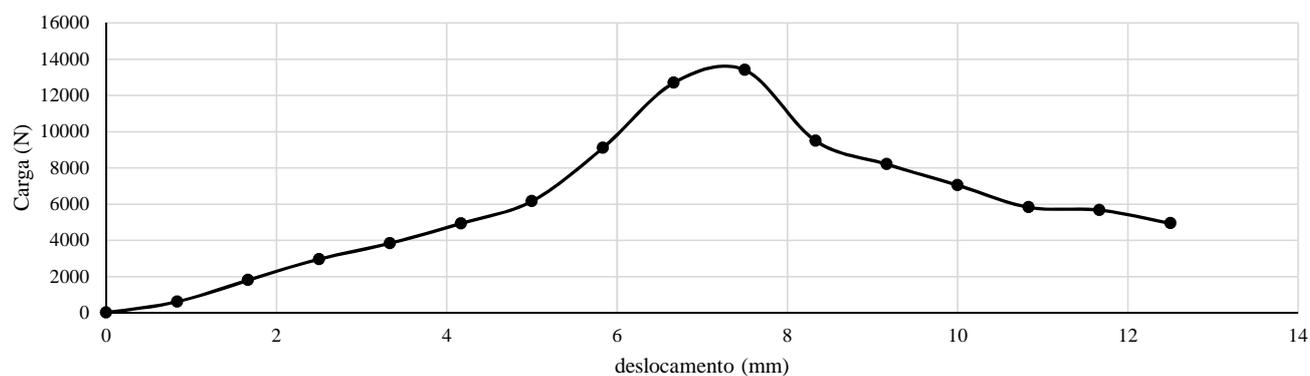
ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	-
Emulsão diluída:	-
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	0,00
Geossintético:	Geotêxtil
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

Carga máxima (kN):	13,4
Deslocamento na ruptura (mm):	7,50
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,10

Curva: força x deslocamento:

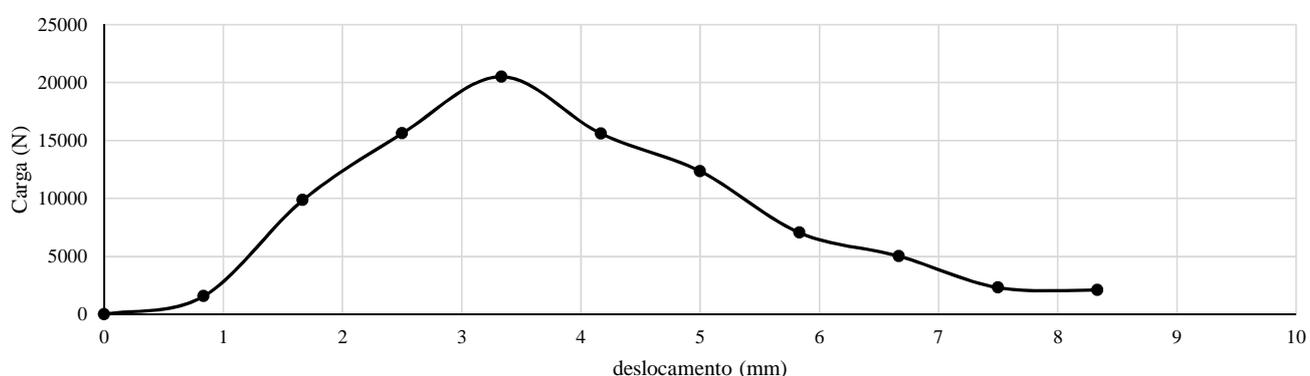


ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	RR 1C
Emulsão diluída:	ñ diluído
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	0,20
Geossintético:	S/ geossint.
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

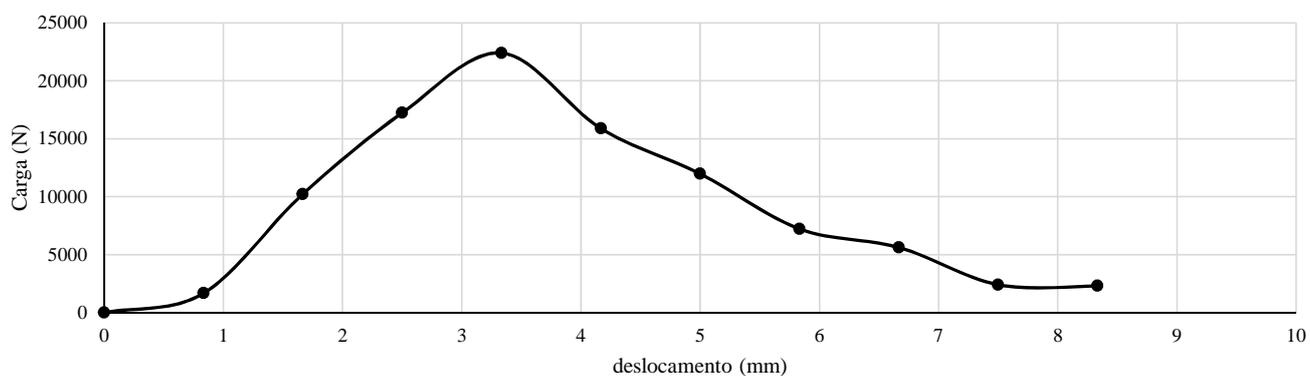
Carga máxima (kN):	20,5
Deslocamento na ruptura (mm):	3,77
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,31

Curva: força x deslocamento:**ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO**

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	RR 1C
Emulsão diluída:	ñ diluído
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	0,40
Geossintético:	S/ geossint.
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

Carga máxima (kN):	22,4
Deslocamento na ruptura (mm):	3,77
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,34

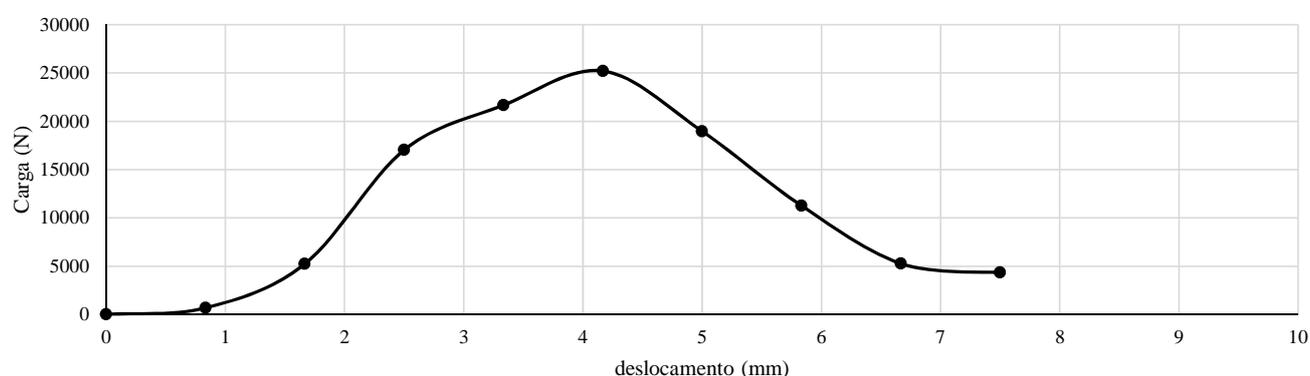
Curva: força x deslocamento:

ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	RR 1C
Emulsão diluída:	ñ diluído
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	0,70
Geossintético:	S/ geossint.
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

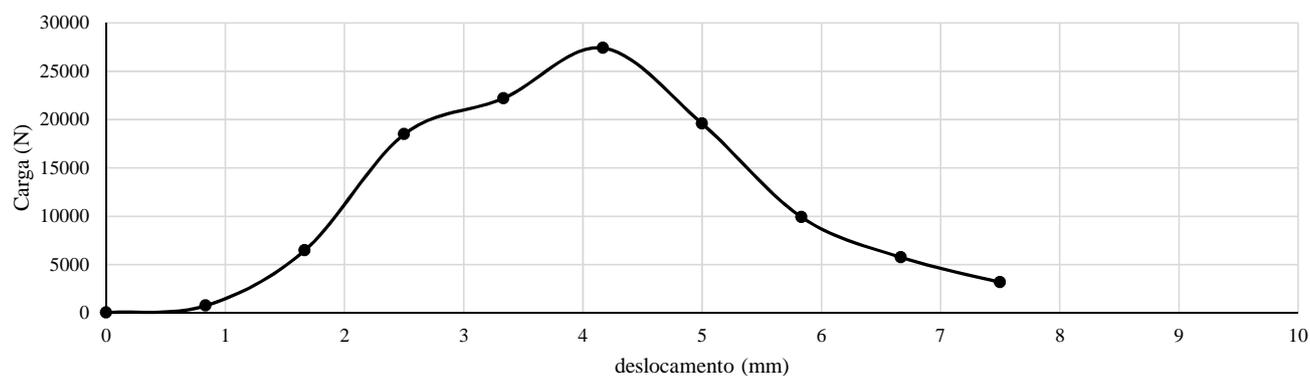
Carga máxima (kN):	25,2
Deslocamento na ruptura (mm):	3,89
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,37

Curva: força x deslocamento:**ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO**

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	RR 1C
Emulsão diluída:	ñ diluído
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	0,90
Geossintético:	S/ geossint.
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

Carga máxima (kN):	27,4
Deslocamento na ruptura (mm):	4,17
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,37

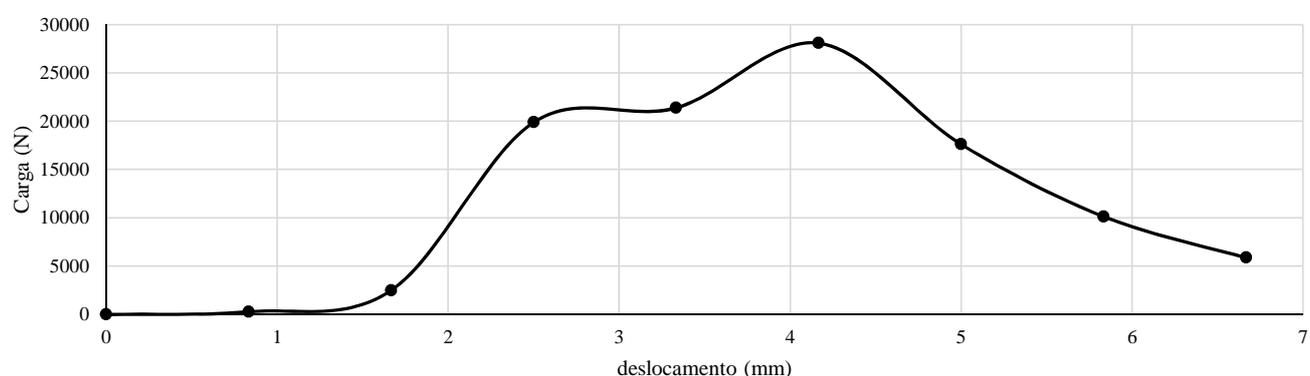
Curva: força x deslocamento:

ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	RR 1C
Emulsão diluída:	ñ diluído
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	1,85
Geossintético:	S/ geossint.
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

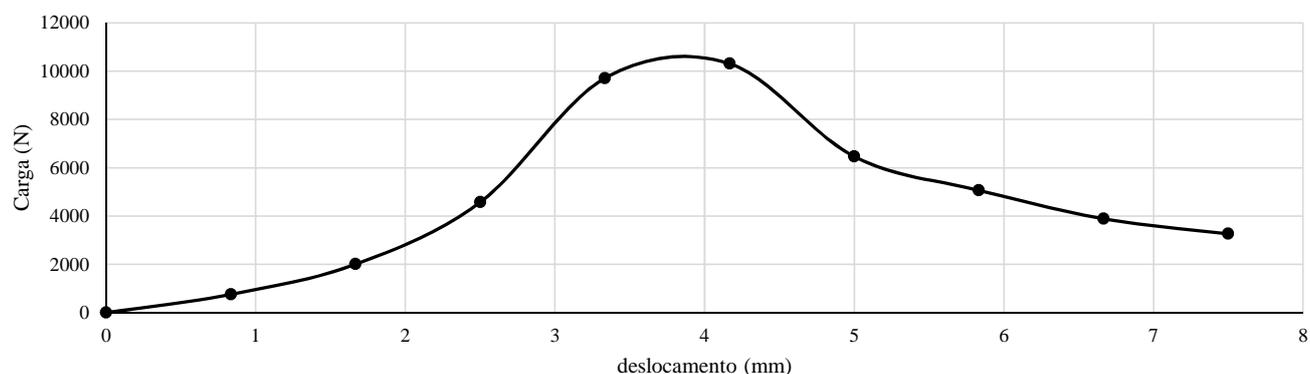
Carga máxima (kN):	28,1
Deslocamento na ruptura (mm):	4,17
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,38

Curva: força x deslocamento:**ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO**

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	RR 1C
Emulsão diluída:	ñ diluído
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	0,65
Geossintético:	Geogrelha
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

Carga máxima (kN):	10,3
Deslocamento na ruptura (mm):	4,17
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,14

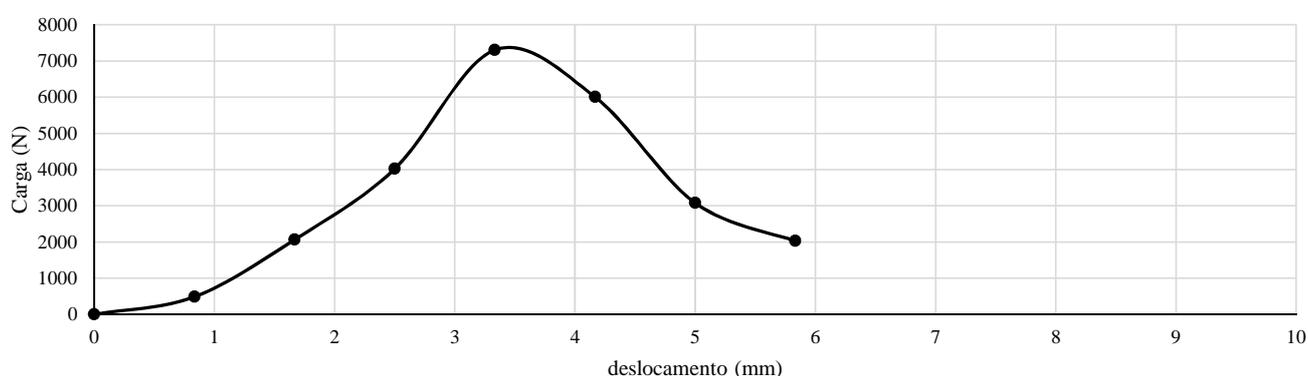
Curva: força x deslocamento:

ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	RR 1C
Emulsão diluída:	ñ diluído
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	0,32
Geossintético:	Geogrelha
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

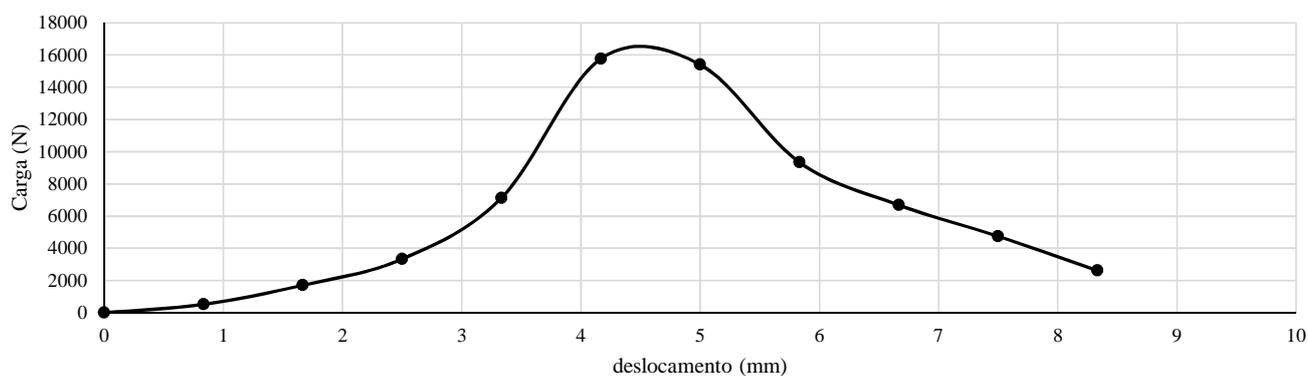
Carga máxima (kN):	7,3
Deslocamento na ruptura (mm):	3,43
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,12

Curva: força x deslocamento:**ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO**

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	RR 1C
Emulsão diluída:	ñ diluído
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	0,91
Geossintético:	Geogrelha
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

Carga máxima (kN):	15,8
Deslocamento na ruptura (mm):	4,17
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,21

Curva: força x deslocamento:

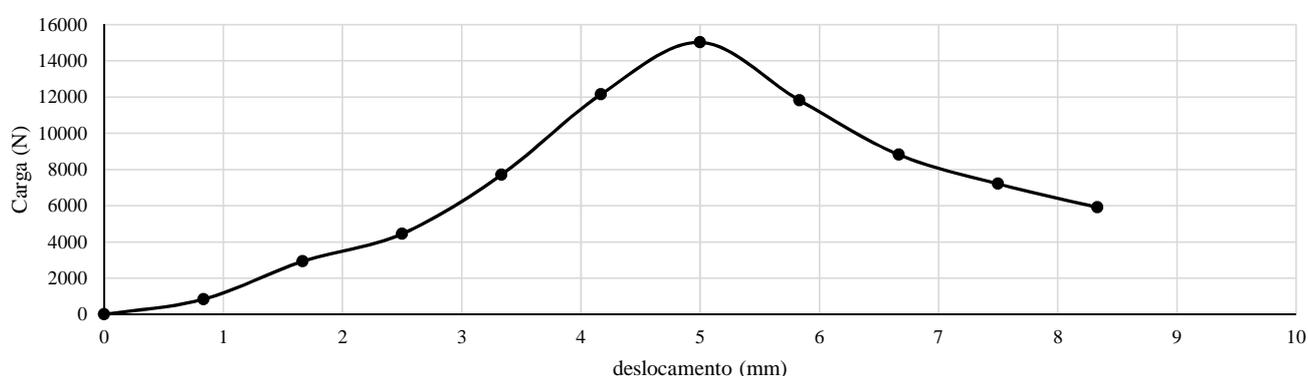
ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	RR 1C
Emulsão diluída:	ñ diluído
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	0,98
Geossintético:	Geogrelha
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

Carga máxima (kN):	15,0
Deslocamento na ruptura (mm):	5,00
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,17

Curva: força x deslocamento:



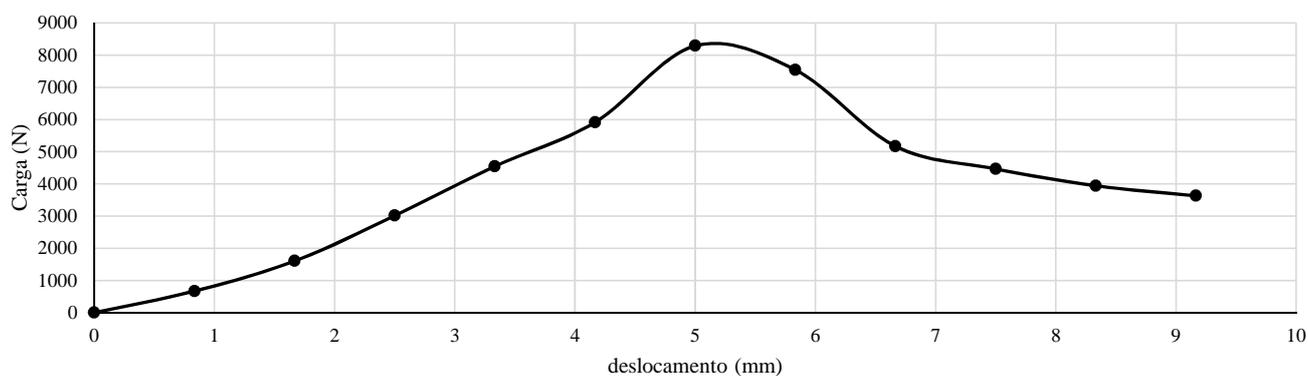
ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	RR 1C
Emulsão diluída:	ñ diluído
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	0,28
Geossintético:	Geotêxtil
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

Carga máxima (kN):	8,3
Deslocamento na ruptura (mm):	5,00
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,09

Curva: força x deslocamento:



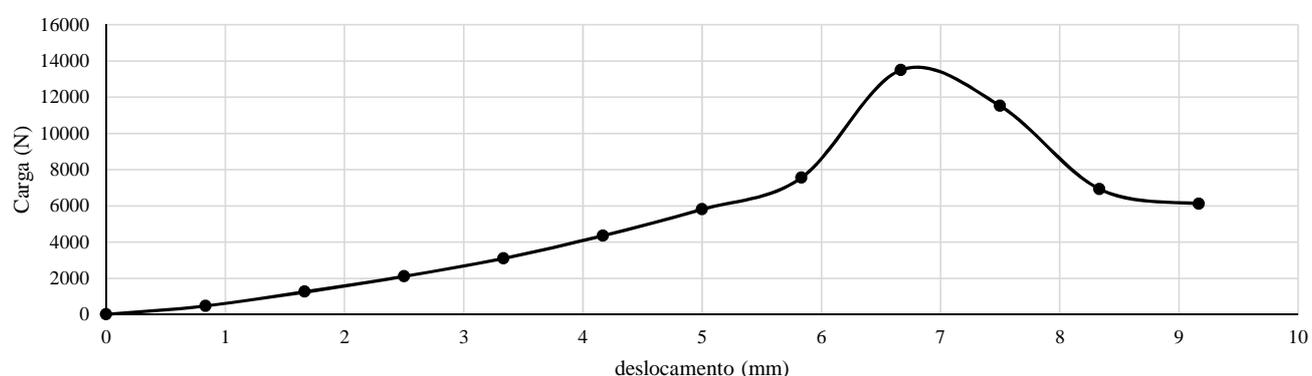
ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	RR 1C
Emulsão diluída:	ñ diluído
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	0,68
Geossintético:	Geotêxtil
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

Carga máxima (kN):	13,5
Deslocamento na ruptura (mm):	6,67
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,11

Curva: força x deslocamento:



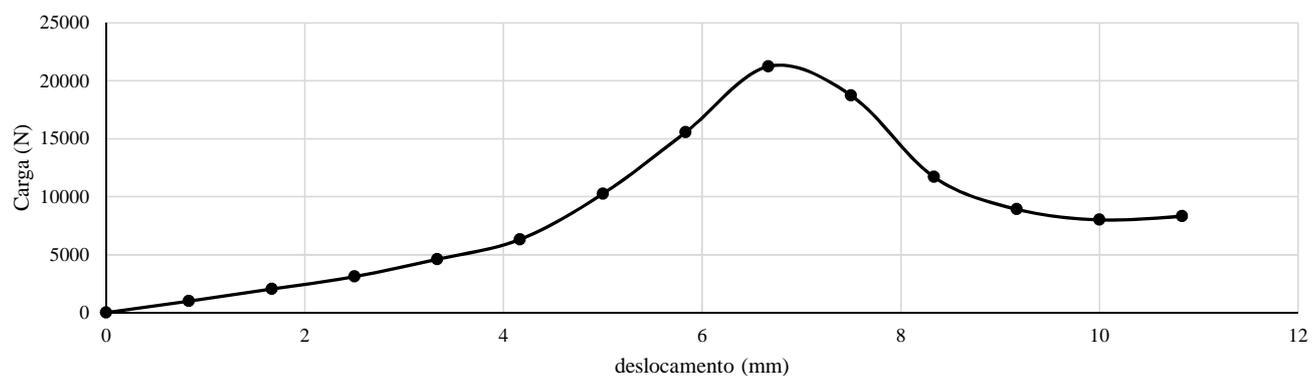
ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	RR 1C
Emulsão diluída:	ñ diluído
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	1,38
Geossintético:	Geotêxtil
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

Carga máxima (kN):	21,2
Deslocamento na ruptura (mm):	6,67
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,18

Curva: força x deslocamento:



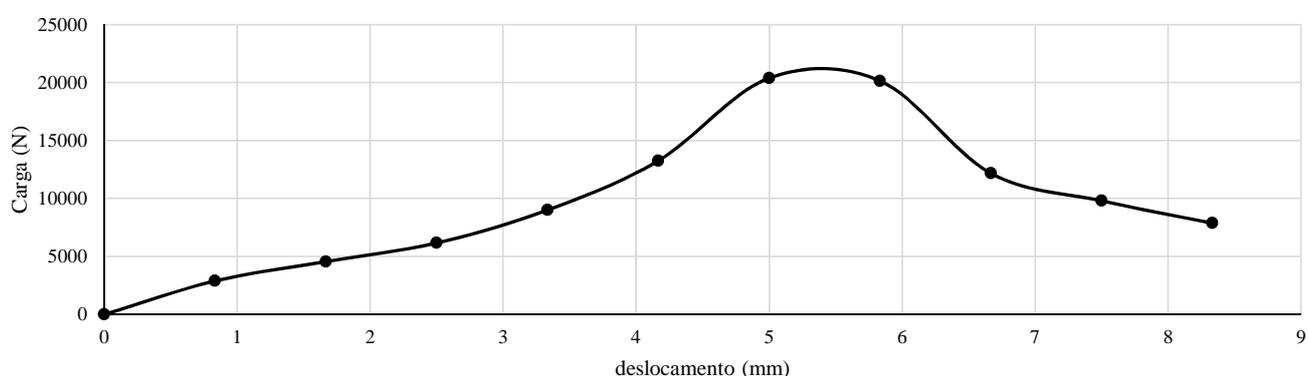
ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	RR 1C
Emulsão diluída:	ñ diluído
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	2,30
Geossintético:	Geotêxtil
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

Carga máxima (kN):	20,4
Deslocamento na ruptura (mm):	5,00
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,23

Curva: força x deslocamento:



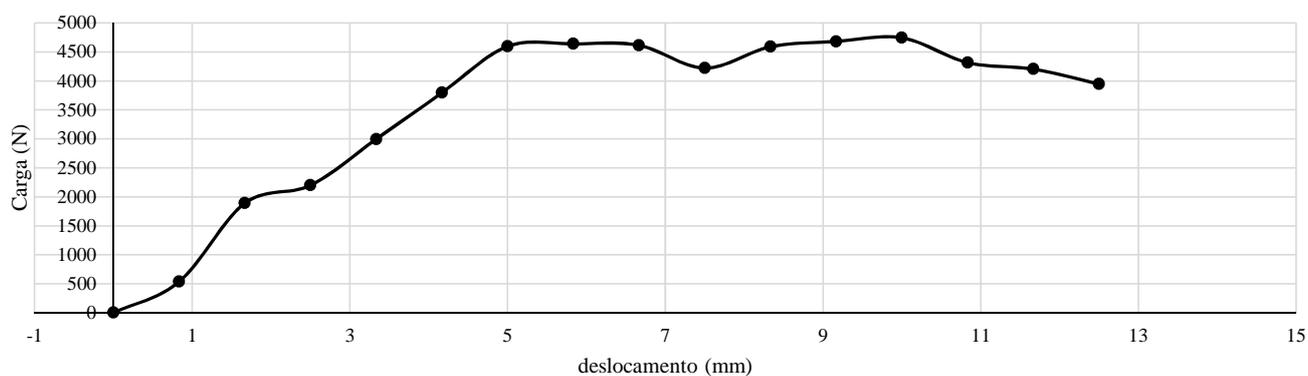
ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	RR 2C
Emulsão diluída:	ñ diluído
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	0,28
Geossintético:	Geotêxtil
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

Carga máxima (kN):	4,7
Deslocamento na ruptura (mm):	10,00
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,03

Curva: força x deslocamento:

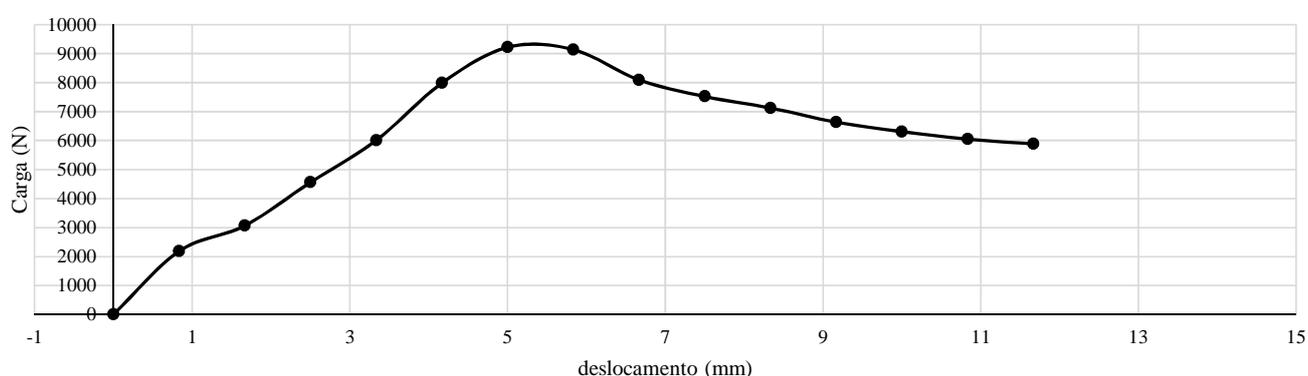


ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	RR 2C
Emulsão diluída:	ñ diluído
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	0,70
Geossintético:	Geotêxtil
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

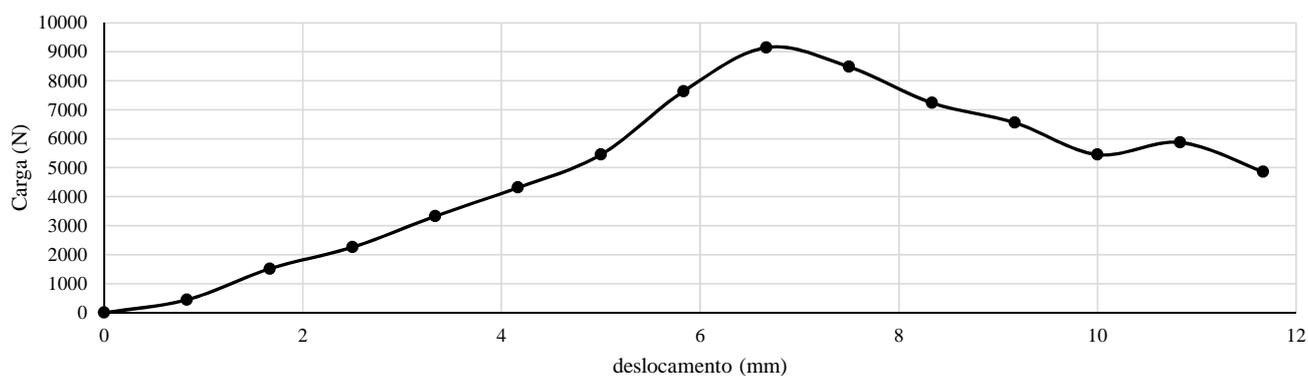
Carga máxima (kN):	9,2
Deslocamento na ruptura (mm):	5,00
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,10

Curva: força x deslocamento:**ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO**

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	RR 2C
Emulsão diluída:	ñ diluído
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	1,56
Geossintético:	Geotêxtil
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

Carga máxima (kN):	9,1
Deslocamento na ruptura (mm):	6,67
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,08

Curva: força x deslocamento:

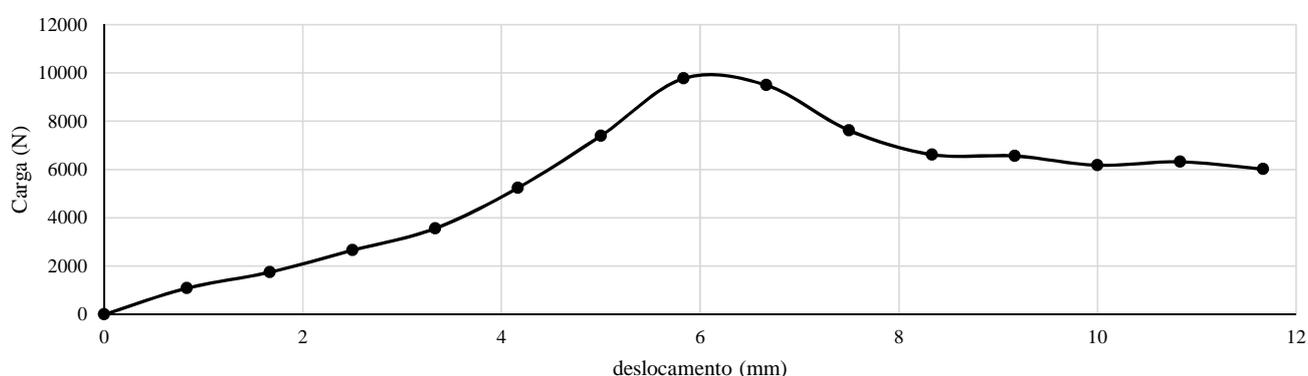
ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	RR 2C
Emulsão diluída:	ñ diluído
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	2,34
Geossintético:	Geotêxtil
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

Carga máxima (kN):	9,8
Deslocamento na ruptura (mm):	5,83
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,09

Curva: força x deslocamento:



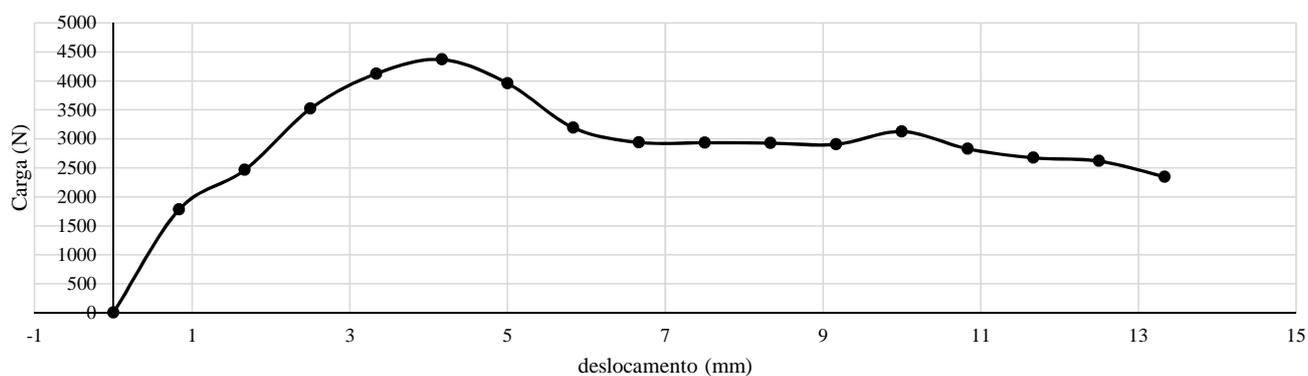
ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	RR 2C
Emulsão diluída:	ñ diluído
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	0,28
Geossintético:	Geogrelha
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

Carga máxima (kN):	4,4
Deslocamento na ruptura (mm):	4,17
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,06

Curva: força x deslocamento:

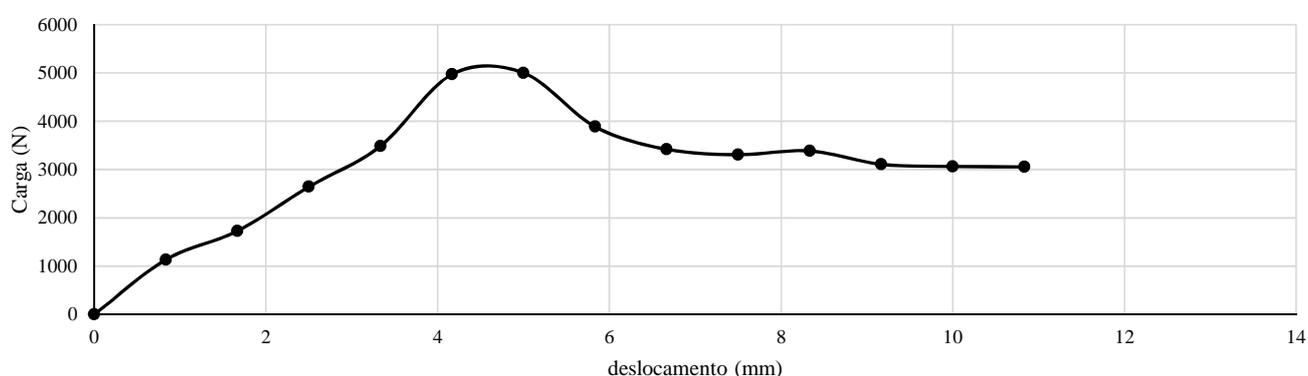


ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	RR 2C
Emulsão diluída:	ñ diluído
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	0,63
Geossintético:	Geogrelha
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

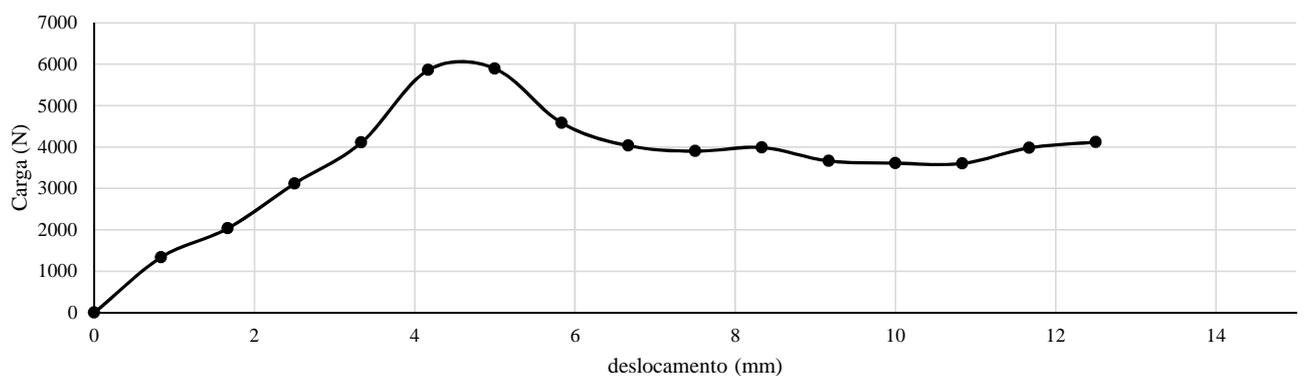
Carga máxima (kN):	5,0
Deslocamento na ruptura (mm):	4,72
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,06

Curva: força x deslocamento:**ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO**

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	RR 2C
Emulsão diluída:	ñ diluído
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	1,16
Geossintético:	Geogrelha
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

Carga máxima (kN):	5,9
Deslocamento na ruptura (mm):	5,00
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,07

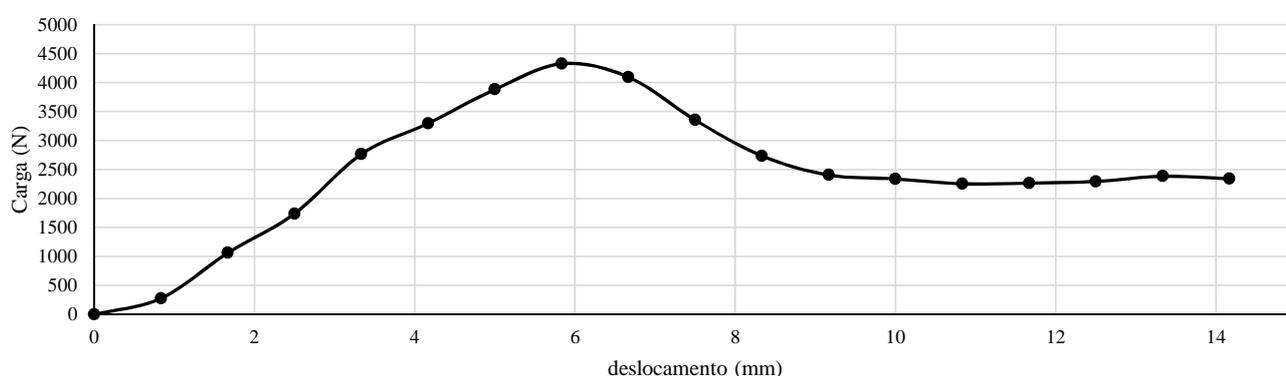
Curva: força x deslocamento:

ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	RR 2C
Emulsão diluída:	ñ diluído
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	1,40
Geossintético:	Geogrelha
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

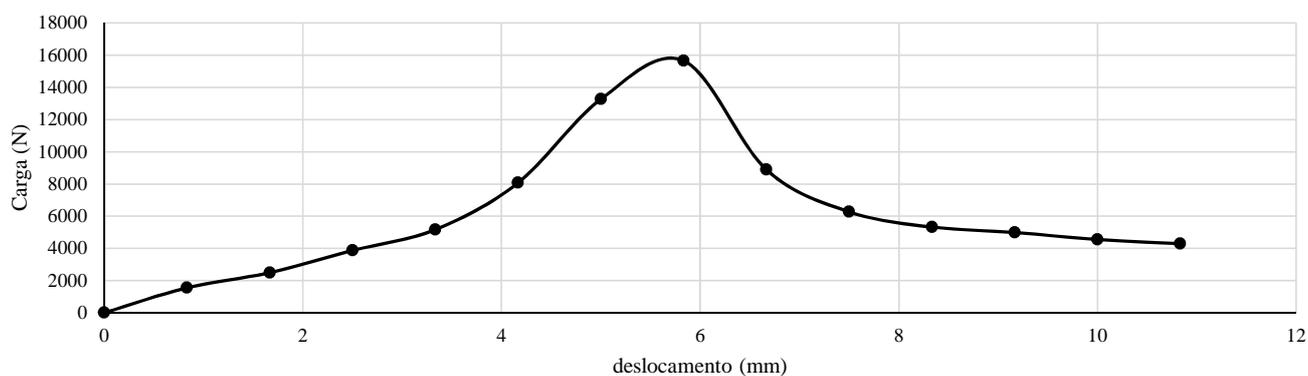
Carga máxima (kN):	4,3
Deslocamento na ruptura (mm):	5,83
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,04

Curva: força x deslocamento:**ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO**

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	RR 2C
Emulsão diluída:	ñ diluído
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	0,17
Geossintético:	S/ geossint.
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

Carga máxima (kN):	15,6
Deslocamento na ruptura (mm):	5,83
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,15

Curva: força x deslocamento:

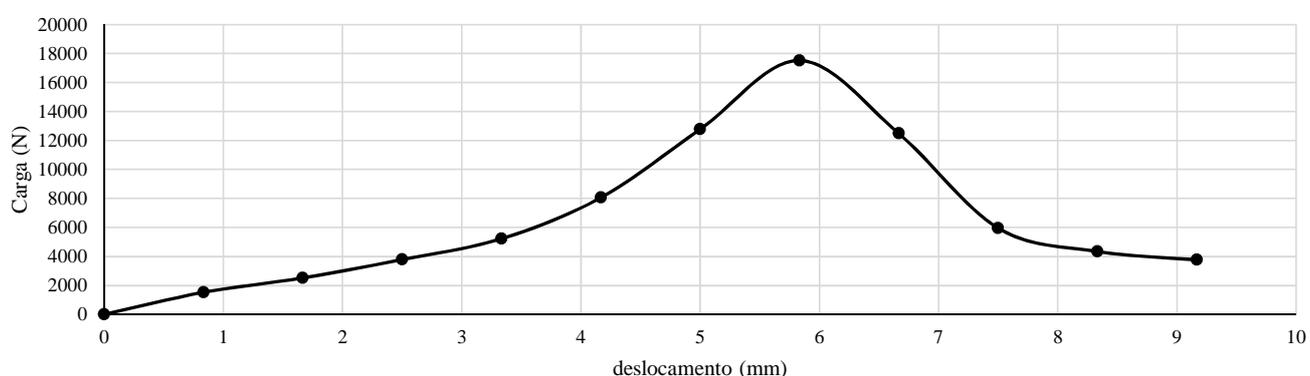
ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	RR 2C
Emulsão diluída:	ñ diluído
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	0,68
Geossintético:	S/ geossint.
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

Carga máxima (kN):	17,5
Deslocamento na ruptura (mm):	5,83
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,17

Curva: força x deslocamento:



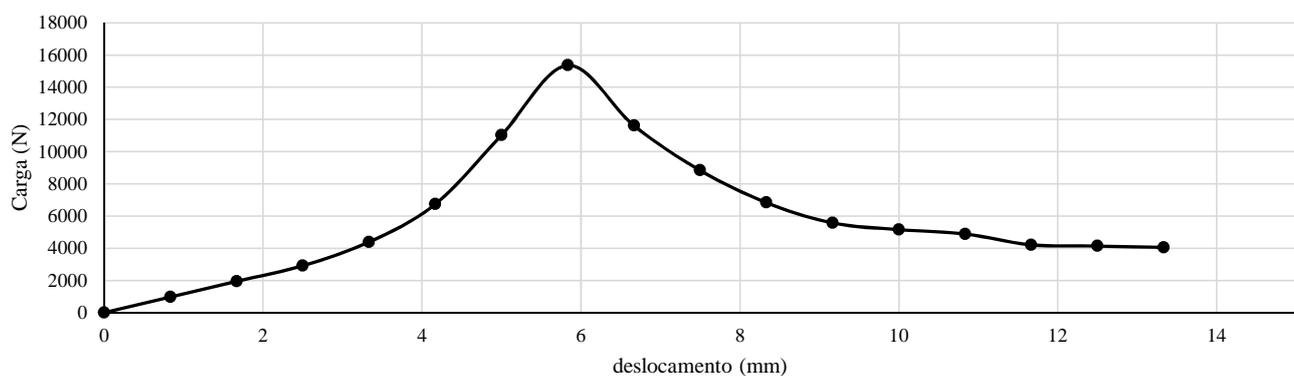
ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	RR 2C
Emulsão diluída:	ñ diluído
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	1,06
Geossintético:	S/ geossint.
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

Carga máxima (kN):	15,4
Deslocamento na ruptura (mm):	5,83
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,15

Curva: força x deslocamento:



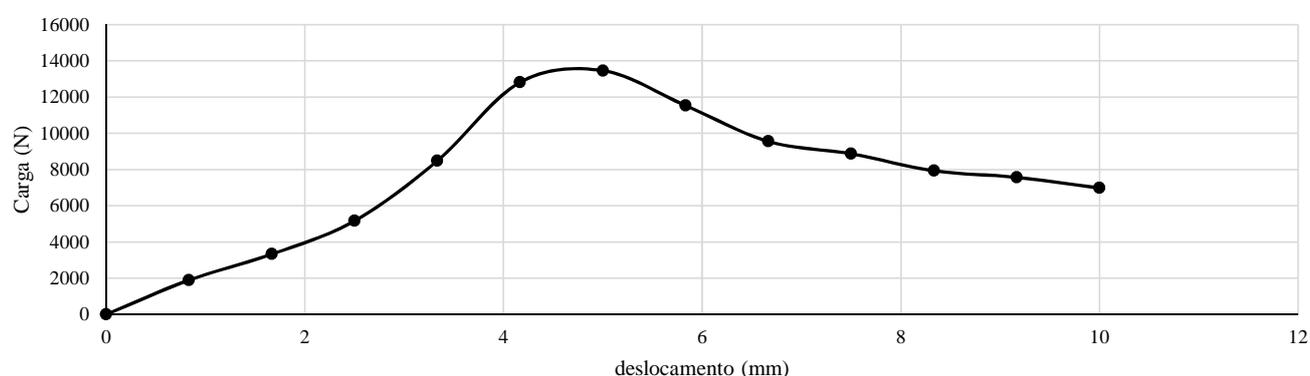
ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	RR 2C
Emulsão diluída:	ñ diluído
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	1,89
Geossintético:	S/ geossint.
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

Carga máxima (kN):	13,5
Deslocamento na ruptura (mm):	5,00
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,15

Curva: força x deslocamento:



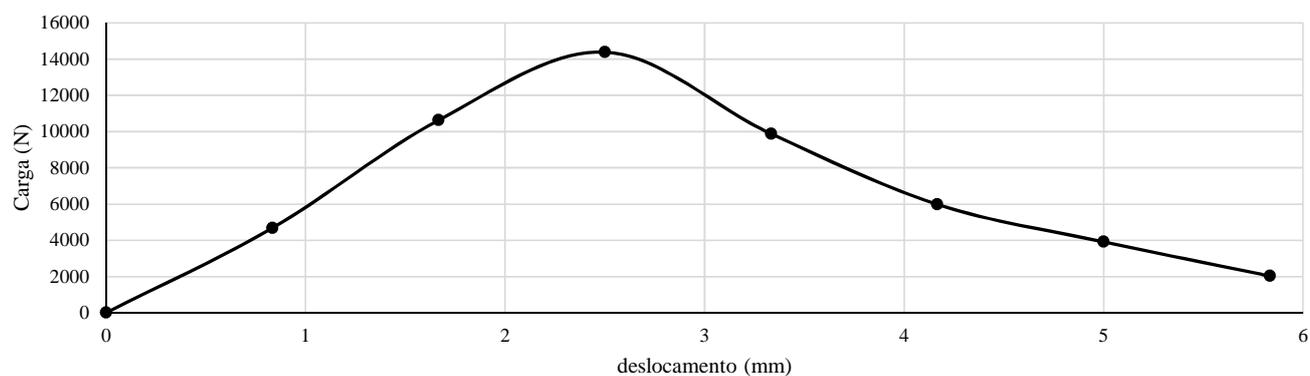
ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	RR 2C
Emulsão diluída:	diluído 1:1
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	0,30
Geossintético:	S/ geossint.
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

Carga máxima (kN):	14,4
Deslocamento na ruptura (mm):	2,50
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,33

Curva: força x deslocamento:

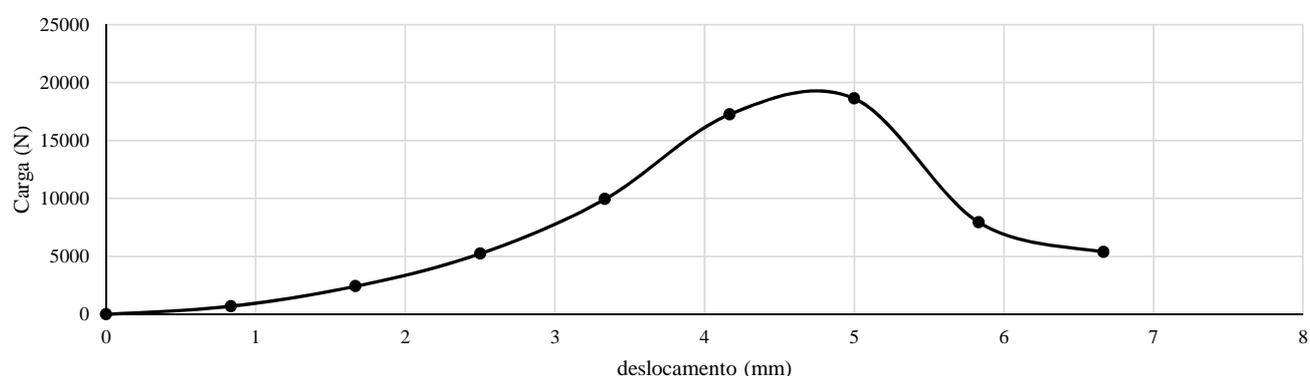


ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	RR 2C
Emulsão diluída:	diluído 1:1
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	0,60
Geossintético:	S/ geossint.
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

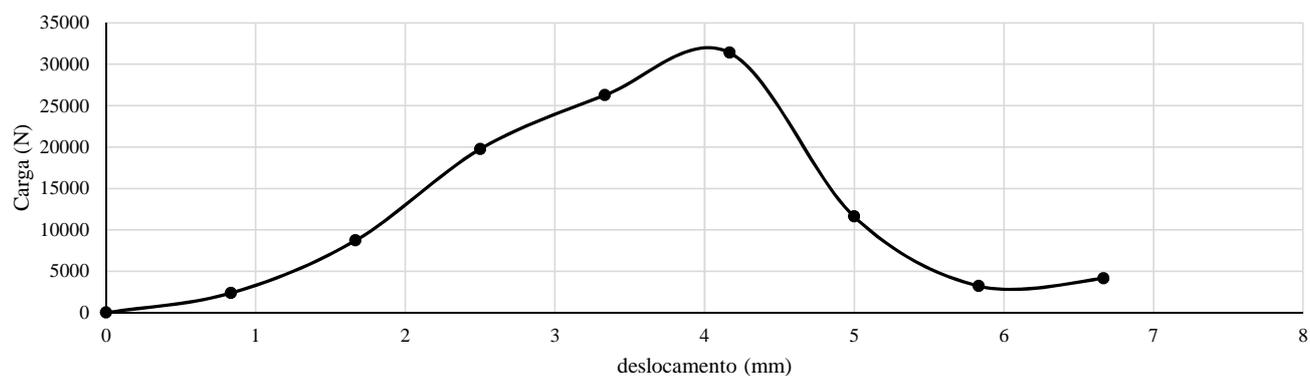
Carga máxima (kN):	18,6
Deslocamento na ruptura (mm):	5,00
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,21

Curva: força x deslocamento:**ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO**

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	RR 2C
Emulsão diluída:	diluído 1:1
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	1,00
Geossintético:	S/ geossint.
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

Carga máxima (kN):	31,4
Deslocamento na ruptura (mm):	4,17
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,43

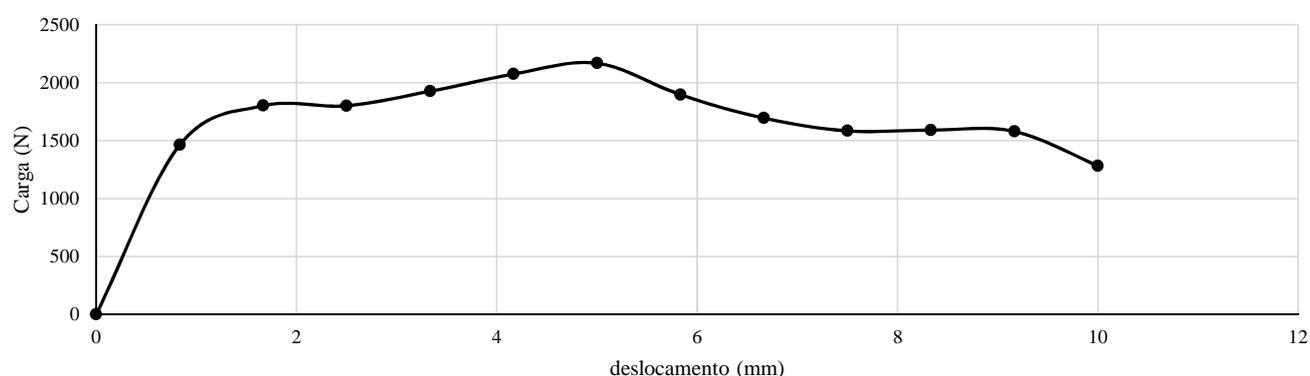
Curva: força x deslocamento:

ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	RR 2C
Emulsão diluída:	diluído 1:1
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	0,40
Geossintético:	Geogrelha
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

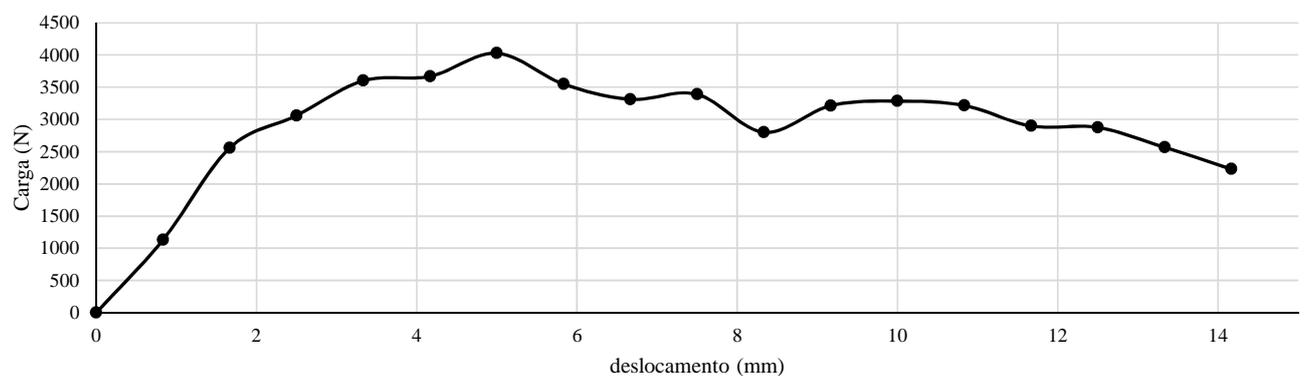
Carga máxima (kN):	2,2
Deslocamento na ruptura (mm):	5,00
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,02

Curva: força x deslocamento:**ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO**

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	RR 2C
Emulsão diluída:	diluído 1:1
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	0,60
Geossintético:	Geogrelha
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

Carga máxima (kN):	4,0
Deslocamento na ruptura (mm):	5,00
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,05

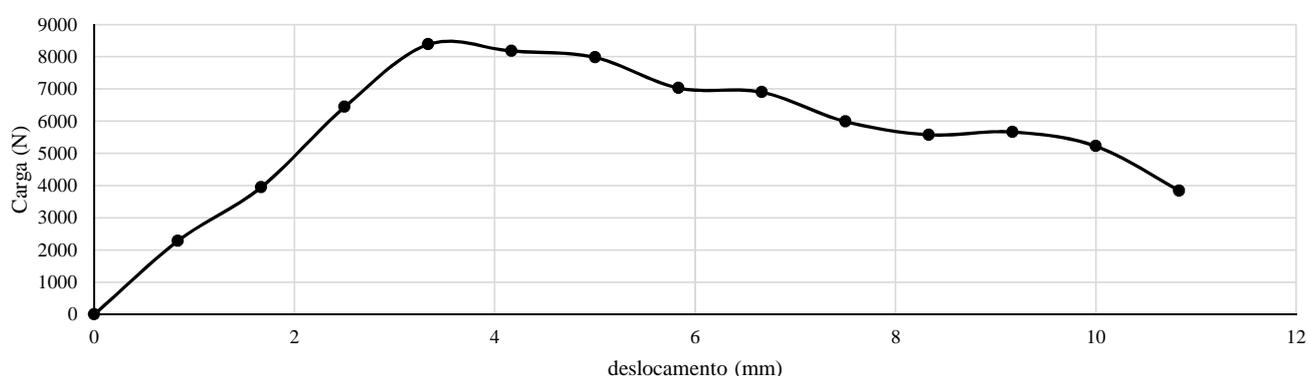
Curva: força x deslocamento:

ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	RR 2C
Emulsão diluída:	diluído 1:1
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	1,00
Geossintético:	Geogrelha
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

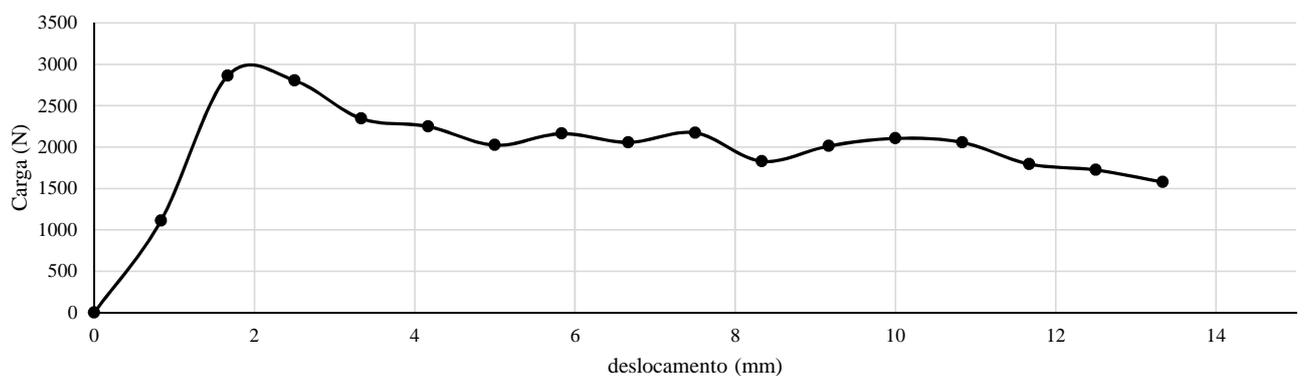
Carga máxima (kN):	8,4
Deslocamento na ruptura (mm):	3,33
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,14

Curva: força x deslocamento:**ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO**

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	RR 2C
Emulsão diluída:	diluído 1:1
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	0,40
Geossintético:	Geog. (2 aplicações)
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

Carga máxima (kN):	2,9
Deslocamento na ruptura (mm):	1,67
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,10

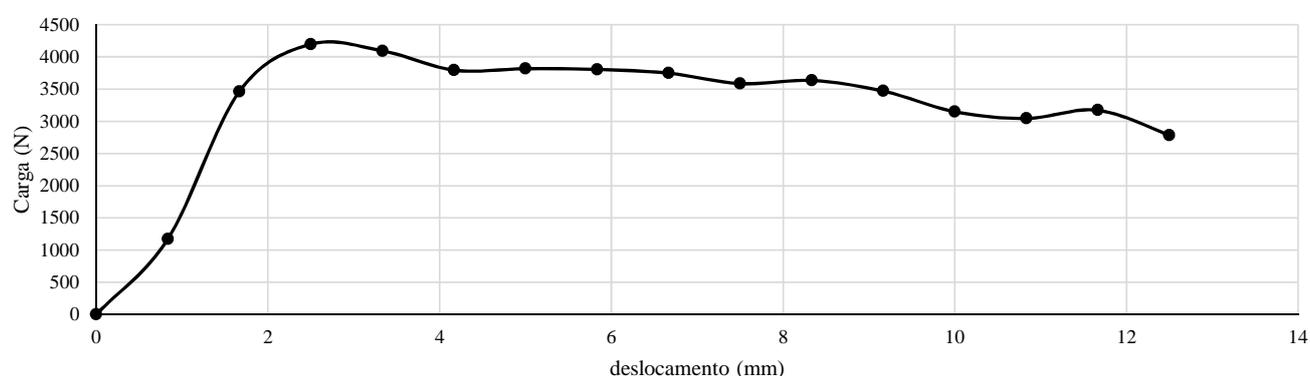
Curva: força x deslocamento:

ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	RR 2C
Emulsão diluída:	diluído 1:1
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	0,60
Geossintético:	Geog. (2 aplicações)
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

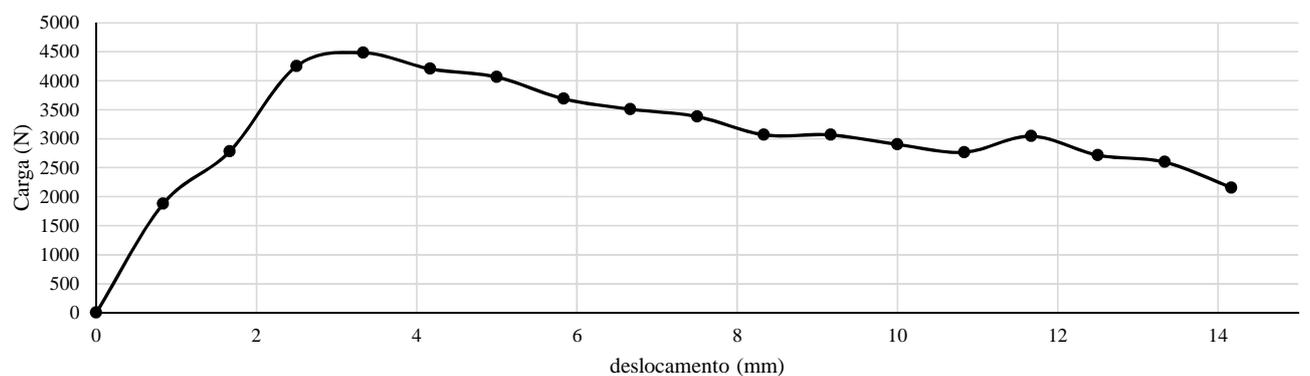
Carga máxima (kN):	4,2
Deslocamento na ruptura (mm):	2,50
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,09

Curva: força x deslocamento:**ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO**

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	RR 2C
Emulsão diluída:	diluído 1:1
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	1,00
Geossintético:	Geog. (2 aplicações)
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

Carga máxima (kN):	4,5
Deslocamento na ruptura (mm):	3,33
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,08

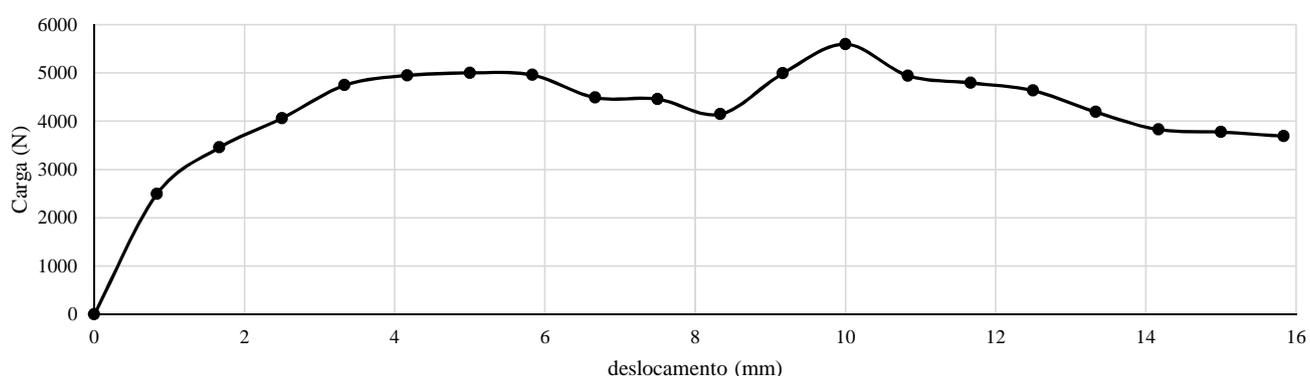
Curva: força x deslocamento:

ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	RR 2C
Emulsão diluída:	diluído 1:1
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	0,30
Geossintético:	Geotêxtil
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

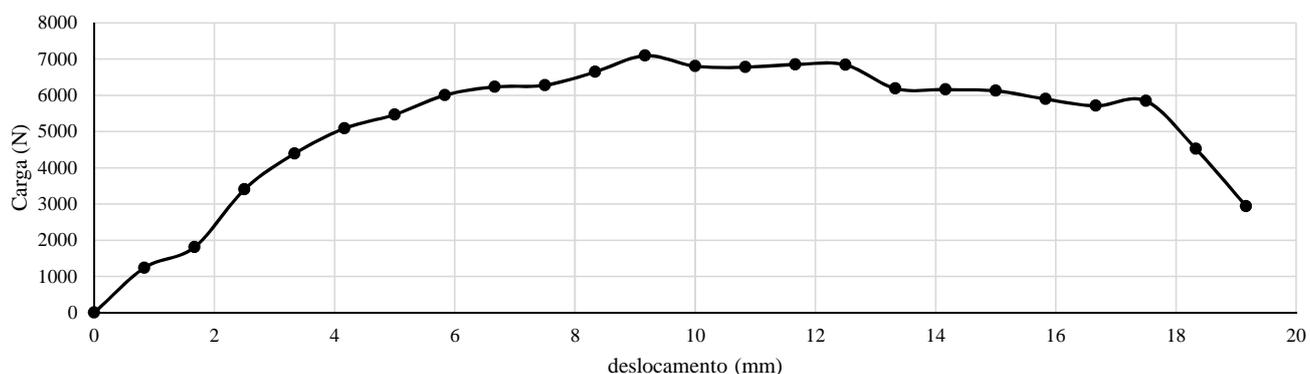
Carga máxima (kN):	5,6
Deslocamento na ruptura (mm):	10,00
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,03

Curva: força x deslocamento:**ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO**

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	RR 2C
Emulsão diluída:	diluído 1:1
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	0,80
Geossintético:	Geotêxtil
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

Carga máxima (kN):	7,1
Deslocamento na ruptura (mm):	9,17
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,04

Curva: força x deslocamento:

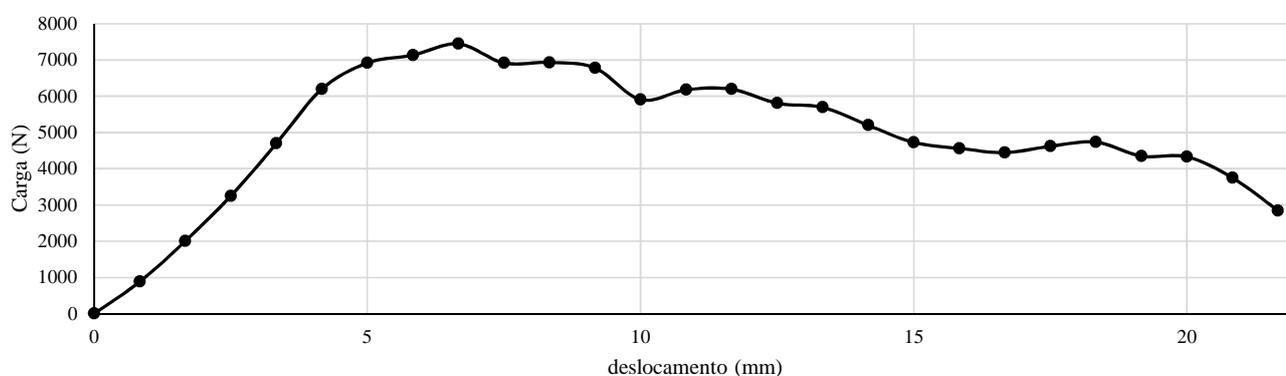
ENSAIO: CISALHAMENTO DIRETO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES
Emulsão utilizada:	RR 2C
Emulsão diluída:	diluído 1:1
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	1,10
Geossintético:	Geotêxtil
Altura do corpo de prova:	8cm
Diâmetro do corpo de prova:	15cm

Resultados:

Carga máxima (kN):	7,4
Deslocamento na ruptura (mm):	6,67
Módulo de reação de interface - k (MPa/mm):	0,06

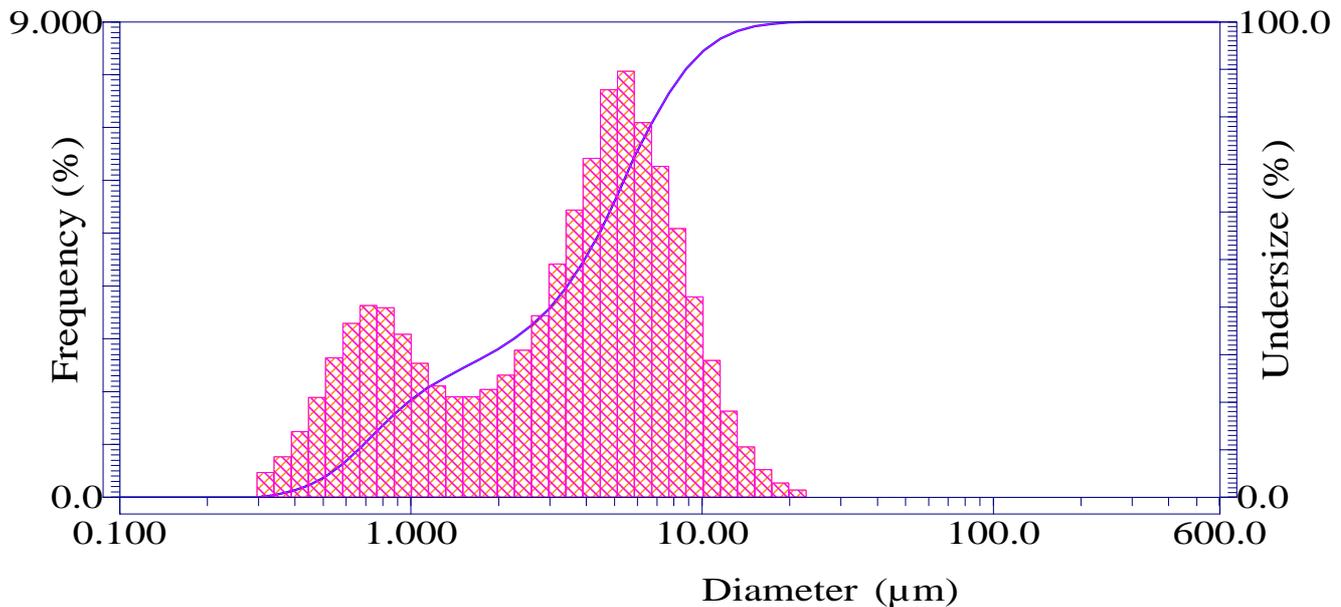
Curva: força x deslocamento:



HORIBA LA-300 for Windows(TM) Ver.3.56

LA-300 system for Windows

Sample Name :TESTE MESTRADO BH
 Material :RR1C
 Source :FASFBET
 Lot Number :
 Test or Assay. Number :ANÁLISE 18/05/2015



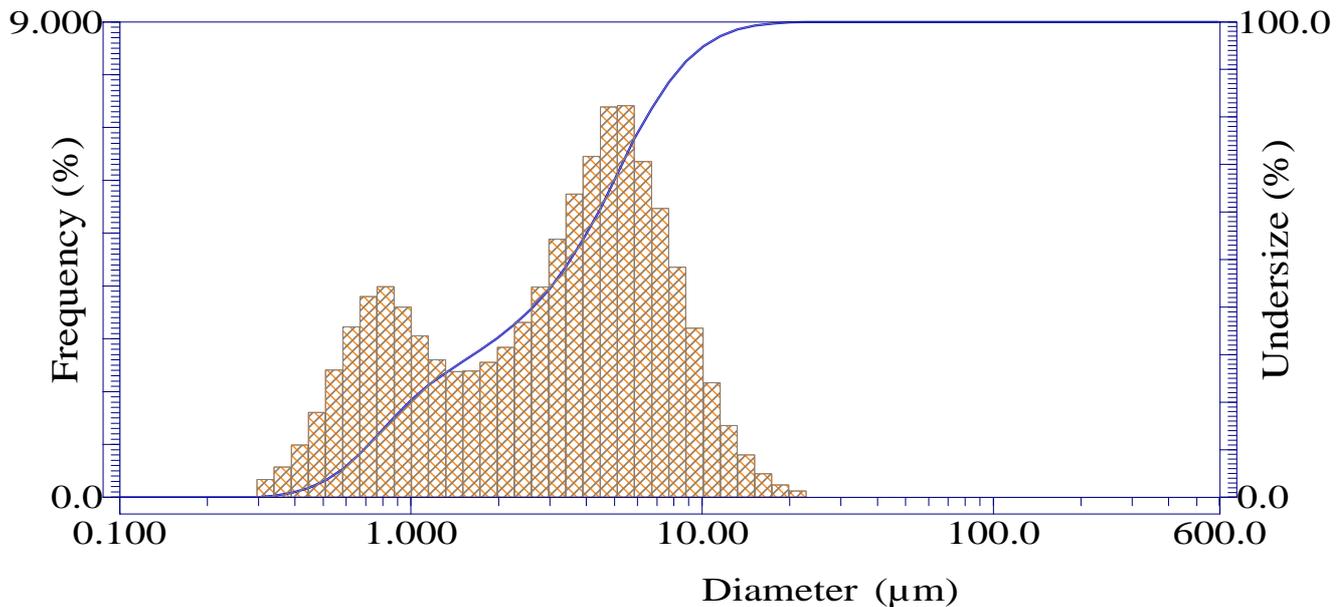
		Diameter (µm)			
S.P. Area	: 33327(cm ² /cm ³)	(9)90.00 (%)	- 8.790(µm)	53.00 (µm)	- 100.00(
Median	: 3.949(µm)	(10)95.00 (%)	- 10.697(µm)	38.00 (µm)	- 100.00(
Diameter on %	:(1)5.000 (%)	- 0.527(µm)	% on Diameter	:850.0 (µm)	- 100.000(%)
	(2)10.00 (%)	- 0.661(µm)		600.0 (µm)	- 100.000(%)
	(3)20.00 (%)	- 0.979(µm)		425.0 (µm)	- 100.000(%)
	(4)30.00 (%)	- 1.844(µm)		300.0 (µm)	- 100.000(%)
	(5)40.00 (%)	- 3.012(µm)		212.0 (µm)	- 100.000(%)
	(6)60.00 (%)	- 4.808(µm)		150.0 (µm)	- 100.000(%)
	(7)70.00 (%)	- 5.705(µm)		106.0 (µm)	- 100.000(%)
	(8)80.00 (%)	- 6.903(µm)		75.00 (µm)	- 100.000(%)
				Mean	: 4.370(µm)
				Variance	: 11.460(µm ²)
				S.D.	: 3.385(µm)
				CV	: 77.460
				Mode	: 5.453(µm)
				Span	: 2.059

ID# :201504261352589
 Circulation Speed :2
 Ultra sonic :OFF
 Laser T% : 88.7(%)
 Form of Distribution :Standard
 Calc. Level :30
 R.R.Index :1.12-0.10i
 Axis Selection :LogX-LinY

HORIBA LA-300 for Windows(TM) Ver.3.56

LA-300 system for Windows

Sample Name :TESTE MESTRADO BH
 Material :RR2C
 Source :FASFBET
 Lot Number :
 Test or Assay. Number :ANÁLISE 18/05/2015



		Diameter (μm)			
S.P. Area	: 33715(cm ² /cm ³)	(9)90.00 (%)	- 8.366(μm)	53.00 (μm)	- 100.00(
Median	: 3.531(μm)	(10)95.00 (%)	- 10.175(μm)	38.00 (μm)	- 100.00(
Diameter on %	:(1)5.000 (%)	- 0.555(μm)	% on Diameter	:850.0 (μm)	- 100.000(%)
	(2)10.00 (%)	- 0.690(μm)		600.0 (μm)	- 100.000(%)
	(3)20.00 (%)	- 0.985(μm)		425.0 (μm)	- 100.000(%)
	(4)30.00 (%)	- 1.639(μm)		300.0 (μm)	- 100.000(%)
	(5)40.00 (%)	- 2.630(μm)		212.0 (μm)	- 100.000(%)
	(6)60.00 (%)	- 4.406(μm)		150.0 (μm)	- 100.000(%)
	(7)70.00 (%)	- 5.304(μm)		106.0 (μm)	- 100.000(%)
	(8)80.00 (%)	- 6.458(μm)		75.00 (μm)	- 100.000(%)
			Mean	: 4.081(μm)	
			Variance	: 10.533(μm ²)	
			S.D.	: 3.246(μm)	
			CV	: 79.523	
			Mode	: 5.430(μm)	
			Span	: 2.174	

ID# :201504261344588
 Circulation Speed :2
 Ultra sonic :OFF
 Laser T% : 91.5(%)
 Form of Distribution :Standard
 Calc. Level :30
 R.R.Index :1.12-0.10i
 Axis Selection :LogX-LinY

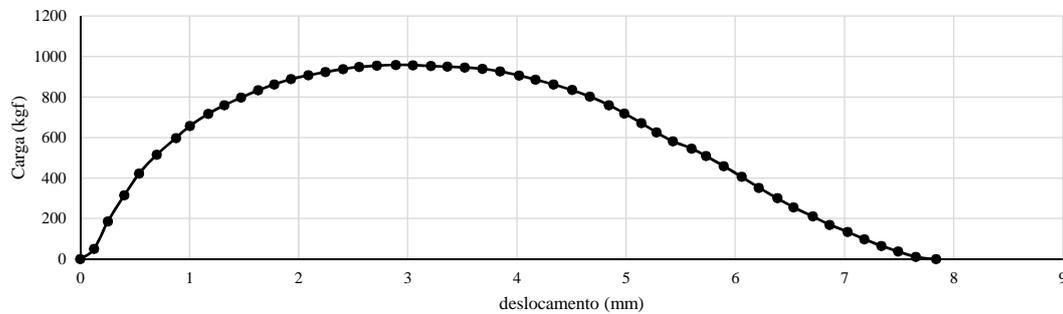
ENSAIO: DETERMINAÇÃO DA TRAÇÃO NA FLEXÃO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES		
Emulsão utilizada:	-		
Emulsão diluída:	-		
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	0,00		
Geossintético:	S/ geossint.		
Altura do corpo de prova (cm):	Base do corpo de prova (cm):		
H1	10,36	B1	15,39
H2	10,12	B2	15,49
H3	10,21	B3	15,41
H4	10,49	B4	14,43
H5	10,19	B5	15,56
H6	10,52	B6	15,39
Hmédio	10,32	Dmédio	15,28

Resultados:

Carga máxima (kgf):	958,8
Deslocamento máxima força (mm)	2,89
Deslocamento máximo (mm)	7,84
Resistência à tração na flexão (MPa)	2,31

Curva: força x deslocamento:



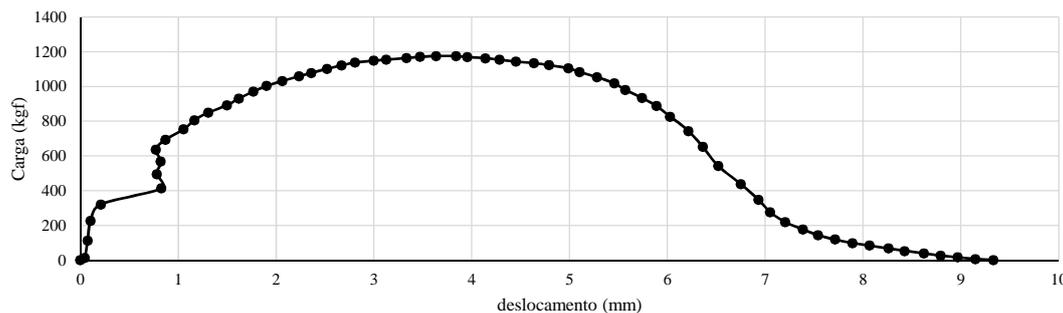
ENSAIO: DETERMINAÇÃO DA TRAÇÃO NA FLEXÃO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES		
Emulsão utilizada:	RR 1C		
Emulsão diluída:	ñ diluído		
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	0,85		
Geossintético:	S/ geossint.		
Altura do corpo de prova (cm):	Base do corpo de prova (cm):		
H1	10,11	B1	15,4
H2	10,55	B2	15,6
H3	10,51	B3	15,42
H4	10,25	B4	15,36
H5	10,43	B5	15,5
H6	10,34	B6	15,31
Hmédio	10,37	Dmédio	15,43

Resultados:

Carga máxima (kgf):	1175,1
Deslocamento máxima força (mm)	2,36
Deslocamento máximo (mm)	9,33
Resistência à tração na flexão (MPa)	2,78

Curva: força x deslocamento:



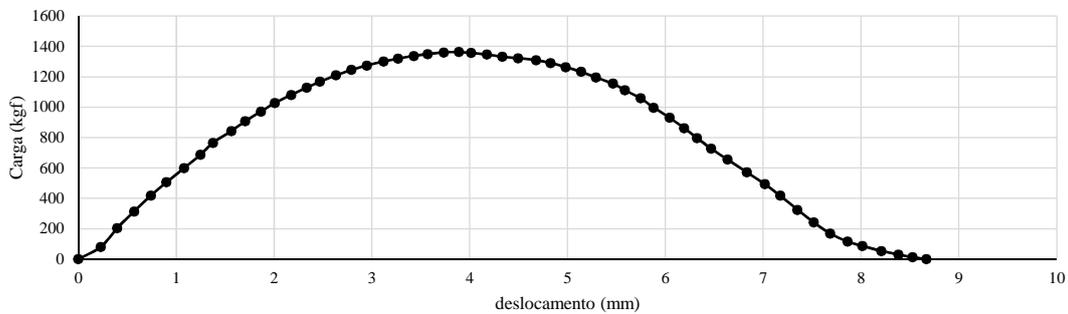
ENSAIO: DETERMINAÇÃO DA TRAÇÃO NA FLEXÃO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES		
Emulsão utilizada:	RR 1C		
Emulsão diluída:	ñ diluído		
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	1,36		
Geossintético:	S/ geossint.		
Altura do corpo de prova (cm):	Base do corpo de prova (cm):		
H1	10,35	B1	15,38
H2	10,39	B2	15,3
H3	10,2	B3	15,38
H4	10,69	B4	15,31
H5	10,5	B5	15,53
H6	10,46	B6	15,39
Hmédio	10,43	Dmédio	15,38

Resultados:

Carga máxima (kgf):	1362,6
Deslocamento máxima força (mm)	3,12
Deslocamento máximo (mm)	8,67
Resistência à tração na flexão (MPa)	3,19

Curva: força x deslocamento:



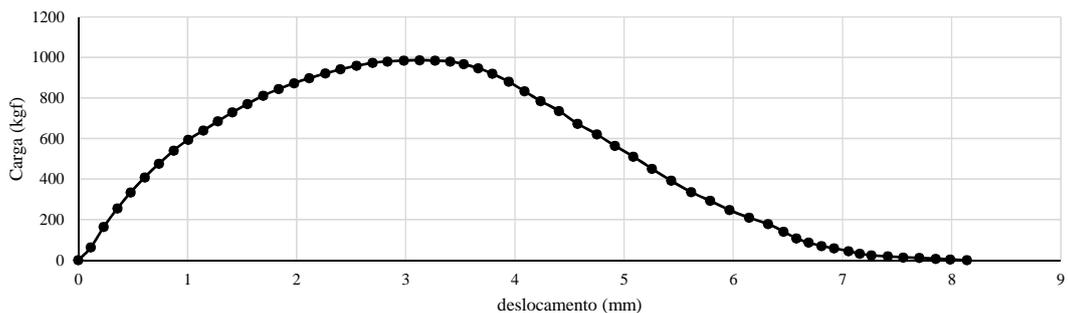
ENSAIO: DETERMINAÇÃO DA TRAÇÃO NA FLEXÃO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES		
Emulsão utilizada:	RR 2C		
Emulsão diluída:	1:1		
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	0,55		
Geossintético:	S/ geossint.		
Altura do corpo de prova (cm):	Base do corpo de prova (cm):		
H1	10	B1	15
H2	0	B2	0
H3	0	B3	0
H4	0	B4	0
H5	0	B5	0
H6	0	B6	0
Hmédio	10,00	Dmédio	15,00

Resultados:

Carga máxima (kgf):	986,9
Deslocamento máxima força (mm)	2,55
Deslocamento máximo (mm)	8,14
Resistência à tração na flexão (MPa)	2,58

Curva: força x deslocamento:



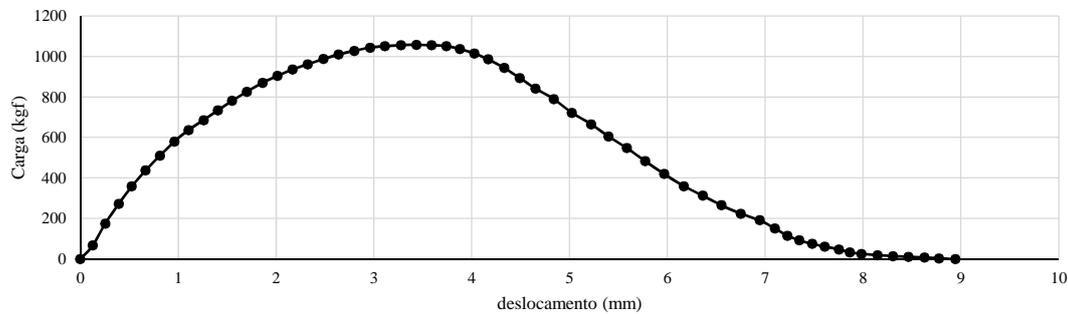
ENSAIO: DETERMINAÇÃO DA TRAÇÃO NA FLEXÃO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES		
Emulsão utilizada:	RR 2C		
Emulsão diluída:	= 'geral viga'!\$J\$4		
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	0,90		
Geossintético:	S/ geossint.		
Altura do corpo de prova (cm):	Base do corpo de prova (cm):		
H1	10,319	B1	15,299
H2	10,137	B2	15,446
H3	10,282	B3	15,42
H4	10,2	B4	15,42
H5	0	B5	0
H6	0	B6	0
Hmédio	10,23	Dmédio	15,40

Resultados:

Carga máxima (kgf):	1057,8
Deslocamento máxima força (mm)	2,80
Deslocamento máximo (mm)	8,94
Resistência à tração na flexão (MPa)	2,57

Curva: força x deslocamento:



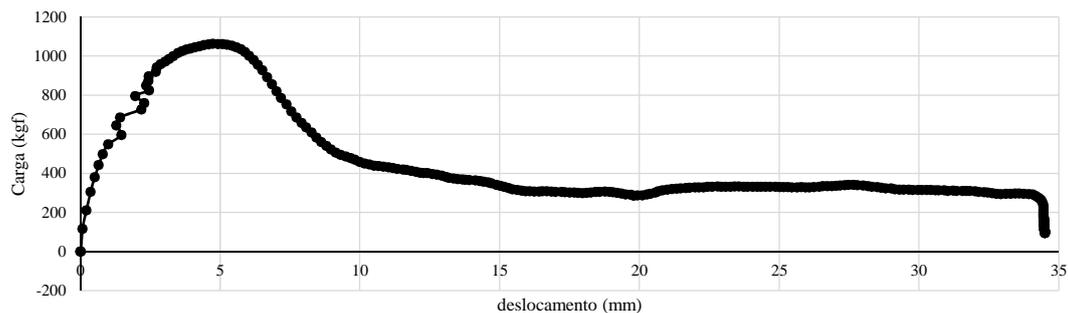
ENSAIO: DETERMINAÇÃO DA TRAÇÃO NA FLEXÃO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES		
Emulsão utilizada:	-		
Emulsão diluída:	= 'geral viga'!\$L\$4		
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	0,00		
Geossintético:	Geogrelha		
Altura do corpo de prova (cm):	Base do corpo de prova (cm):		
H1	10,65	B1	15,33
H2	10,81	B2	15,49
H3	10,14	B3	15,36
H4	10,41	B4	15,34
H5	10,46	B5	15,5
H6	10,42	B6	15,24
Hmédio	10,48	Dmédio	15,38

Resultados:

Carga máxima (kgf):	1062,8
Deslocamento máxima força (mm)	2,71
Deslocamento máximo (mm)	34,51
Resistência à tração na flexão (MPa)	2,47

Curva: força x deslocamento:



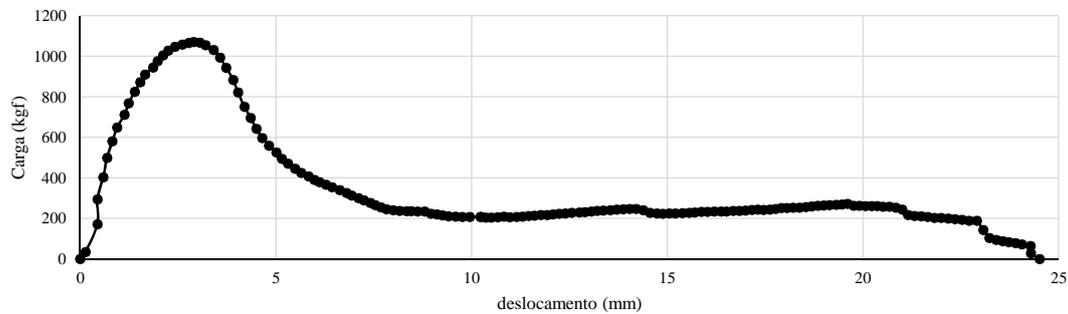
ENSAIO: DETERMINAÇÃO DA TRAÇÃO NA FLEXÃO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES		
Emulsão utilizada:	RR 1C		
Emulsão diluída:	= 'geral viga'!\$N\$4		
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	0,77		
Geossintético:	Geogrelha		
Altura do corpo de prova (cm):		Base do corpo de prova (cm):	
H1	10,5	B1	15,38
H2	10,14	B2	15,55
H3	10,7	B3	15,42
H4	10,18	B4	15,37
H5	10,29	B5	15,55
H6	10,44	B6	15,36
Hmédio	10,38	Dmédio	15,44

Resultados:

Carga máxima (kgf):	1071,4
Deslocamento máxima força (mm)	2,78
Deslocamento máximo (mm)	24,51
Resistência à tração na flexão (MPa)	2,53

Curva: força x deslocamento:



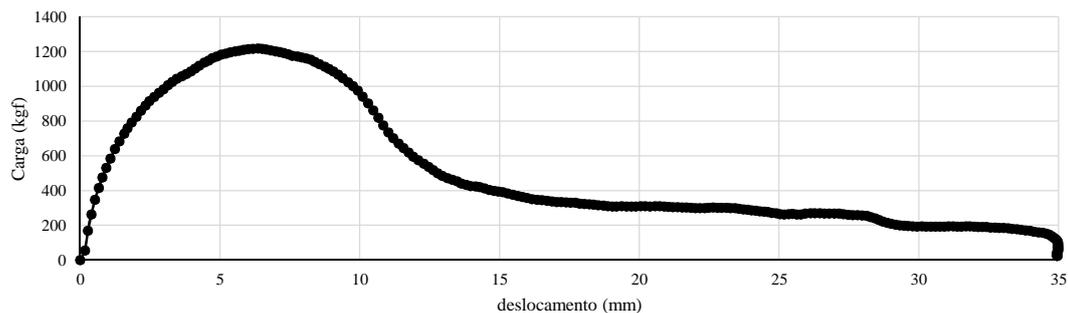
ENSAIO: DETERMINAÇÃO DA TRAÇÃO NA FLEXÃO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES		
Emulsão utilizada:	RR 1C		
Emulsão diluída:	= 'geral viga'!\$P\$4		
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	1,36		
Geossintético:	Geogrelha		
Altura do corpo de prova (cm):		Base do corpo de prova (cm):	
H1	10,3	B1	15,42
H2	10,41	B2	15,65
H3	10,44	B3	15,43
H4	10,26	B4	15,53
H5	10,51	B5	15,63
H6	10,38	B6	15,41
Hmédio	10,38	Dmédio	15,51

Resultados:

Carga máxima (kgf):	1218,7
Deslocamento máxima força (mm)	2,81
Deslocamento máximo (mm)	34,98
Resistência à tração na flexão (MPa)	2,86

Curva: força x deslocamento:



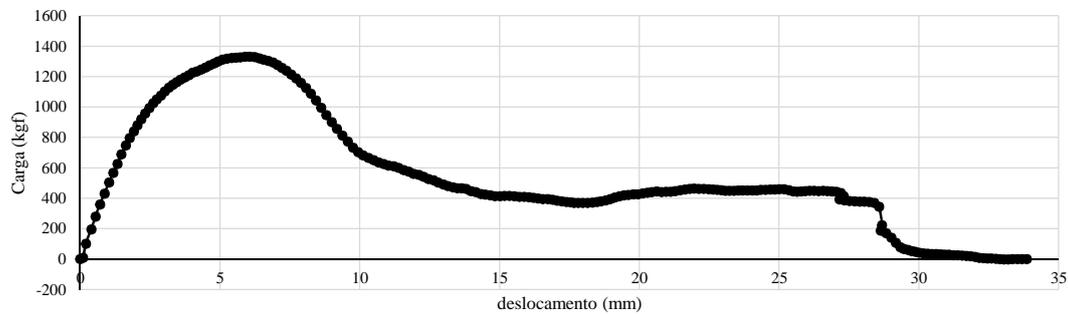
ENSAIO: DETERMINAÇÃO DA TRAÇÃO NA FLEXÃO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES		
Emulsão utilizada:	RR 2C		
Emulsão diluída:	= 'geral viga' \$R\$4		
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	0,53		
Geossintético:	Geogrelha		
Altura do corpo de prova (cm):	Base do corpo de prova (cm):		
H1	10,167	B1	15,398
H2	10,167	B2	15,263
H3	10,392	B3	15,428
H4	10,422	B4	15,425
H5	10,32	B5	15,309
H6	10,15	B6	15,292
Hmédio	10,27	Dmédio	15,35

Resultados:

Carga máxima (kgf):	1333,1
Deslocamento máxima força (mm)	2,74
Deslocamento máximo (mm)	33,85
Resistência à tração na flexão (MPa)	3,23

Curva: força x deslocamento:



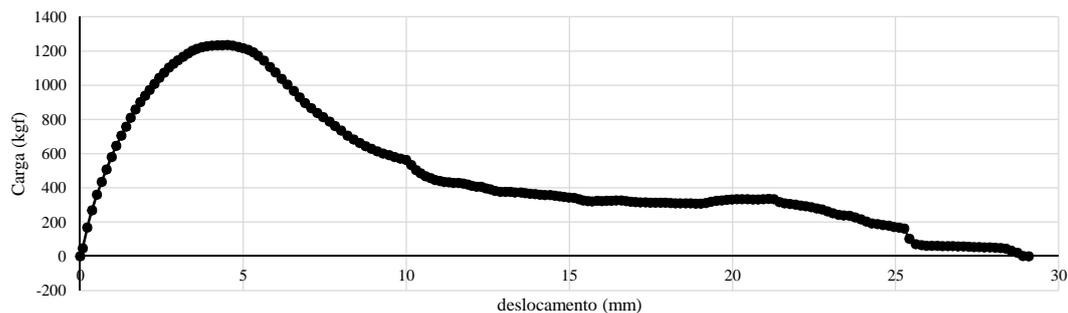
ENSAIO: DETERMINAÇÃO DA TRAÇÃO NA FLEXÃO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES		
Emulsão utilizada:	RR 2C		
Emulsão diluída:	= 'geral viga' \$T\$4		
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	0,88		
Geossintético:	Geogrelha		
Altura do corpo de prova (cm):	Base do corpo de prova (cm):		
H1	10,35	B1	15,368
H2	10,322	B2	15,35
H3	10,415	B3	15,435
H4	10,487	B4	15,468
H5	10,351	B5	15,368
H6	10,266	B6	15,271
Hmédio	10,37	Dmédio	15,38

Resultados:

Carga máxima (kgf):	1236,4
Deslocamento máxima força (mm)	2,72
Deslocamento máximo (mm)	29,08
Resistência à tração na flexão (MPa)	2,94

Curva: força x deslocamento:



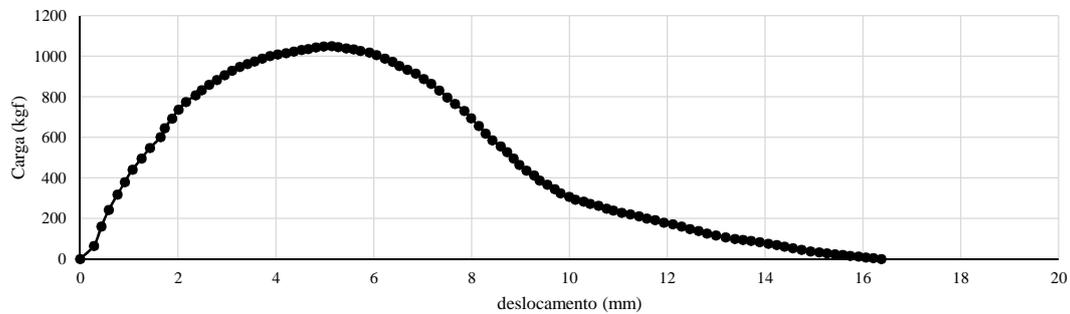
ENSAIO: DETERMINAÇÃO DA TRAÇÃO NA FLEXÃO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES		
Emulsão utilizada:	-		
Emulsão diluída:	= 'geral viga'!\$V\$4		
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	0,00		
Geossintético:	Geotêxtil		
Altura do corpo de prova (cm):		Base do corpo de prova (cm):	
H1	10,52	B1	15,41
H2	10,59	B2	15,6
H3	10,39	B3	15,42
H4	10,42	B4	15,41
H5	10,43	B5	15,54
H6	10,27	B6	15,34
Hmédio	10,44	Dmédio	15,45

Resultados:

Carga máxima (kgf):	1051,3
Deslocamento máxima força (mm)	3,10
Deslocamento máximo (mm)	16,37
Resistência à tração na flexão (MPa)	2,45

Curva: força x deslocamento:



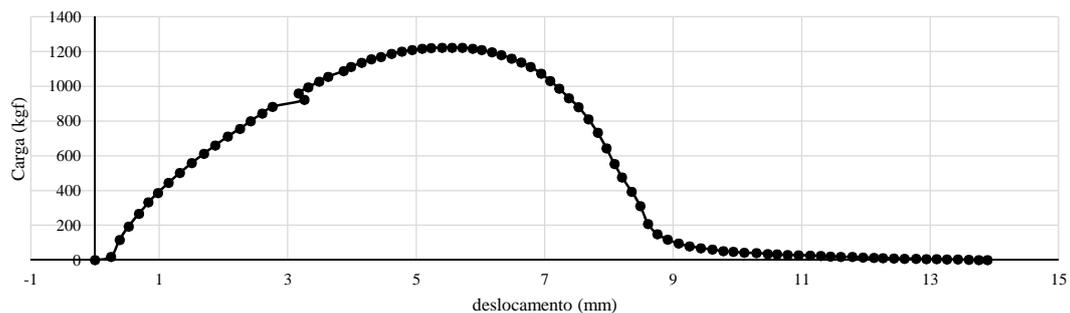
ENSAIO: DETERMINAÇÃO DA TRAÇÃO NA FLEXÃO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES		
Emulsão utilizada:	RR 1C		
Emulsão diluída:	= 'geral viga'!\$X\$4		
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	0,91		
Geossintético:	Geotêxtil		
Altura do corpo de prova (cm):		Base do corpo de prova (cm):	
H1	10,44	B1	15,4
H2	10,5	B2	15,59
H3	10,29	B3	15,29
H4	10,88	B4	15,35
H5	10,85	B5	15,58
H6	10,52	B6	15,25
Hmédio	10,58	Dmédio	15,41

Resultados:

Carga máxima (kgf):	1223,5
Deslocamento máxima força (mm)	3,32
Deslocamento máximo (mm)	13,89
Resistência à tração na flexão (MPa)	2,78

Curva: força x deslocamento:



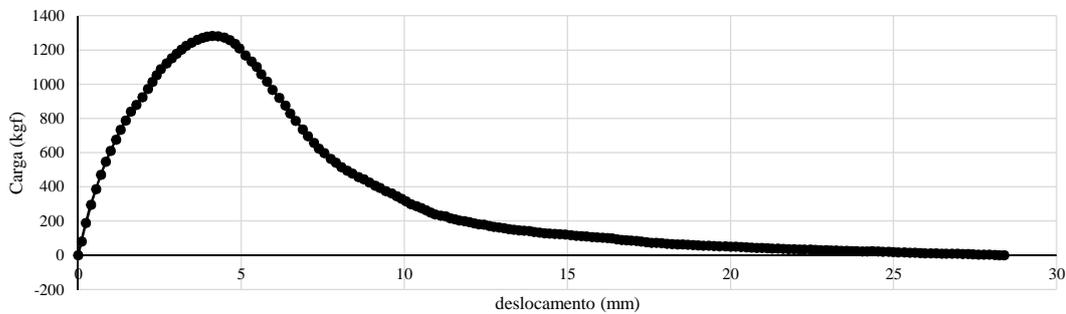
ENSAIO: DETERMINAÇÃO DA TRAÇÃO NA FLEXÃO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES		
Emulsão utilizada:	RR 1C		
Emulsão diluída:	= 'geral viga'!\$Z\$4		
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	1,45		
Geossintético:	Geotêxtil		
Altura do corpo de prova (cm):		Base do corpo de prova (cm):	
H1	10,32	B1	15,3
H2	10,27	B2	15,54
H3	10,21	B3	15,46
H4	10,53	B4	15,29
H5	10,55	B5	15,66
H6	10,44	B6	15,33
Hmédio	10,39	Dmédio	15,43

Resultados:

Carga máxima (kgf):	1283,0
Deslocamento máxima força (mm)	2,86
Deslocamento máximo (mm)	28,39
Resistência à tração na flexão (MPa)	3,02

Curva: força x deslocamento:



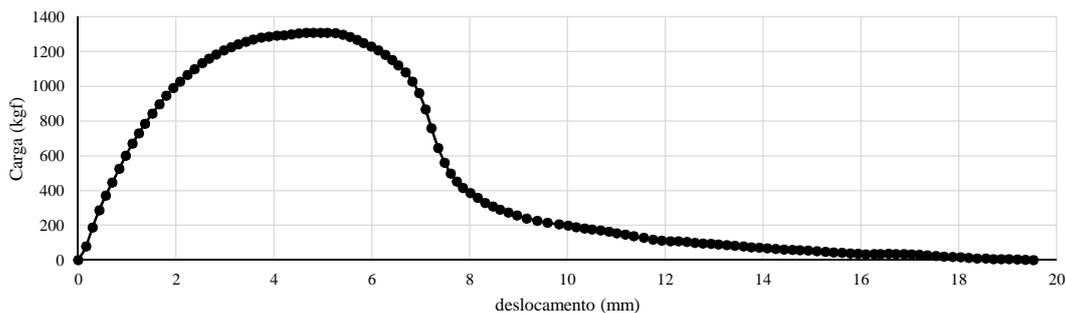
ENSAIO: DETERMINAÇÃO DA TRAÇÃO NA FLEXÃO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES		
Emulsão utilizada:	RR 2C		
Emulsão diluída:	= 'geral viga'!\$AB\$4		
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	0,52		
Geossintético:	Geotêxtil		
Altura do corpo de prova (cm):		Base do corpo de prova (cm):	
H1	9,901	B1	15,318
H2	9,922	B2	15,331
H3	9,909	B3	15,588
H4	9,98	B4	15,62
H5	10,065	B5	15,28
H6	9,948	B6	15,221
Hmédio	9,95	Dmédio	15,39

Resultados:

Carga máxima (kgf):	1309,8
Deslocamento máxima força (mm)	2,67
Deslocamento máximo (mm)	19,52
Resistência à tração na flexão (MPa)	3,37

Curva: força x deslocamento:



ENSAIO: DETERMINAÇÃO DA TRAÇÃO NA FLEXÃO

Mistura asfáltica:	Concreto betuminoso usinado a quente - faixa "C" DNIT 031/2006-ES		
Emulsão utilizada:	RR 2C		
Emulsão diluída:	= 'geral viga'!\$AD\$4		
Taxa de emulsão aplicada na pintura:	1,11		
Geossintético:	Geotêxtil		
Altura do corpo de prova (cm):		Base do corpo de prova (cm):	
H1	10,45	B1	15,3
H2	10,141	B2	15,302
H3	10,433	B3	15,508
H4	10,242	B4	15,29
H5	10,302	B5	15,506
H6	10,312	B6	15,254
Hmédio	10,31	Dmédio	15,36

Resultados:

Carga máxima (kgf):	1149,8
Deslocamento máxima força (mm)	35,00
Deslocamento máximo (mm)	0,00
Resistência à tração na flexão (MPa)	2,76

Curva: força x deslocamento:

