

ANÁLISE DO EFEITO DELETÉRIO DA ÁGUA EM 21 MISTURAS ASFÁLTICAS DENSAS PRODUZIDAS NO RIO GRANDE DO SUL

Chaveli Brondani

Doutoranda em Engenharia Civil na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)
chavelib@gmail.com

Andressa Ambros

Aluna de Graduação de Engenharia Civil na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)
andressa.ambros@hotmail.com

Antonio Daniel Boff Vieira

Aluno de Graduação de Engenharia Civil na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)
antoniodanielboffvieira@gmail.com

Cléber Faccin

Professor no Centro de Ensino Superior Riograndense (CESURG)
crfaccin@gmail.com

Karine Wille Kraemer

Aluna de Graduação de Engenharia Civil na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)
karinewillek@gmail.com

Ketrily Killys Martins Saraiva

Aluna de Graduação de Engenharia Civil na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)
ketrilysaraiva@gmail.com

Luciano Pivoto Specht

Professor do curso de Engenharia Civil da Universidade e do PPGECC da UFSM
luspecht@ufsm.br

Resumo. A mistura asfáltica em campo está submetida a esforços que causam diversos tipos de danos. Todavia a água está acoplada a este problema, podendo mudar o comportamento mecânico da mistura. Com este pressuposto, o presente trabalho buscou avaliar o efeito deletério da água em 21 misturas asfálticas produzidas e utilizadas no RS, por meio do ensaio de Dano por umidade induzida. Os resultados comprovam perda da resistência por umidade induzida em 19 das 21 amostras. Mesmo com esta redução, as misturas ainda atenderam aos valores adequados de resistência para utilização em campo, indicando que as misturas produzidas no estado do Rio Grande do Sul vêm apresentando resultados satisfatórios quanto a esse quesito.

Palavras-chave: Concretos asfálticos. Efeito deletério da água. Dano por Umidade Induzida.

1. INTRODUÇÃO

A degradação de um pavimento e a perda de serventia tem como causas principais as variações climáticas e cargas de tráfego às quais estão expostas (CORTIZO, 2004). Diante disso, é muito importante que o profissional de engenharia, para formular as misturas asfálticas e compor a estrutura dos pavimentos, mais do que apenas interpretar dados laboratoriais, tome conhecimento das solicitações e intemperização às quais a estrutura está exposta em campo. Portanto, avaliar acertadamente o comportamento

mecânico é primordial para uma melhor concepção e execução de pavimentos na prática.

A mistura asfáltica em campo está submetida à esforços que causam em sua estrutura algum tipo de degradação, os danos mais frequentes são fadiga e deformação permanente. Todavia a água está acoplada a este problema, podendo mudar a distribuição de esforços, as propriedades de danificação e os parâmetros de rigidez, alterando a relação tensão/deformação e todo o comportamento mecânico da mistura.

Os principais mecanismos de ação da água no revestimento asfáltico, segundo Lottman (1978), que acarretam a perda de ligação adesiva ou descolamento da película de asfalto do agregado, são causados pela expansão devida a altas temperaturas, pela expansão e contração diferenciais dos materiais, pela pressão provocada pela passagem dos veículos e pelos ciclos de gelo/degelo.

De acordo com Kennedy et al. (1983), a presença de umidade na mistura asfáltica pode provocar uma série de danos que acabam por refletir na vida de serviço do revestimento asfáltico, causando maiores necessidades de intervenções e manutenções. A coesão da mistura é modificada pelo descolamento do ligante asfáltico do agregado, isto acarreta mudanças de propriedades importantes como a flexibilidade, resistência à tração e rigidez.

Esta pesquisa propõe estudar o efeito deletério da água em 21 misturas asfálticas densas produzidas no Rio Grande do Sul a partir da realização do ensaio de dano por umidade induzida.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

As misturas asfálticas não somente devem ser projetadas pensando no dano produzido pelas cargas impostas pelo tráfego de veículos, mas também se deve considerar a ação da

natureza. Atualmente para analisar a influência dos fenômenos naturais se estuda separadamente cada um dos fatores que os compõe (sendo eles: a água, o ar, a variação de temperatura e os raios ultravioletas), avalia-se então o comportamento mecânico e químico do ligante, do agregado e da mistura de maneira separada.

Segundo Anitelli (2013) a água da chuva, por exemplo, pode infiltrar pelos vazios da mistura asfáltica, e/ou ficar confinada em sua estrutura e, somada à ação do tráfego, provocar danos à mistura asfáltica por excesso de pressão nos poros ou lavagem hidráulica, levando ao desprendimento ou deslocamento da película de asfalto do agregado. Esse processo intensifica os mecanismos de deterioração da deformação permanente e da trinca por fadiga. Logo, os efeitos causados pela água no revestimento asfáltico podem ser potencializados pela variação de temperatura e pelo ciclo hidrológico.

2.1 Efeito deletério da água

Ao selecionar os materiais e dosar as misturas asfálticas é muito importante que seja feita a identificação da sensibilidade desta mistura à ação deletéria da água. Defeitos prematuros podem surgir no pavimento quando a seleção dos materiais é feita de forma inadequada ou ocorre falha na determinação da sensibilidade à umidade, elevando com isso os custos de manutenção e reabilitação da estrutura.

A água pode entrar na estrutura do pavimento de diversas maneiras: pela falta de secagem dos agregados, por fissuras no revestimento, por um sistema ineficiente de drenagem e por capilaridade devido a presença de águas subterrâneas. Para prevenir a ocorrência desse processo se deve: evitar agregados pétreos recém triturados devido à demora na reorientação de suas moléculas, aquecer o agregado nas usinas de misturas

asfálticas para remover o filme de água, eliminar pó e argila sobre a superfície do material e evitar colocar as misturas sobre camadas granulares úmidas.

2.2 Dano por umidade induzida

O termo umidade induzida diz respeito a qualquer técnica utilizada para causar dano acelerado por umidade em amostras de misturas asfálticas. De acordo com Epps et al. (2000), no que diz respeito ao efeito deletério da água nas misturas asfálticas, tem sido difícil associar os resultados de ensaios de laboratório com o desempenho das misturas em campo. Segundo os autores Airey (2008) e Mehrara (2013), o estado da arte, apesar do alto número de pesquisas realizadas na área, evidencia que o fenômeno de dano por umidade e as causas que o geram ainda não foram totalmente identificadas e entendidas.

De acordo com Anitelli (2013) a análise da suscetibilidade ao dano por umidade aponta se a mistura pode apresentar problemas de descolamento devido à ação da água em algum tempo. Tal análise consiste na avaliação laboratorial do comportamento da mistura asfáltica compactada frente a ensaios combinados que simulam: envelhecimento em curto ou em longo prazo da mistura asfáltica, saturação parcial de vazios da mistura por meio de vácuo, esforço de arrancamento da película de asfalto a partir de ciclos térmicos; e, a verificação da mudança do comportamento mecânico da mistura, que normalmente, nos ensaios normatizados, privilegiam a avaliação de propriedades de tração direta ou indireta.

De acordo com Diab (2013), a conclusão geral à que se chega ao estudar as distintas metodologias de ensaio, é a de que estes experimentos tem como limitação principal o fato de ainda não serem capazes de simular por completo e com exatidão o mecanismo de dano por umidade nas misturas asfálticas. Para

compreender tal mecanismo de dano se faz necessário seguir decompondo as variáveis que influenciam na sua ocorrência.

2.3 Adesividade

Furlan (2006) explica que para manter a mistura coesa é papel do cimento asfáltico (aderente) aderir ao agregado (aderido), este processo acontece devido às propriedades do ligante como viscosidade, poder de molhagem e tensão superficial e propriedades do agregado como a forma, textura superficial, absorção e composição mineralógica. Gouveia (2006) constata que as maiores causas da ocorrência da perda de adesividade, e isso é consenso em pesquisas da área, são a umidade, a composição química e mineralogia do agregado.

A vulnerabilidade das misturas asfálticas ao dano por umidade vem sendo estudada a partir do desenvolvimento de novos ensaios de laboratório que buscam possibilitar, caso suscetibilidades sejam identificadas, melhorias nos elementos da mistura, como mudanças na faixa granulométrica ou uso de aditivos melhoradores de adesividade (BOEIRA, 2014; MOURA, 2010; BOCK et al., 2009; LITTLE et al., 2006).

De acordo com Kanitpong e Bahia (2003), a adesividade pode ser usada para referir a quantidade de energia que é necessária para quebrar a ligação entre o betume e o agregado, ou seja, é a propriedade que garante a união entre eles quando sob ação do tráfego e da água. Tal propriedade pode ser verificada tanto pelo ensaio de adesividade visual (DNER-ME 78/94, 1994), como pelo ensaio Lottman Test ou Lottman modificado AASHTO T 283-14 - *Standard Method of Test for Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture - Induced Damage* e pelo ensaio já normatizado no Brasil pela norma DNIT 180/2018 – ME - Determinação do dano por umidade induzida. Segundo Santana (1992),

outro fator que afeta a afinidade (adesividade) do ligante ao agregado é a carga elétrica, inerente ao tipo da rocha matriz que dá origem aos granulares. Ou seja, a adesão é consequência da interação físico-química entre

o ligante asfáltico e os minerais da superfície do agregado.

Hicks (1991) sumarizou e classificou os fatores que influenciam a adesividade ou o dano induzido pela umidade, os mesmos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Fatores que interferem nas características de adesividade

Fator	Característica Desejável
1. Agregados a) textura b) porosidade c) mineralogia d) cobertura do agregado por pó e) umidade superficial f) composição química superficial g) fíler mineral	Áspero Depende do tamanho do poro Agregados básicos são mais resistentes Limpo Seco Capaz de formar pontes de hidrogênio Aumenta a viscosidade do ligante
2. Cimento Asfáltico a) viscosidade b) química c) espessura do filme	Alta Nitrogênio e fenóis Alta
3. Tipo de mistura a) vazios b) granulometria c) teor de ligante	Muito baixo ou muito alto Muito aberta ou muito densa Alto
4. Condições Climáticas a) temperatura b) precipitações durante a construção c) precipitações após construção d) ciclos de gelo/degelo	Quente Nenhuma Mínima Mínimo
5. Tráfego a) volume de tráfego	Baixo tráfego

Fonte: Adaptado de Hicks, 1991.

Segundo Mallick et al. (2003), pode-se diferenciar duas etapas no processo de adesão do sistema granular-betume, sendo elas denominadas adesividade ativa e passiva. A primeira ocorre ainda no processo de mistura quando o agregado molha e cobre a superfície do granular formando uma película. Já a

segunda, que tem um papel preponderante na duração da vida útil do material, diz respeito à resistência ao descolamento da película formada na etapa ativa e que agora sofre interferência em sua interface granular-betume pela presença de água associada às cargas de tráfego.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais utilizados

As misturas asfálticas analisadas foram obtidas em diferentes regiões do RS, com o objetivo de caracterizar e avaliar concretos asfálticos com agregados das principais formações geológicas do estado, diferentes faixas granulométricas do DAER e do DNIT, diferentes tipos de ligantes asfálticos e usinas de asfalto em operação. As coletas foram realizadas no caminhão ou na pista, conforme preconiza a norma DNER – PRO 013/94.

A nomenclatura utilizada pelos autores apresenta, respectivamente, o número da usina de concreto asfáltico, o órgão executor, a faixa granulométrica e o tipo de ligante asfáltico

utilizado, conforme apresentado na Tabela 2. Cabe ressaltar que todas as misturas foram dosadas pelo método Marshall. Maiores informações sobre os materiais utilizados estão descritas, detalhadamente, em Faccin (2018) e Brondani (2019).

3.2 Procedimento experimental

Nesta pesquisa a avaliação da danificação por umidade induzida foi realizada a partir da utilização do ensaio Lottman modificado, o qual segue as normas AASHTO T 283-14 - *Standard Method of Test for Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture - Induced Damage*, e também a norma DNIT 180/2018 – ME - Determinação do dano por umidade induzida.

Tabela 2 - Relação de misturas estudadas e nomenclatura utilizada

Usina de asfalto	Município de localização da usina	Faixa granulométrica	Tipo de ligante asfáltico	Pedreira	Tipo de agregado	Nomenclatura utilizada
U1	Santa Rosa	FX A- DAER	CAP 50/70	P1	Basalto	U1-DAER-FXA-50/70
U2	Santo Ângelo	FX B- DAER	CAP 50/70	P2	Basalto com olivina	U2-DAER-FXB-50/70
		FX C- DNIT	AMP 60/85			U2-DNIT-FXC-60/85
U3	Itaara	FX C- DNIT	AMP 65/90	P3	Riodacito	U2-DNIT-FXC-65/90
		FX B- DAER	ECOFLEX AB-8			U3-DAER-FXB-ECO ²
U4	Dilermando de Aguiar	FX C- DNIT	CAP 50/70	P4	Basalto	U4-DNIT-FXC-50/70
		FX B - DNIT	CAP 50/70			U4-DNIT-FXB-50/70
U5	Capão do Leão	FX B-DNIT	ECOFLEX AB-8	P5	Sienogranito	U5-DNIT-FXB-ECO ^{1,2}
		FX B-DAER	ECOFLEX AB-8			U5-DAER-FXB-ECO ^{1,2}
U7	Veranópolis	FX C-DNIT	AMP 60/85	P6/P7/P8	Dacito	U7-DNIT-FXC-60/85
U8	Uruguaiana	FX B-DNIT	CAP 50/70	P9	Olivina-Basalto	U8-DNIT-FXB-50/70 ²
U9	Eldorado do Sul	FX C-DNIT	AMP 60/85	P10	Sienogranito	U9-DNIT-FXC-60/85 ²
		FX C-DNIT	TLA FLEX			U9-DNIT-FXC-TLAF ²
U10	Caçapava do Sul	FX C-DNIT	CAP 50/70	P11/P12	Mármore	U10-DNIT-FXC-50/70 ²
U11	Sarandi	FX A-DAER	CAP 50/70	P13	Olivinia-Diabasio	U11-DAER-FXA-50/70
U12	Sarandi	FX B-DAER	AMP 60/85	P13	Olivinia-Diabasio	U12-DAER-FXB-60/85
		FX C-DAER	AMP 60/85			U12-DAER-FXC-60/85
U13	Santa Cruz do Sul	FX B-DAER	CAP 50/70	P14	Andesito	U13-DNIT-FXB-50/70
		FXC DNIT	CAP 50/70			U14-DNIT-FXC-50/70 ²
		FXB DNIT	CAP 50/70			U14-DNIT-FXB-50/70 ²
U14	Santa Maria	FXC DNIT	AMP 60/85	P15	Diabásio	U14-DNIT-FXC-60/85 ²
		FXB DNIT	CAP 50/70			U14-DNIT-FXB-50/70 ²

¹ Misturas mornas com aditivo surfactante Evotherm™

² Misturas com adição de cal e/ou dope

Fonte: Autores (2019).

Segundo a norma, os procedimentos são utilizados para determinar o efeito da presença de água na resistência à tração por compressão diametral de misturas asfálticas, por comparação entre corpos de prova virgens e corpos de prova submetidos a procedimentos de condicionamento próprios. Este indicador é associado a uma medida indireta da adesividade e coesão do par agregado-ligante asfáltico.

Este ensaio leva em consideração o efeito deletério da água em amostras cilíndricas compactadas pelo método de dosagem Marshall ou Superpave com volume de vazios entre 6% e 8%, e tem por objetivo verificar a durabilidade das misturas asfálticas a longo prazo, cerca de quatro a doze anos, com relação à propriedade de adesividade ligante/agregado. De acordo com Bernucci et al. (2010), tal propriedade é relevante pois evidencia os possíveis problemas de interação do agregado com o ligante asfáltico causados pelo dano por umidade, o que acaba por afetar diretamente o desempenho e a vida de serviço dos pavimentos.

Para determinação do dano por umidade induzida, são ensaiadas seis amostras por mistura, de dimensões 10 por 6 cm. Os corpos de prova foram confeccionados seguindo a metodologia Marshall, com volume de vazios de $7 \pm 1\%$, e serão divididos em dois grupos. De acordo com Boeira (2014), esta divisão é feita para que possa ser realizada posteriormente uma análise entre a relação da resistência à tração por compressão diametral de amostras com condicionamento prévio e amostras sem condicionamento.

Os corpos de prova do primeiro grupo foram saturados até atingirem valores de grau de saturação entre 55% e 80%. Essa saturação é conseguida através da aplicação de vácuo na faixa de 13 a 67 kPa de pressão absoluta. O processo de saturação consiste em medir a massa inicial dos corpos de prova e, de posse do volume de vazios, calcula-se a massa de

água que deve ocupar os vazios do corpo de prova para atingir o grau de saturação exigida pelo método.

Primeiramente o corpo de prova é imerso em um dessecador com água destilada e em seguida aplica-se o vácuo (Figura 1). O compressor, instrumento utilizado para aplicação do vácuo, é então ligado e após cerca de 15 segundos, retira-se o corpo de prova da imersão e sua massa é determinada. Por comparação de massas é conhecido o grau de saturação que o corpo de prova atingiu. Caso não tenha atingido o mínimo de 55%, é retornado para a imersão e aumenta-se o tempo de permanência sob o vácuo. Cada corpo de prova teve seu grau de saturação calculado a partir dos valores provenientes do projeto de Faccin (2018).

Figura 1 – Cuba onde é realizada a saturação dos corpos de prova



Fonte: Autores (2019)

Após atingir a saturação requerida, os mesmos foram embalados a vácuo e condicionados à temperatura de -18°C por um período mínimo de 16h, esta temperatura leva o corpo de prova ao congelamento, conforme a Figura 2 (a). Então, as amostras foram removidas da refrigeração e imersas em água destilada, à temperatura de 60°C , por um período de 24h, Figura 2 (b). Por fim, os corpos de prova foram imersos em água a uma

temperatura de 25°C por um período de 2h, Figura 2 (c) sendo, após, submetidos ao ensaio de resistência à tração (RT').

A norma que prescreve o ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral é a norma DNIT 136/2018 - ME-Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas - Determinação da resistência à tração por

compressão diametral. O mesmo consiste na aplicação de uma carga estática de compressão distribuída ao longo de duas geratrizes opostas, a fim de se obter as tensões de tração através do diâmetro horizontal, perpendicularmente à carga. A resultante obtida é a razão entre as RT das amostras com e sem condicionamento.

Figura 2 – Ciclos de congelamento e imersão em água. (a) Congelamento de 16 hrs à -18 °C. (b) Imersão por 24 hrs à 60 °C (c) Condicionamento por 2 hrs 25 °C



Fonte: Autores (2019)

$$RT = \frac{2F}{100\pi DH} \quad (1)$$

Sendo:

RT = resistência à tração, em MPa;

F = carga de ruptura, em N;

D = diâmetro do corpo de prova, em cm;

H = Altura do corpo de prova, em cm.

O segundo grupo foi também submetido ao ensaio de resistência à tração (RT), após condicionamento a 25°C, por pelo menos 12 horas. A relação entre RT'/RT indica a perda de resistência por umidade induzida, que não deve ser inferior a 30%, ou seja, ter perda maior ou igual a 0,70 (BERNUCCI et al., 2010). A análise é feita com a obtenção da relação entre as médias dos valores obtidos na resistência à tração pela compressão diametral de corpos de prova, submetidos previamente a condicionamentos, e a resistência à tração pela compressão diametral de corpos-de-prova sem condicionamentos (SPECHT, 2004). Esta

relação de resistência em porcentagem é denominada de Resistência à Tração Retida (RRT).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O ensaio de dano por umidade induzida avaliou a propriedade de adesividade em 21 misturas asfálticas desta pesquisa, considerando o efeito deletério da água.

As amostras foram separadas em dois grupos com três corpos de prova cada um, Grupo 1 e Grupo 2, com e sem condicionamento, respectivamente. As médias dos resultados dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral das amostras com e sem condicionamento são apresentados na Tabela 3, assim como seus desvios-padrões e coeficientes de variação, bem como os valores da (RRT). Nota-se que os resultados de RT para maioria das misturas nos dois ciclos apresentam baixos coeficientes de

variação (CV), indicando um conjunto de dados homogêneos.

Os resultados da média do RT de cada mistura são ilustrados graficamente na Figura 3, indicando que todos os valores atenderam ao limite mínimo preconizado pela Norma do DNIT ES031/2006, que deve ser de no mínimo 0,65 MPa (a 25°C) em misturas asfálticas destinadas a camadas de rolamento. Pode-se observar que para grande maioria das misturas houve uma queda no valor da resistência à tração por compressão diametral após o condicionamento, indicando suscetibilidade ao dano por umidade. Em

algumas misturas esta suscetibilidade fica mais evidente devido à maior diferença entre os resultados de RT entre os grupos com e sem condicionamento, como são os casos das misturas U2-DNIT-FXC-65/90 e U8-DNIT-FXC-50/70. Verifica-se ainda que as misturas U9-DNIT-FXC-60/85 e U14-DNIT-FXC-60/85 obtiveram valores de G2 maiores que G1, indicando menor suscetibilidade ao dano por umidade.

Tabela 3 - Valores de Resistência Retida à Tração para o ensaio de dano por umidade induzida

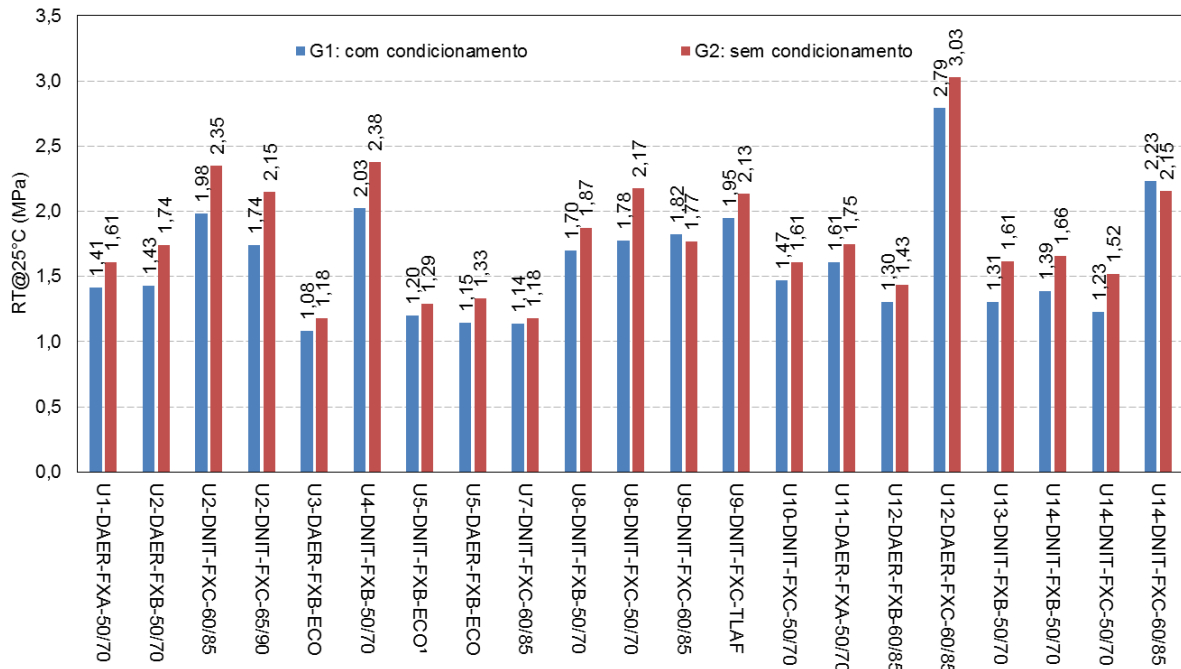
MISTURAS	GRUPO 1 (MPa)	DP (MPa)	CV (%)	GRUPO 2 (MPa)	DP (MPa)	CV (%)	RRT (%)
U1-DAER-FXA-50/70	1,41	0,074	5,24	1,61	0,241	14,98	87,70
U2-DAER-FXB-50/70	1,43	0,061	4,25	1,74	0,074	4,24	82,22
U2-DNIT-FXC-60/85	1,98	0,051	2,56	2,35	0,073	3,09	84,14
U2-DNIT-FXC-65/90	1,74	0,045	2,60	2,15	0,076	3,53	80,95
U3-DAER-FXB-ECO	1,08	0,026	2,36	1,18	0,049	4,18	91,97
U4-DNIT-FXB-50/70	2,03	0,135	6,66	2,38	0,082	3,47	85,29
U5-DNIT-FXB-ECO'	1,20	0,089	7,41	1,29	0,040	3,12	93,10
U5-DAER-FXB-ECO	1,15	0,165	14,36	1,33	0,109	8,16	86,09
U7-DNIT-FXC-60/85	1,14	0,044	3,87	1,18	0,056	4,73	96,53
U8-DNIT-FXB-50/70	1,70	0,102	6,02	1,87	0,120	6,40	90,79
U8-DNIT-FXC-50/70	1,78	0,033	1,88	2,17	0,252	11,57	81,78
U9-DNIT-FXC-60/85	1,82	0,081	4,46	1,77	0,031	1,76	102,93
U9-DNIT-FXC-TLAF	1,95	0,138	7,07	2,13	0,061	2,87	91,20
U10-DNIT-FXC-50/70	1,47	0,071	4,85	1,61	0,070	4,37	91,51
U11-DAER-FXA-50/70	1,61	0,023	1,40	1,75	0,025	1,45	91,86
U12-DAER-FXB-60/85	1,30	0,022	1,70	1,43	0,057	4,00	90,69
U12-DAER-FXC-60/85	2,79	0,047	1,69	3,03	0,067	2,22	92,26
U13-DNIT-FXB-50/70	1,31	0,062	4,75	1,61	0,116	7,16	80,89
U14-DNIT-FXB-50/70	1,39	0,019	1,37	1,66	0,109	6,58	83,94
U14-DNIT-FXC-50/70	1,23	0,032	2,61	1,52	0,025	1,68	80,89
U14-DNIT-FXC-60/85	2,23	0,005	0,21	2,15	0,106	4,94	103,56

Fonte: Autores (2019)

De acordo com a metodologia Superpave, os valores de referência preconizados para RRT são aqueles acima de 80% (EPPS et al., 2000, HOSSAIN, FAGER e MAAG, 2017). Hicks (1991) afirma que a maioria dos departamentos estaduais de transportes norte-americanos utiliza o limite de 70%. Esses

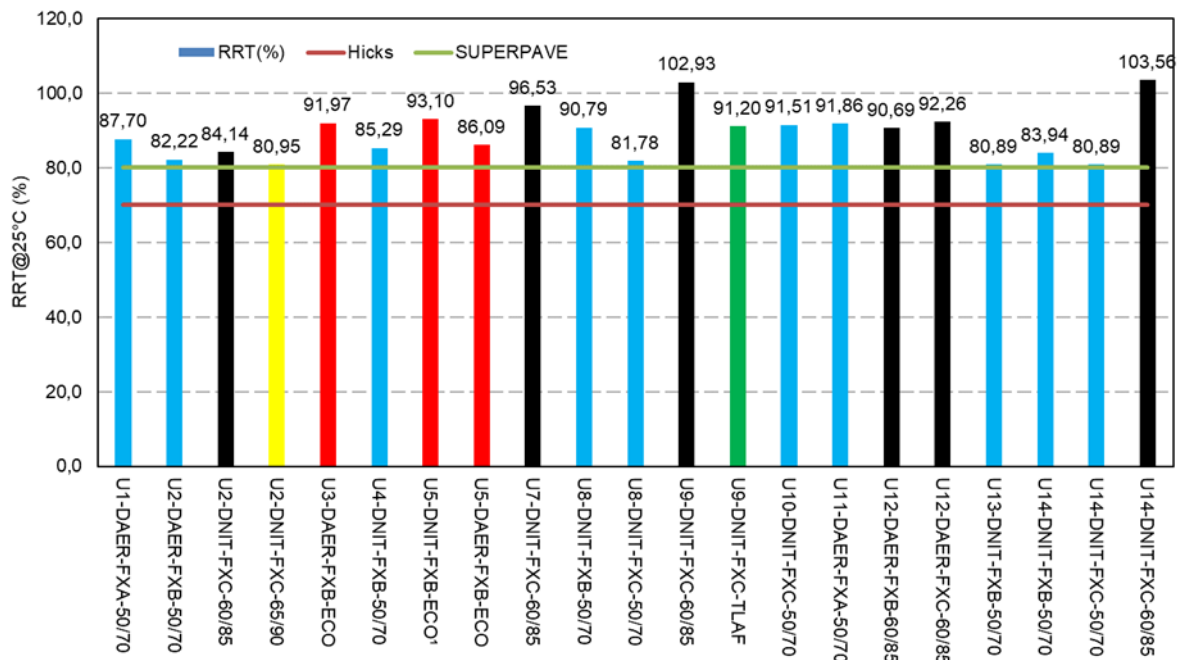
limites são apresentados na Figura 4, assim como, os valores de RRT encontrados na presente pesquisa. Através dos resultados apresentados, é possível verificar que todas as misturas atendem o limite estabelecido por Hicks (1991) e também os 80% idealizados pela metodologia Superpave.

Figura 3 - Comparação entre resultados de RT entre corpos de prova com condicionamento e sem condicionamento



Fonte: Autores, (2019).

Figura 4 – Resultados RRT entre corpos de prova de 21 misturas



Fonte: Autores (2019)

Todas as misturas, exceto U9-DNIT-FXC-60/85 e U14-DNIT-FXC-60/85, apresentaram valores que indicam perda de resistência por umidade induzida. As misturas U9-DNIT-FXC-60/85 e U14-DNIT-FXC-60/85 obtiveram valores de RT menores que RT' e conseqüentemente apresentam valores de RRT superiores a 100%. Este valor superior a 100% pode estar relacionado a variabilidade do ensaio de RT ligado ao grau de saturação (55 a 80%) e Vv (7± 1%).

O que fica evidente na Figura 4 é que no estado do Rio Grande do Sul, da maneira como as misturas vêm sendo produzidas, isto quer dizer, com a utilização de melhoradores de adesividade como cal e dope, bem como de ligantes modificados, não se observam grandes problemas de dano por umidade nas misturas, estando todas dentro dos parâmetros recomendados e resultando em valores de RRT satisfatórios.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com o delinear metodológico deste trabalho e os resultados obtidos, observou-se que no ensaio de Dano por Umidade induzida (DUI) todas as misturas apresentaram valores que indicam perda de resistência por umidade induzida. Porém todas elas atendem o limite de RRT estabelecido por Hicks (1991) e pela metodologia Superpave. Diante disso, conclui-se que, dentro do universo de materiais estudado, métodos aplicados e análises realizadas, as misturas produzidas no Rio Grande do Sul não apresentam grandes problemas em termos de efeito deletério da água.

Agradecimentos

Agradecemos à ANP/Petrobras pela infraestrutura laboratorial e a CAPES e ao CNPq pelas bolsas de pesquisa disponibilizadas.

5. REFERÊNCIAS

AASHTO. **Standard Method of Test for Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture-Induced Damage**. AASHTO T 283-14. Washington, D. C., 2014.

AIREY, G. D., et al. **The influence of Aggregate, Filler and Bitumen on Asphalt Mixture Moisture Damage**. Construction and Building Materials. Vol. 22, pp. 2015-2024. 2008.

ANITELLI, A. **Estudo do Dano por Umidade de Misturas Densas com Ligantes Asfálticos Convencional e Modificado com Polímero SBS**. 2013. 107 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transporte e Área de Concentração em Infra-Estrutura de Transporte – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2013.

BARBOZA JR, V dos S. **Efeito deletério da água em misturas asfálticas com adição de ligante modificado com polímero e de cal**. Dissertação de Mestrado. UFSM. Santa Maria – RS. 2018.

BERNUCCI, L. et al. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. 3. reimp. Rio de Janeiro: Petrobrás: ABEDA, 2010. 504 f.

BOCK, A. L., HARTMANN, D., BUDNY, J., SPECHT, L. P., CERATTI, J. A. P. **Avaliação de diferentes métodos de adição de cal em misturas de concreto asfático**. In: IV SINAPRE – Simpósio Internacional de avaliação de pavimentos e projeto de reforço. Fortaleza – CE. UFC. v.1. p.1 – 14. 2009.

BOEIRA, F. D. **Estudo do comportamento de concretos asfálticos com diferentes tipos de agregados e cales**. Dissertação de

Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2014.

BOHN, K. A. **Avaliação de misturas asfálticas recicladas mornas com uso de ligantes convencional e modificado por polímero.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria – RS. 2017.

BRONDANI, C. **Estudo do efeito deletério da água em misturas asfálticas a quente produzidas no rio grande do sul.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria – RS. 2019.

CORTIZO, M. S. et al. **Polymer Degradation and Stability.** 86:275-82. 2004.

DNER. Departamento Nacional de Estradas e Rodagem. **DNER ME 78/94 - Método de Ensaio. Misturas Betuminosas – Adesividade de Agregado Graúdo a Ligante Betuminoso.** Rio de Janeiro. 1994.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes. **DNIT 031/2006 - ES: Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço.** Rio de Janeiro: DNIT, 2006a.

_____. **DNIT 136/2018-ME: Misturas Asfálticas – Determinação de resistência à tração por compressão diametral – Especificação de Serviço.** Rio de Janeiro, RJ, 2018.

_____. **DNIT 180/2018 – ME: Misturas Asfálticas - Determinação do dano por umidade induzida. Método de ensaio.** Rio de Janeiro – RJ. 2018.

DIAB, A.; YOU, Z. **Development of a realistic conditioning and evaluation system to study moisture damage of asphalt**

materials. Airfield and Highway Pavement, pp. 1008-1017. 2013.

EPPS, J.A. et al. **Compatibility of a Test for Moisture-Induced Damage with Superpave Volumetric Mix Design.** NCHRP Report 444. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC. 2000.

FACCIN, C. **Concretos asfálticos em utilização no rio grande do sul: comportamento mecânico e desempenho em campo quanto à deformação permanente.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria – RS. 2018.

FURLAN, A.P. **Considerações acerca da adesão e da susceptibilidade à umidade de misturas asfálticas densas à luz de algumas propriedades mecânicas.** Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, EESC/USP, São Carlos, SP, 2006.

GOUVEIA, L. T. **Contribuições ao estudo da influência de propriedades de agregados no comportamento de misturas asfálticas densas.** 2006. 340f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil - Área dos Transportes) - Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Engenharia de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos, São Carlos, SP, 2006.

HICKS, R. P. **Moisture damage in asphalt concrete.** National Cooperative Highway Research Program. Synthesis of Highway Practice 175, Transportation Research Board, Washington, 1991, 91p.

KANITPONG, K., BAHIA, H.U. **Rule of Adhesion and Thin Film Thickness of Asphalt Binders in Moisture Damage of HMA.** Journal of Association os Asphalt

Paving Technologists, Vol. 72, p. 611 – 642, 2003.

KENNEDY, T. W.; ROBERTS, F. L.; LEE, K. W. **Evaluation of Moisture Effects on Asphalt Concrete Mixtures** - Transportation Research Record 911, p. 134 - 143. Washington, DC. 1983.

LITTLE, D. N.; EPPS, J. A.; SEBAALY, P. E. **The benefits of hydrated Lime in hot mix asphalt.** Report for National Lime Association, 2006. 80p.

LOTTMAN, R. P. **NCHRP Report 192: Predicting Moisture-Induced Damage to Asphaltic Concrete**, Transportation Research Board, National Research Council, 24p. Washington, D.C. 1978.

MALLICK, R.; GOULD, J.; BHATTARJEE, S.; REGIMAND, A.; JAMES, L.; BROWN, E. **Development of a Rational Procedure of Evaluation of Moisture Susceptibility of Asphalt Paving Mixes.** 82nd Annual TRB Meeting. Washington, D.C. 2003.

MEHRARA, A & KHODAI, A. **A review of state of the art on stripping phenomenon in asphalt concrete.** Construction and Building Materials. Vol. 38, pp. 423-442. 2013.

MOURA, E. **Estudo de deformação permanente em trilha de roda de misturas asfálticas em pista e em laboratório.** 2010. 299 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2010.

SPECHT, L. P. **Avaliação de misturas asfálticas com incorporação de borracha reciclada de pneus.** 2004. 279 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – PPGE/UFGRS, Porto Alegre, RS, 2004.