

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

MATEUS CAMARGO TANSKI

**COMPORTAMENTO MECÂNICO DE MATERIAL RECICLADO A FRIO
COM EMULSÃO E CIMENTO**

**Santa Maria, RS
2016**

Mateus Camargo Tanski

**COMPORTAMENTO MECÂNICO DE MATERIAL RECICLADO A FRIO COM
EMULSÃO E CIMENTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Construção Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Tatiana Cureau Cervo
Coorientador: Prof. Dr. Luciano Pivoto Specht

Santa Maria, RS
2016

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Camargo Tanski, Mateus
COMPORTAMENTO MECÂNICO DE MATERIAL RECICLADO A FRIO
COM EMULSÃO E CIMENTO / Mateus Camargo Tanski.- 2016.
169 p.; 30 cm

Orientadora: Tatiana Cureau Cervo
Coorientador: Luciano Pivoto Specht
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, RS, 2016

1. Base 2. Fresado 3. Reciclagem a frio 4. Módulo
Dinâmico 5. 2S2P1D I. Cureau Cervo, Tatiana II. Pivoto
Specht, Luciano III. Título.

Mateus Camargo Tanski

**COMPORTAMENTO MECÂNICO DE MATERIAL RECICLADO A FRIO COM
EMULSÃO E CIMENTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Construção Civil e Preservação Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

Aprovado em 22 de Agosto de 2016:

**Tatiana Cureau Cervo, Dr^a. (UFSM)
(Presidente/ Orientador)**

**Luciano Pivoto Specht, Dr. (UFSM)
(Coorientador)**

Kamilla Vasconcelos Savasini, PhD. (EPUSP)

Deividi da Silva Pereira, Dr. (UFSM)

**Santa Maria, RS
2016**

AGREDECIMENTOS

Agradeço a Deus por me dar força durante toda esta etapa.

Aos meus orientadores Tatiana Cureau Cervo e Luciano Pivoto Specht pela oportunidade, orientação, incentivo, pelo conhecimento transferido nesses dois anos, no qual me possibilitou melhor compreensão da pavimentação e principalmente pela confiança depositada em mim. Meu muito obrigado por todo o suporte fornecido.

Ao Profa. Dra. Kamilla Vasconcelos Savasini e ao Prof. Dr. Deividi da Silva Pereira pela disponibilidade em compartilhar o conhecimento e avaliação do trabalho.

À minha família por estarem sempre ao meu lado incentivando e apoiando nas decisões.

À minha namorada Lauren Razzera Stefanon pelo amor, carinho, compreensão e por me acompanhar nessa caminhada.

Aos meus colegas de mestrado, Roberta Centofante e Pedro Júnior, pelos dois anos de trabalho em conjunto, sempre enfrentando os desafios que foram impostos nesse período.

A todos os integrantes do GEPPASV, em especial aos colegas de laboratório, Bruno Gonçalves, Fábio Rosatto, Thaís Aquino, Lucas Bueno, Maurício Santos, Fernando Boeira e Fernanda Dresche aos bolsistas Karlla Gabriella Duarte Cândido e Pablo Menezes Vestana.

Ao PPGEC, LMCC e à UFSM pelo suporte pessoal, material e equipamentos disponibilizados.

A empresa Betunel, Conpasul e Della Pascua pelos materiais disponibilizados.

A Petrobrás pela bolsa disponibilizada.

Enfim, a todos que contribuíram de alguma forma para conclusão deste trabalho.

EPÍGRAFE

“Errei mais de 9.000 cestas e perdi quase 300 jogos. Em 26 diferentes finais de partidas fui encarregado de jogar a bola que venceria o jogo... e falhei. Eu tenho uma história repleta de falhas e fracassos em minha vida. E é exatamente por isso que sou um sucesso.”

Michael Jordan Thomas

RESUMO

COMPORTAMENTO MECÂNICO DE MATERIAL RECICLADO A FRIO COM EMULSÃO E CIMENTO

AUTOR: MATEUS CAMARGO TANSKI

ORIENTADORA: Prof^a. Dr^a.TATIANA CUREAU CERVO

COORIENTADOR: Prof. Dr. LUCIANO PIVOTO SPECHT

O material fresado extraído de trechos em recuperação não recebe a atenção e importância que merece no Brasil. O reaproveitamento desse material, que apresenta comportamento tão bom quanto os agregados virgens, quando empregado de maneira correta na composição de camadas de pavimentos novos ou restaurações, é uma prática largamente utilizada em países europeus e nos Estados Unidos. Além de resolver o passivo ambiental das empresas, o reemprego do fresado em misturas asfálticas, é uma alternativa sustentável que diminui o consumo de agregados virgens e custos com transporte de fresado e alocação do mesmo. Este trabalho busca uma alternativa para emprego do material fresado como camada de base na execução de pavimentos novos. Foram estudadas misturas recicladas a frio compostas de fresado estabilizado granulometricamente com pó-de-pedra e tendo como ligante betuminoso emulsão asfáltica RL-1C nas proporções de 2% a 5% e de ligante hidráulico CP V ARI de 0% a 1% de cimento. As misturas propostas foram avaliadas por meio de ensaios de resistência à compressão simples (RCS), ruptura por tração por compressão diametral (RT), módulo de resiliência (MR), módulo complexo (IE^*I) e FlowNumber (FN). Após a realização dos ensaios, observou-se que os valores obtidos demonstram que as misturas com proporção variando de 50% a 75% de emulsão, em relação ao cimento empregado nas misturas, apresentam melhores resultados. Além disso, as mesmas misturas apresentam valores de módulo resiliente variando entre 1500 MPa e 3000 MPa (valores excelentes para camadas de base). O ensaio de FN mostrou que a adição de cimento na mistura melhora os resultados aumentando o número de ciclos, apresentando como melhores as amostras com 2% e 3% de emulsão. Através do ensaio de módulo dinâmico obteve-se a curva mestra das misturas utilizando a modelo 2S2P1D. Acredita-se que esta será uma alternativa técnica e economicamente viável para destinação do material fresado gerado em abundância pelas obras rodoviárias.

Palavras-chave: Base. Fresado. Reciclagem a frio. Módulo Dinâmico. 2S2P1D.

ABSTRACT

MECHANICAL BEHAVIOUR OF RECYCLED COLD MIXTURE WITH EMULSION AND CEMENT

AUTHOR: MATEUS CAMARGO TANSKI
ADVISOR: Profa. Dra. TATIANA CUREAU CERVO
CO-ADVISOR: Prof. Dr. LUCIANO PIVOTO SPECHT

The recycled asphalt pavement (RAP) extracted from recovery distresses in highways does not receive the attention and importance it deserves in Brazil. The reuse of this material, which presents as good properties as the virgin aggregate, when applied correctly in the composition of new pavement layers or rehabilitations, is a widely used in European and United States. Besides solving the environmental liabilities of pavement, the reuse of milled material in asphalt mixtures is a sustainable alternative, which decreases consumption of asphalt and virgin aggregate, milled material transportation and allocation costs. This study seeks an alternative to the use of RAP as the base layer in the implementation of new pavements. For this paper, cold recycled mixtures were studied, which are composed of RAP (granulometrically stabilized with fine aggregate) and RL-1C asphalt emulsion, a bituminous binder that contains added Portland Cement (CP V ARI) in the proportions of 2% to 5% for emulsion and from 0% to 1% of cement, in weight. The proposed mixtures were evaluated through mechanical resistance to single compression (RCS), indirect tensile strength (RT), resilient modulus tests (RM), Complex Modulus (E^* and Φ) and Flow Number (FN). After performing these tests, it was observed that the values obtained reveal that the mixtures with proportions varying from 50% to 75% of emulsion, compared to the cement used in the mixtures, show better results. Moreover, the mixtures present resilient modulus results ranging from 1500 MPa to 3000 MPa (excellent values for base layers). The FN test shows that by adding cement to the mixture, the results improved in the form of an increment in the number of cycles, which performed at its best with samples that had 2% and 3% of emulsion. The uniaxial Complex Modulus test allowed access the viscoelastic behavior and the 2S2P1D modeling was used too. It's possible to confirm that this technique is viable pavement maintenance.

Keywords: Pavement Base. RAP. Cold Recycling. Dynamic Modulus. 2S2P1D.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Trecho fresado na BR – 392	27
Figura 2 - Operação de fresagem <i>in situ</i> de um equipamento de grande porte	28
Figura 3 - Curvas granulométricas do material fresado.....	29
Figura 4 - Retirada do revestimento para execução de camada nova	37
Figura 5 - Reciclagem profunda <i>in situ</i> com aplicação de espuma de asfalto	39
Figura 6 - Comparativo de construção de base nova e reciclagem profunda.	40
Figura 7 - Diagrama tensão-deformação genérico	42
Figura 8 - Resposta de um material viscoelásticos sob tensão controlada	44
Figura 9 - Estrutura de camadas deformando com a passagem de uma carga móvel	44
Figura 10 - Deformação embaixo da camada de carregamento.	45
Figura 11- Interpretação da resposta de um amortecedor parabólico.....	46
Figura 12 - Representação do modelo 2S2P1D.....	47
Figura 13- Representação do modelo 2S2P1D no plano Cole-Cole	48
Figura 14 - Fluxograma da pesquisa	52
Figura 15 - Localização do trecho do km 338 na BR 392.....	54
Figura 16- Fresagem do material <i>in situ</i>	54
Figura 17 - Granulometria Material Fresado.....	56
Figura 18 - Formações geológicas do Estado do RS	57
Figura 19 - Granulometria do pó de pedra	58
Figura 20 - Estocagem do CP V – ARI.....	60
Figura 21 - Flugrama das misturas propostas	62
Figura 22 - Amostra de fresado retirada da pilha	63
Figura 23 - Grumos retirados da amostra ensaiada em laboratório.	63
Figura 24 - Granulometria da mistura reciclada	64
Figura 25- RAP e pó de pedra para confecção das misturas	66
Figura 26- Mistura dos materiais pétreos	66
Figura 27- Mistura pronta para compactação.....	67
Figura 28- Compactação de camada	68
Figura 29- Amostra de Compactação sendo rasada	68
Figura 30- Amostra durante o processo de cura da mistura	69
Figura 31- Amostra Marshall curada e desmoldada.....	70
Figura 32- Amostra de 10cm x 20cm sendo compactada para ensaio de RCS	71
Figura 33 - Amostra 10 cm x 20 cm, curada e com face capeada	72
Figura 34 - Corpos de prova 10 cm x 15 cm	72
Figura 35 - Amostra compactada	74
Figura 36 - Amostra capeada pronta para ser ensaiada e prensa de compressão	75
Figura 37 - Estado de tensões gerado no ensaio.....	76
Figura 38 - Prensa pneumática com ensaio de RT	77
Figura 39 - Prensa UTM-25.....	78
Figura 40 - Amostra de MR pronta para ensaio	79
Figura 41 - Ensaio de Módulo Complexo a 4°C	80
Figura 42 - Amostra rompida após a realização do ensaio de Flow Number	82
Figura 43 - Gráfico gerado pelo ensaio de Flow Number	83
Figura 44 - Curvas de compactação das misturas propostas	85
Figura 45 - Resultados ensaio de RCS	89
Figura 46 - Amostra rompida no ensaio de RCS.....	90
Figura 47 - Resultados de RT	91

Figura 48- Amostra de RT rompida	92
Figura 49 - Resultados de MR a 25°C	93
Figura 50 - Estrutura para análise de deformações	95
Figura 51- Deflexão para 5 cm de revestimento aderido (a) e não aderido (b).....	98
Figura 52 - Deflexão para 10 cm de revestimento aderido (a) e não aderido (b).....	98
Figura 53 - Deformação específica horizontal ao longo do revestimento (5 cm) e da base reciclada (10 cm) aderido (a) não aderido (b)	99
Figura 54 - Deformação específica horizontal ao longo do revestimento (5 cm) e da base reciclada (20 cm) aderido (a) não aderido (b)	100
Figura 55 - Deformação específica horizontal ao longo do revestimento (5 cm) e da base reciclada (30 cm) aderido (a) não aderido (b)	101
Figura 56 - Deformação específica horizontal ao longo do revestimento (10 cm) e da base reciclada (10 cm) aderido (a) não aderido (b)	102
Figura 57 -Deformação específica horizontal ao longo do revestimento (10 cm) e da base reciclada (20 cm) aderido (a) não aderido (b)	103
Figura 58 - Deformação específica horizontal ao longo do revestimento (10 cm) e da base reciclada (30 cm) aderido (a) não aderido (b)	104
Figura 59 - Tensão horizontal ao longo do revestimento (5 cm) e da base reciclada (10 cm) aderido (a) não aderido (b)	105
Figura 60 - Tensão horizontal ao longo do revestimento (5 cm) e da base reciclada (20 cm) aderido (a) não aderido (b)	106
Figura 61 - Tensão horizontal ao longo do revestimento (5 cm) e da base reciclada (30 cm) aderido (a) não aderido (b)	107
Figura 62 - Tensão horizontal ao longo do revestimento (10 cm) e da base reciclada (10 cm) aderido (a) não aderido (b)	108
Figura 63 - Tensão horizontal ao longo do revestimento (10 cm) e da base reciclada (20 cm) aderido (a) não aderido (b)	109
Figura 64 - Tensão horizontal ao longo do revestimento (10 cm) e da base reciclada (20 cm) aderido (a) não aderido (b)	110
Figura 65- Espaço Cole Cole amostra 1 e amostra 2	112
Figura 66- Diagrama de Black amostra 1 e amostra 2	112
Figura 67- Gráfico Cole Cole Amostras 1, 2 e média de todas as msituras.....	113
Figura 68 - Diagrama de Black média das misturas e modelagem no 2S2P1D	114
Figura 69 - Diagrama de Black no 2S2P1D	115
Figura 70 - Curvas mestras de módulo dinâmico para as misturas recicladas (@ 20°C).....	117
Figura 71- Curvas mestras de módulo dinâmico nas baixas frequências para todas as misturas recicladas (@ 20°C).	118
Figura 72- Curvas mestras de ângulo de fase para misturas recicladas (@ 20°C)	119
Figura 73- Comparativo das curvas mestras desta pesquisa com as curvas mestras de Almeida Júnior (2016), Centofante (2016) e Bruxel (2015) @20°C.	120
Figura 74- Comparativo das curvas mestras log log desta pesquisa com Almeida Júnior (2016), Centofante (2016) e Bruxel (2015)	121
Figura 75- Comparativo de curvas mestras de ângulo de fase desta pesquisa com Almeida Júnior (2016), Centofante (2016) e Bruxel (2015).....	122
Figura 76 - Ensaio de FN para misturas sem cimento	123
Figura 77- Ensaio de FN para as misturas com cimento	124
Figura 78- Comparativo de FN com outros autores	125
Figura 79- Amostra 2% 1% rompida no ensaio de FN.....	126

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de Reciclagem.....	31
Tabela 2 - Critérios de seleção do processo de reciclagem a frio in situ.....	36
Tabela 3 - Ensaio realizado.....	53
Tabela 4 - Análise granométrica do fresado.....	55
Tabela 5- Resultados obtidos nos ensaios de extração de betume.....	56
Tabela 6- Resultado de densidade máxima teórica.....	57
Tabela 7 - Análise granulométrica do pó de pedra.....	58
Tabela 8 - Propriedades do material virgem aferidas em laboratório.....	59
Tabela 9 - Propriedades da emulsão aferida em laboratório.....	59
Tabela 10 - Ensaio de caracterização do CPV-ARI.....	61
Tabela 11 - Nomenclatura das misturas empregadas.....	62
Tabela 12- Granulometria da mistura proposta.....	64
Tabela 13 - Tempo mínimo recomendado de estabilização da temperatura das amostras a serem ensaiadas.....	79
Tabela 14- Coeficiente de variação de média das propriedades de FN.....	84
Tabela 15- Teores ótimos encontrados.....	86
Tabela 16- Resultados do ensaio de ISC.....	87
Tabela 17- Valores de RCS para as misturas ensaiadas.....	88
Tabela 18 - Valores de RT para as misturas ensaiadas.....	90
Tabela 19- Valores de MR.....	92
Tabela 20 - Resultados de deformação específica vertical no topo do revestimento para espessura de revestimento de 5 cm.	96
Tabela 21 - Resultados de deformação específica para espessura de revestimento de 10 cm.....	97
Tabela 22- Parâmetros do modelo 2S2P1D e valores de C1 e C2 para as misturas.....	113
Tabela 23- FN para todas as misturas propostas.....	123

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

2S2P1D - *2 Springs, 2 Parabolic, 1 Dashpot*
AASHTO - *American Association Of State Highway And Transportation Officials*
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEMC - Análise Elástica de Múltiplas Camadas
AR-75 - Agente Rejuvenescedor
ARE-75 - Agente de Reciclagem Emulsionado
ARRA - *Asphalt Recycling and Reclaimed Association*
ASTM - *American Society For Testing And Materials*
BGS - Brita Graduada Simples
CAP - Cimento Asfáltico de Petróleo
CAUQ - Concreto Asfáltico Usinado a Quente
CBR - *California Bearing Ratio*
DCP - *Dynamic Cone Penetrometer*
DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DOT - *Department Of Transport*
HMA - Hot-mix Asphalt
ESRD - Eixo Simples de Rodas Duplas
E* - Módulo Complexo
EUA - Estados Unidos da América
FN - *Flow Number*
ISC - Índice de Suporte Califórnia
LMCC - Laboratório de Materiais de Construção Civil
LVDT - *Linear Variable Differential Transducer*
MG - Minas Gerais
MR - Módulo de Resiliência
PCA - *Portland Cement Association*
RAP - *Reclaimed Asphalt Pavement*
RF - Reciclagem a Frio
RFUF - Reciclagem a Frio em Usina Fixa
RFI - Reciclagem a Frio *In situ*
RQI - Reciclagem a Quente *In situ*
RRS - Reciclagem e Recapeamento Simultâneos
RIC - Reciclagem Intermediária de Capa
RP - Reciclagem Profunda
RSC - Reciclagem Superficial de Capa
RCS - Resistência à Compressão Simples
RT - Resistência à Tração
RS - Rio Grande do Sul
Sispav - Método de Dimensionamento Mecânico - Empírico de Pavimentos Asfálticos
TTSP - *Time-Temperature Superposition Principle*
TRB - *Transportation Research Board*
UFMS - Universidade Federal de Santa Maria
ULBRA - Universidade Luterana do Brasil
USACE - *United States Army Corps of Engineers*
m - potência de tempo

φ - ângulo de fase
 E_0 - deformação instantânea
 ω - pulsação
K - expoente
h - expoente
 β - constante
 E_{00} - módulo estático
 E_0 - módulo em transição vítrea
 η - viscosidade Newtoniana
 τ - tempo característico
 ν_{00} - coeficiente de Poisson estático
 ν_0 - coeficiente de Poisson estático em transição vítrea
 E^* - Módulo complexo
 ν^* - coeficiente de Poisson
E1 - fração de armazenamento ou fração elástica do módulo complexo
E2 - fração de perda ou fração viscosa do módulo
 σ_R - resistência à tração
F - carga de ruptura
D - diâmetro do corpo de prova
H - Altura do corpo de prova
 t_i - fração de tempo entre os picos de tensão e deformação
 t_p - tempo de um ciclo de carga
i - número imaginário
 $\gamma_{dmáx}$ - Massa Específica Aparente
 $\mu\epsilon$ -microstrain
 ϵ_t - deformações específicas de tração
 ϵ_c - deformações específicas de compressão
MPa - Mega Pascal
kgf/cm² -quilograma força por centímetro quadrado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	25
1.1 OBJETIVO GERAL.....	26
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
2 REVISÃO DE LITERATURA	27
2.1 FRESAGEM DE PAVIMENTOS.....	27
2.2 RECICLAGEM DE PAVIMENTOS.....	30
2.2.1 Reciclagem a frio.....	33
2.2.2 Reciclagem a frio in situ.....	35
2.2.3 Reciclagem do revestimento asfáltico (Reciclagem Parcial).....	37
2.2.4 Reciclagem do revestimento Asfáltico e camadas granulares (Reciclagem total).....	38
2.3 ESTABILIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA.....	40
2.4 COMPORTAMENTO DE MATERIAIS.....	42
3 METODOLOGIA EXPERIMENTAL	51
3.1 MATERIAIS UTILIZADOS.....	53
3.1.1 Material Fresado.....	54
3.1.2 Material Virgem.....	57
3.1.3 Emulsão.....	59
3.1.4 CimentoPortland.....	60
3.1.5 Água.....	61
3.2 MISTURAS A FRIO EMPREGADAS.....	61
3.2.1 Granulometria da mistura.....	62
3.2.2 Ensaio de compactação para determinação do teor de umidade ótima das misturas.....	65
3.2.3 Moldagem e cura dos corpos de prova para ensaios mecânicos.....	69
3.3 MÉTODO DE ENSAIO.....	72
3.3.1 Ensaio de Compactação.....	73
3.3.2 Índice Suporte Califórnia.....	73
3.3.3 Resistência à Compressão Simples.....	74
3.3.4 Resistência à Tração por Compressão Diametral.....	75
3.3.5 Módulo de Resiliência.....	77
3.3.6 Módulo Complexo.....	79
3.3.7 Flow Number.....	81
4 RESULTADOS	85
4.1 COMPACTAÇÃO.....	85
4.2 ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA.....	86
4.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES.....	88
4.4 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL.....	90
4.5 MÓDULO DE RESILIÊNCIA.....	92
4.6 MÓDULO COMPLEXO.....	111
4.7 FLOW NUMBER.....	122
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	127
5.1 CONCLUSÕES.....	127
5.2 SUGESTÕES DE NOVOS TRABALHOS.....	129
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	130
APÊNDICES	142

1 INTRODUÇÃO

O pavimento é composto por camadas diferenciadas, fazendo com que os esforços que chegam ao subleito sejam suportados sem que ocorra sua deformação excessiva e ruptura. O número de camadas que irá compor o pavimento depende dos materiais disponíveis na região e do custo de implantação de cada tipo de técnica construtiva.

A grande deterioração da malha rodoviária brasileira, vivenciada pelos usuários, é oriunda de um conjunto de fatores. Podem-se elencar como componentes desse somatório: as elevadas solicitações, a idade dos pavimentos, o excesso de carga e a falta de manutenção no momento oportuno (DAVID, 2006). Ao mesmo tempo as condições ruins das rodovias estão associadas a várias patologias, dentre elas: deformações permanentes excessivas, fissuras de fadiga, retração térmica e desagregação. As duas primeiras estão relacionadas com o tráfego e a estrutura do pavimento, enquanto as últimas com as características dos materiais utilizados e as condições climáticas atuantes (SPECHT, 2004).

A melhoria das condições das vias é de extrema importância para a sociedade. Os procedimentos clássicos de concepção de rodovias utilizam variados métodos de construções com materiais virgens; são alternativas que funcionam, porém, com custo elevado quando comparadas a técnicas com reaproveitamento de materiais. Uma alternativa favorável à disposição dos resíduos originados nas técnicas de decapagem do revestimento é a utilização do próprio material fresado, na literatura internacional chamado de *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP), gerado em grandes volumes na manutenção de pavimentos.

Pode-se atribuir a valorização dessa técnica à pressão exercida pelos órgãos ambientais, pela destinação correta dos materiais de demolição, além do custo dos materiais virgens. Outro ponto positivo do reaproveitamento é a diminuição dos orçamentos de projetos de recuperação das rodovias brasileiras, que tornam a alternativa de reutilização do RAP interessante, desde que empregado de maneira correta.

Motivado pelo grande potencial do RAP como material de composição da mistura asfáltica buscou-se uma alternativa sem adição de calor ao processo de mistura. Assim propôs-se a estabilização granulométrica do RAP com agregado

virgem, tendo como estabilizadores físico-químicos o ligante hidráulico (cimento) e o betuminoso (emulsão asfáltica).

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo desse trabalho é estudar misturas de RAP, também denominado fresado, com adição de emulsão e cimento, com o intuito de verificar o comportamento dos materiais para emprego em camadas de base e sub-base de pavimentos. Desta forma, chamando atenção para um material nobre que é desprezado pelas empresas e órgãos públicos, sendo descartado e pouco reutilizado no Brasil.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Avaliar as propriedades das misturas e suas adequabilidades para o emprego em pavimentação a partir de ensaios de Laboratório (Índice de Suporte Califórnia (ISC), Resistência à compressão simples (RCS), Módulo de Resiliência (MR), Resistência à Tração (RT), Módulo dinâmico (IE*I) e Flow Number (FN));
- b) Analisar as misturas contendo diferentes teores de ligante emulsão asfáltica (2,0%, 3,0%, 4,0% e 5,0%) e cimento (1,0% e 0,0%);
- c) Analisar resultados positivos e negativos, indicando os possíveis potenciais de emprego da mistura;
- d) Avaliar estruturalmente um pavimento contendo as misturas estudadas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste Capítulo serão apresentados alguns assuntos pertinentes ao tema da dissertação, a fim de esclarecer alguns conceitos e justificar a relevância da reciclagem em pavimentação. Pretende-se uma melhor compressão do uso do RAP como agregado, evidenciando seu potencial como material para pavimentação, em um país com recursos escassos como o Brasil.

2.1 FRESAGEM DE PAVIMENTOS

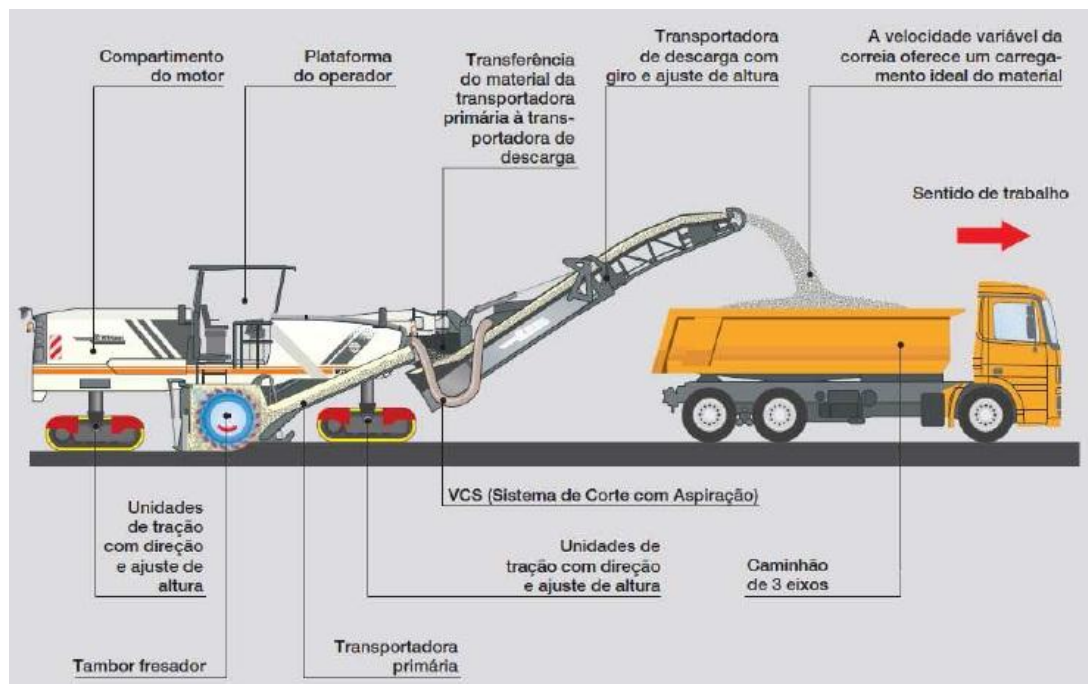
O princípio do processo de reciclagem passa pela fresa da camada de revestimento de um pavimento, promovendo a separação e ocasionando a formação do RAP, termo normalmente adotado para designar o material fresado de revestimentos asfálticos.

Segundo Bonfim (2007), a fresagem de pavimentos pode ser conceituada como um corte, de uma ou mais camadas do pavimento por meio de processo mecânico empregado como intervenção e, principalmente, visando à restauração do pavimento, como demonstra a Figura 1. A Figura 2 ilustra como o processo de fresa ocorre in situ, no qual o revestimento é escarificado e lançado no caminhão de transporte.

Figura 1 - Trecho fresado na BR – 392



Figura 2 - Operação de fresagem *in situ* de um equipamento de grande porte



Fonte: Wirtgen (2012)

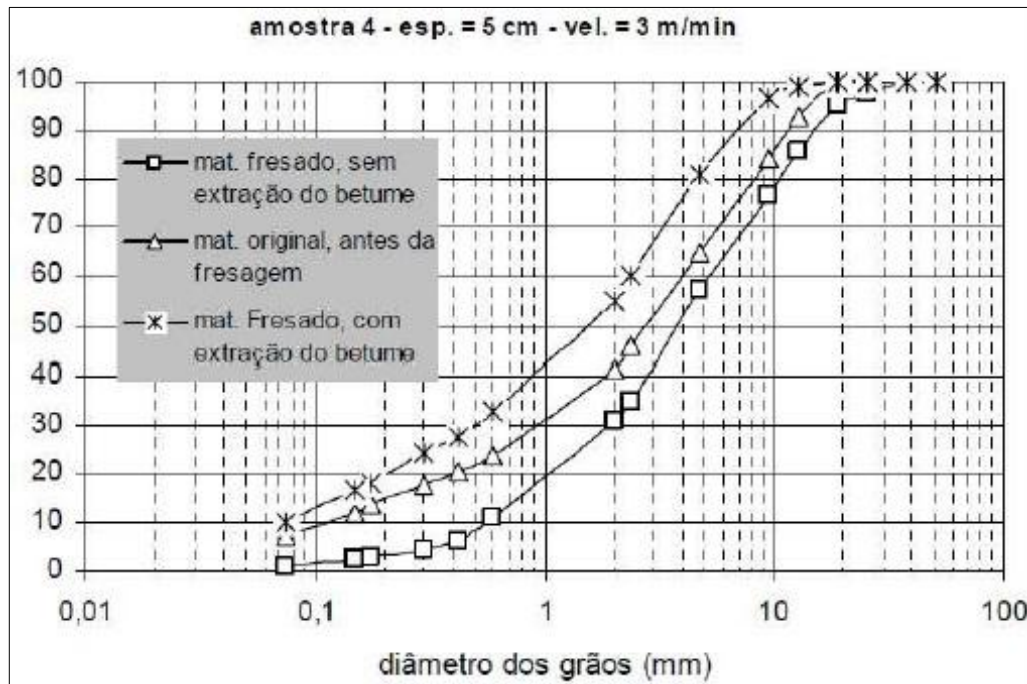
O Departamento de Transporte da Flórida (*Florida Department of Transportation*, 2001) constatou que as propriedades do RAP não se modificam com o aumento no tempo de estocagem, sendo que a tensão de ruptura, o módulo secante e coesão se mantêm constantes ao longo do tempo. Comprovando que o RAP pode ser adicionado as misturas asfálticas sem muitas restrições.

A fresagem para restauração originou equipamentos e processos específicos: “*cold milling machine*”, que efetua o desbaste da estrutura por meio simples abrasivo e rotação intensa, e processo a quente, que utiliza o pré-aquecimento da estrutura para facilitar o corte. Assim, a fresagem do pavimento pode ser realizada de duas maneiras quanto à temperatura, a frio ou a quente (BONFIM, 2010).

Balbo (2007) demonstra, através de estudos realizados com material fresado, que antes da extração da película de CAP o material apresenta menos de 20% de material com diâmetro inferior a 1 mm, que aumenta para mais de 50% após a extração do betume da mistura fresada. Queiroz (2011) também obteve resultados semelhantes, concluindo que o diâmetro máximo do material fresado, sem extração de betume, era 19,1 mm. Araújo (2004) ao observar resultados semelhantes

classificou o material como granular. Na Figura 3 pode-se observar as curvas encontradas para o RAP utilizado.

Figura 3 - Curvas granulométricas do material fresado



Fonte: Araújo, 2004 (modificado – Bonfim, 1999)

Estudos realizados na busca por uma destinação do material fresado levaram alguns autores a misturar este material com solos para aplicação em bases, sub-bases e reforços do subleito (ARAÚJO, 2004; QUEIROZ, 2011; PORTO, 2011). As pesquisas caracterizaram o material empregando tecnologia tradicional, e avaliaram a resistência mecânica das misturas pelo ensaio do ISC.

Porto *et. al.* (2011) afirma que a alteração na granulometria resulta em um aumento do peso específico aparente seco de misturas de solo com fresado, e a redução do teor de umidade ótima de compactação, à medida que se aumenta o teor de material fresado nas misturas. As misturas de fresado com agregado virgem, prática adotada nos Estados Unidos da América (EUA), onde já existem estudos que determinam o teor ideal de fresado a ser incorporado nessas misturas, em função da influência do fresado no comportamento mecânico (MCGARRAH, 2007).

Sachet *et. al.*(2008) apresenta um trabalho sobre o controle tecnológico de reciclagem de pavimentos a frio *in situ* de bases granulares. Aplicados em trechos no Estado do Rio Grande do Sul no ano de 2006, destaca-se a verificação do ISC *in*

situ através do uso do *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP). Os valores de ISC encontrados estão entre 63,52% e 73,40%, sendo consideradas aplicáveis em projetos com tráfego médio, ou seja, ISC maior que 60%. Os resultados obtidos mostraram-se satisfatórios para verificação da capacidade de suporte de bases granulares recicladas.

Pinto et al. (2012), apresentam uma forma de reutilização do material fresado em acostamentos de rodovias, como agente regulador e nivelador. O estudo realizado utilizou o material sem alterações ou adições de insumos. O material analisado apresentou Abrasão Los Angeles de 36,67% e ISC de 38%. Os resultados obtidos indicam que o agregado fresado não é propício para usar em base de pavimentos na faixa de rolamento, porém apresenta resultados bastante satisfatórios para reutilização nos acostamentos que recebe solicitações bem inferiores, devendo assim ponderar os locais de emprego e sua função estrutural.

2.2 RECICLAGEM DE PAVIMENTOS

A reciclagem de pavimentos consiste na reutilização, após processamento, dos materiais existentes no pavimento deteriorado. Toda ou parte da estrutura do pavimento existente pode ser reaproveitada para a construção de uma camada, incorporando ou não novos materiais.

O Asphalt Institute (1979), afirma que mesmo em locais de ocorrência abundante de agregados pétreos, a reciclagem é importante, uma vez que pode reduzir o custo devido ao transporte de materiais. A reciclagem também torna-se atrativa quando não há local adequado para depositar o material removido do pavimento deteriorado, principalmente, devido ao passivo ambiental e as restrições impostas pela legislação.

Motta et. al. (2002) relatam informações de execução de reciclagem com Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ) nos Estados Unidos da América no ano de 1915. David (2006) coloca que entre os anos de 1997 e 2000 foram executadas várias obras de reciclagem, entre elas a BR-381 (Rodovia Fernão Dias) que utilizou emulsão rejuvenescedora, a RS-040 (Viamão a Pinhal) que utilizou adição de espuma de asfalto e cimento e a SP-160 (Rodovia dos Imigrantes) que utilizou cal.

Segundo Dias (2004) em Belo horizonte, MG, os agregados reciclados foram utilizados em revestimento primário, reforço do subleito, sub-base e base de pavimentos. O autor estima que no período de 1996 até julho de 2001 utilizaram-se 136.940 toneladas de material em 271 vias implantadas ou reconstituídas, totalizando 400 km de pavimento.

Moreira et al. (2006), afirma que utilizar o material fresado em camadas novas consiste na reutilização desse resíduo a fim de obter um valor econômico reduzido, aumentar a capacidade de carga, reduzir o consumo de materiais novos e proteger o meio ambiente. Ainda, é importante ressaltar que a qualidade dos constituintes do material fresado influencia diretamente no comportamento da mistura.

BONFIM (2001) apresenta uma classificação mais abrangente para as reciclagens, quanto aos materiais, local de processamentos, material, profundidade de corte, tipo de mistura e adições. A Tabela 1 demonstra essa classificação.

Tabela 1 - Tipos de Reciclagem

Quanto à geometria original	Sem modificação	Quando se mantêm as cotas do greide
	Com modificação	
Quanto ao local de Processamento	Em usina	Fixa ou móvel, a quente ou a frio
	"In situ"	
	Mista	"in situ" da reciclagem base e aplicação de reciclagem a quente, processada em usina com material fresado
Quanto à fresagem do Material	A frio	Realizada na temperatura Ambiente
	A quente	Realizada com pré-aquecimento do pavimento
Quanto à profundidade do Corte	Superficial	Somente da camada de Revestimento
	Profunda	Camada de revestimento, base e até sub-base
Quanto à mistura reciclada	Mistura a frio	PMF
	Mistura a quente	CBUQ, PMQ
Quanto ao uso da mistura	Como base reciclada	
	Como camada de ligação	
	Como revestimento	
Quanto aos materiais adicionados	Agregados	Correção granulométrica
	Cimento Portland e Cal	Aumento da Capacidade Estrutural
	Emulsão especial, CAP, Polímeros	Rejuvenescimento
	Misturas asfálticas	Adição de material fresado

Fonte: Bonfim (2001)

A *Asphalt Recycling and Reclaimed Association* (ARRA, 2001) também apresenta variadas subcategorias para definir melhor a especificidade da reciclagem de pavimentos asfálticos sendo:

- a) Reciclagem a Quente *In situ* – RQI
 - a. Reciclagem Superficial de Capa – RSC (Surface Recycling);
 - b. Reciclagem Intermediária de Capa – RIC (Remixing);
 - c. Reciclagem e Recapeamento Simultâneos – RRS (Repaving).
- b) Reciclagem a Frio – RF
 - a. Reciclagem a Frio *In situ* – RFI;
 - b. Reciclagem a Frio em Usina Fixa – RFUF.
- c) Reciclagem Profunda – RP
 - a. Trituração;
 - b. Estabilização Mecânica;
 - c. Estabilização Betuminosa;
 - d. Estabilização Química.

As especificações para execução de reciclagem variam de acordo com a subcategoria em que se enquadra. A reciclagem quente tem-se a adição de calor ao processo elevando a temperatura do ligante e agregado, a frio o processo usa variados aglomerantes que não necessitam de calor e a reciclagem profunda, como o nome sugere, é mais severa transformando a estrutura antiga em uma camada única que servirá como base para uma camada de revestimento asfáltico novo.

O manual de restauração do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2006) coloca algumas vantagens da utilização de reciclagem no lugar de materiais virgens. Podem-se citar alguns benefícios como:

- a) Conservação dos agregados, ligantes e energia: propiciam uma diminuição de demandas de novos materiais;
- b) Preservação do meio-ambiente: como não necessita de materiais novos, as jazidas de materiais são preservadas e bota-foras são minimizados;
- c) Restauração das condições geométricas existentes: características geométricas mantidas ou modificadas facilmente.

A UFSC monitora o trecho estudado por Trichês (2011) na Rodovia SC-303 (BR-282 - Joaçaba a Capinzal) desde 2007, a fim de dar subsídios aos consultores, construtores e gestores em novos projetos de restauração de rodovias que contemplem esta tecnologia. Em 2010 foi realizado um levantamento das condições

superficiais do pavimento onde se encontrou aproximadamente 3,5% de patologias referentes ao desempenho da reciclagem. 84,0% das seções não apresentam qualquer tipo de patologia, as patologias predominam no lado direito da rodovia indicando assim um tráfego mais pesado nesta direção.

Paiva e Oliveira (2014) desenvolveu uma investigação de laboratório usando duas amostras de fresado, uma com ligante convencional e outra com asfalto borracha para avaliar a resistência à fadiga destes materiais reciclados estabilizados com 3,0% em peso de cimento. Os materiais testados sofreram influência do percentual de asfalto fresado e do nível de atividade do CAP na resistência à fadiga. Os autores finalizam que materiais reciclados do pavimento com percentuais de RAP de borracha acima de 30,0% em peso são prejudiciais ao comportamento da camada reciclada. De igual modo se deve fazer o mesmo para pavimentos com características similares ao fresado de ligante convencional, cujo percentual máximo de RAP seria de 50,0% em peso.

Rowe *et. al.* (2015) estudaram a utilização do RAP em um trecho em Fort Wayne, Indiana, através da comparação entre uma estrutura de referência e uma estrutura nova reciclada. Também coloca o interesse dos EUA na utilização de altas porcentagens de RAP na reabilitação de pavimentos, ou seja, valores superiores a 70%. As porcentagens de utilização do RAP variam de estado para estado e são especificadas pelo Departamento de Transportes (*DOT – Department Of Transport*).

Zubaran e Motta (2015) apresentaram a comparação de misturas recicladas produzidas em laboratório e sua comparação com amostras retiradas de trechos de reabilitação. As misturas recicladas mornas com adição de rejuvenescedor AR-75, possuíram adições de RAP de 30,0% e 50,0%, e foram implantadas em trechos no Rio de Janeiro. Os resultados mostraram um decréscimo nos ensaio de RT e MR nas misturas coletados no campo com as produzidas em laboratório. Também constatou que as misturas com fresado foram menos susceptíveis as ações da água. O ensaio de FN demonstrou um aumento da resistência ao cisalhamento das misturas, ficando mais evidente na proporção de 50%.

2.2.1 Reciclagem a frio

Reciclagem a frio é o procedimento aplicado para recuperar e reutilizar o material de um pavimento existente, sem a utilização do calor como artifício para

realização do trabalho. O campo da reciclagem a frio abrange alguns tipos de aplicações, como para camadas relativamente finas, constituídas principalmente de material asfáltico (reciclagem a frio *in situ*). (WIRTGEN, 2012).

Comparando o processo de reflexão de trincas entre misturas a quente e a frio, as de baixa temperatura apresentam melhor absorção das tensões oriundas do processo. Segundo Davidson *et. al.* (2004), as misturas recicladas a frio têm propriedades mecânicas que diferem significativamente das misturas asfálticas convencionais a quentes.

A pasta formada por emulsão asfáltica e cimento pode apresentar relações variadas. Hu *et al.* (2009) estudaram pastas de cimento e emulsão asfáltica e concluiu que os efeitos benéficos da mistura de cimento e emulsão são ressaltados quando a relação cimento/emulsão, em massa, não excede 62,5%. Du (2014) afirma que as reações de hidratação do cimento podem ser prejudicadas pelo envolvimento das partículas de cimento pelas partículas de asfalto presente na emulsão.

Rosa *et. al.* (2007) pesquisou formas de reciclagem para implantação do trevo do Riacho Grande situado no km 29+422 da SP-150, via Anchieta, em São Bernardo do Campo em São Paulo em 2006. Na pesquisa foram propostas quatro misturas: a amostra 1 (somente fresado), a amostra 3 (65,0% de fresado, 10,0% de brita 1, 10,0% de pó-de-pedra e 5,0% de cimento), a amostra 4 (95,0% de material fresado e 5,0% de cimento) e amostra 5 (97,0% de fresado com 3,0% de cimento). As amostras foram submetidas a ensaios de compactação, módulo de resiliência e resistência à tração por compressão diametral.

Apresentaram ainda valores de MR para as amostras 1, 3, 4 e 5, respectivamente, 5500 à 10000 kgf/cm², 35000 à 40000 kgf/cm², 35000 à 40000 kgf/cm² e 25000 a 30000 kgf/cm². Para o Ensaio de RT das amostras 3, 4 e 5 apresentaram os seguintes resultados, respectivamente, 1,5 kgf/cm² (aos 3 dias) e 3,5 kgf/cm² aos (7 dias), 1 kgf/cm² (aos 3 dias) e 2,0 kgf/cm² aos (7 dias), 1 kgf/cm² (aos 3 dias) e 1 kgf/cm² aos (7 dias). A mistura escolhida para as simulações de reforço foi a amostra 3 que apresentou Resistência a compressão aos 7 dias de 3,02 MPa e aos 28 dias 4,78 MPa. Por fim concluiu que o material fresado tem bom comportamento em variadas condições climáticas, diminui o passivo ambiental com a supressão de depósitos e uma redução no custo, em relação a solução inicial, da ordem de 34,0%.

Bessa et al. (2014) apresentam um trabalho voltado à técnica de reciclagem à frio na reutilização do material fresado. Foi adotada compactação Marshall para confecção das amostras, utilizando 2, 3 e 4% de emulsão asfáltica, ainda acrescidos 3% de água e 1% de cimento. Os autores realizaram ensaio de MR e RT, verificaram também a resistência ao dano por umidade induzida das amostras com teores variáveis de emulsão. Os resultados apresentados mostram que o aumento no teor de emulsão levou a uma pequena queda nos valores de MR e a um aumento nos valores de RT. O ensaio de dano por umidade revela maiores perdas em suas propriedades nas amostras com maior teor de emulsão asfáltica. Concluiu ainda que a variação do tipo e do teor dos ligantes hidráulicos não apresentou variações significativas nos resultados mecânicos.

2.2.2 Reciclagem a frio *in situ*

Nunn *et. al.* (2005) destaca a importância de se usar um “Guia de Projeto Inteligente”, o qual apresenta os vários estágios da reciclagem: avaliação do local, avaliação da adequação da reciclagem a frio, avaliação da capacidade de suporte do pavimento para reciclagem profunda, avaliação da adequação para materiais do pavimento existente, avaliação de riscos, riscos com o projeto do pavimento, riscos no projeto da mistura e riscos de construção.

De acordo com a ARRA (1997), entre os métodos de reciclagem a frio, destacam-se a reciclagem a frio *in situ*, que pode ser efetuada de duas formas: com profundidade total (*full depth*), ou profundidade parcial do revestimento asfáltico. A Tabela 2 traz recomendações da utilização destes processos de reciclagem.

Tabela 2 - Critérios de seleção do processo de reciclagem a frio *in situ*

Não se recomenda quando houver:
Problemas de subleito
Incompatibilidade ao volume de tráfego
Falta de adesividade
Excesso de ligante
Condições severas de frio e umidade
Espessuras de revestimentos inferiores a 4 cm
Recomenda-se quando houver:
Trincamento
Compatibilidade ao volume de tráfego
Irregularidade superficial
Necessidade de camada de binder ou base no caso de recapeamento
Necessidade de reabilitação seletiva por faixa de rolamento
Falta de agregados virgens na região

Fonte: ROGGE et al., 1993 apud DAVID, 2006

No Brasil casos como o do aeroporto de Pouso Alegre, MG, que estudou a viabilidade econômica de se utilizar reciclagem a frio *in situ* para a sua restauração, comprova que essas técnicas trazem vantagens ambientais devido ao reuso de materiais existentes, prevenindo assim, as detonações, diminuindo a distância de transporte e neste caso específico apresentando uma redução de 27% no valor da obra em relação ao projeto inicial que utilizaria as técnicas convencionais de restauração de pavimentos (FILHO, 2005).

Miranda Jr. e da Silva (2000) relata sobre a reciclagem de uma camada betuminosa como sub-base estabilizada com cimento na BR 381. Esta foi realizada *in situ* com a necessidade de correção da camada granulométrica através da adição de 5% de pó-de-pedra. Em laboratório foram ensaiadas amostras com teores de cimento de 3%, 3,5%, 4,0%, 4,5% à compressão simples aos 7 dias, obtendo-se os seguintes resultados, respectivamente, 3,25 MPa, 3,56 MPa, 4,47 MPa e 5,38 MPa. O teor ótimo de cimento para o projeto de 3,9% foi corrigido para 4,2% por questões de segurança na execução dos serviços. Concluiu que a execução de camadas recicladas possui velocidade interessante quando comparada aos métodos tradicionais, que o custo de produção é menor quando comparado aos projetos usuais salvo raras exceções, a utilização de materiais virgens é menor que nos

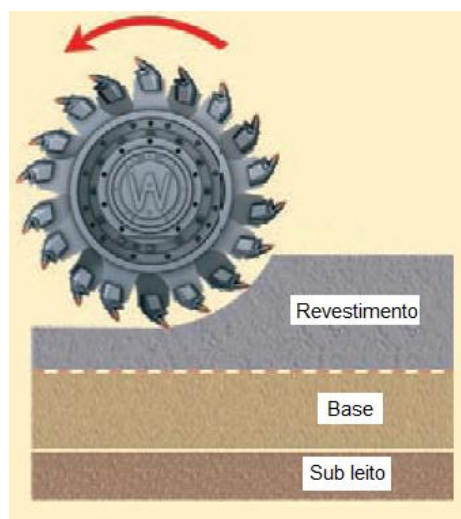
projetos corriqueiros e que a camada reciclada atendeu todos os parâmetros especificados no projeto (RCS mínima aos 7 dias = 4,41 MPa).

2.2.3 Reciclagem do revestimento asfáltico (Reciclagem Parcial)

O problema de fissuração e reflexão de trincas deve ser considerado na construção de novos pavimentos e manutenções. Em se tratando de manutenção e reabilitação é necessária a verificação da espessura a se corrigir, identificando suas deficiências. A reflexão de trincas pode afetar adversamente a integridade estrutural ea qualidade do pavimento. De acordo com o nível de degradação das camadas é definida qual técnica será empregada à reciclagem total ou parcial.

A reciclagem parcial é um sistema utilizado para substituição do revestimento deteriorado por uma nova camada, composta por agregados gerados a partir da fresa do mesmo adicionado de agentes aglomerantes, sem prejudicar a base ou subleito. Geralmente é realizada na profundidade de 75 a 100 mm, para produzir uma camada de base em rodovias com tráfego médio baixo (HALL *et. al.*, 2001; KHANDHAL; MALLICK,1997). Já *United States Army Corps of Engineers (USACE, 2005)*, afirma que os limites da técnica são maiores variando entre 50 a 100 mm. A Figura 4 mostra a fresa do revestimento deteriorado para composição de uma nova camada de base.

Figura 4 - Retirada do revestimento para execução de camada nova



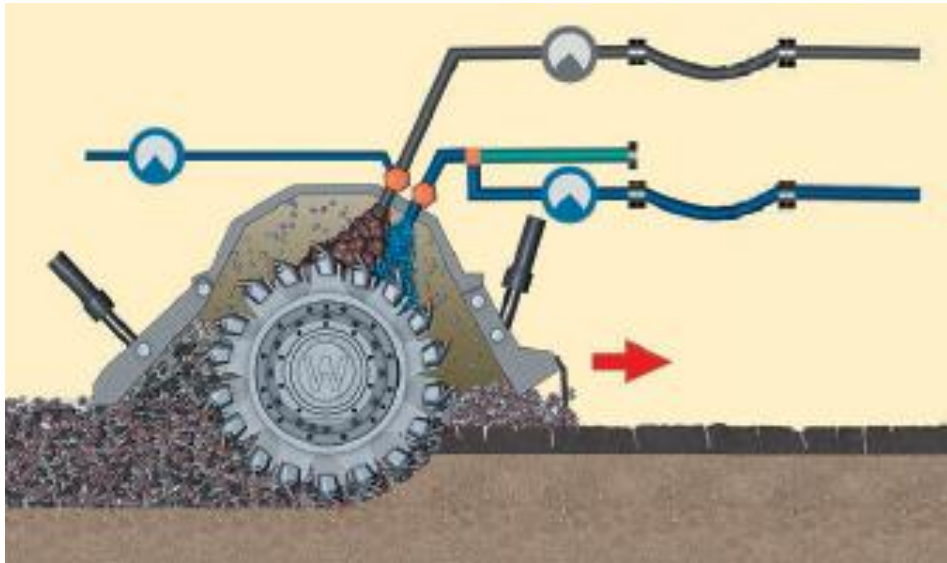
Pereira (2011) estudou a utilização do RAP de 70,0%, 80,0% e 90,0% em misturas a quente utilizando CAP 50/70 e agente rejuvenescedor (AR-75) com porcentagens de 15,0% e 30,0%. As adições de rejuvenescimento com 15,0% apresentaram maior rigidez crescente com o aumento do teor de RAP. Com adição de 30,0% de AR-75 também ocorreu acréscimo de rigidez, mas os valores se aproximaram da Faixa C do DNIT sem adição de RAP.

2.2.4 Reciclagem do revestimento Asfáltico e camadas granulares (Reciclagem total)

A reciclagem profunda objetiva a obtenção de uma base estabilizada. Pode ser aplicado em rodovias com grau de degradação elevado, ou seja, quando as trincas estão presentes desde a base até o revestimento. A técnica consiste na fresa do material e posterior homogeneização do revestimento antigo, da base, com adição de aglomerantes frios ou quentes.

O processo pode ser aplicado com profundidade de 100 a 300 mm, conforme coloca Kandhal e Mallick (1997). As experiências práticas registram que o valor máximo a ser atingido não supera 25 mm, conforme WIRTGEN (2004). Segundo a PCA a técnica origina uma nova base estabilizada que será mais rígida, uniforme e resistente à umidade se comparada a base original, resultando em uma camada com maior durabilidade e com menores esforços de manutenção. A Figura 5 apresenta o processo *in situ* com aplicação de espuma de asfalto

Figura 5 - Reciclagem profunda *in situ* com aplicação de espuma de asfalto

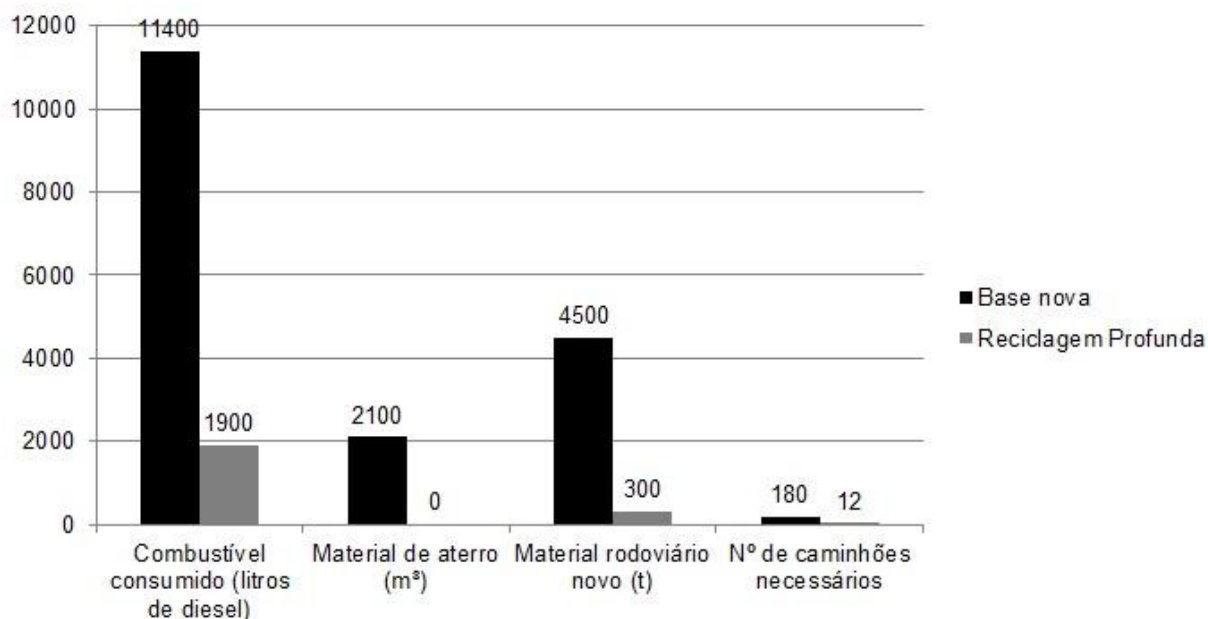


Fonte: Wirtgen (2012)

Lorena (2009) avaliou o desempenho de uma reciclagem a frio com adição de cimento na SC 303, trecho BR-282. A adição de cimento variou entre 3,0% e 4,0% e a correção granulométrica foi estabelecida com adição entre 10,0% e 15,0%, de agregados reciclados por agregados novos. Verificou que houve um decréscimo nos valores das deflexões nas simulações com camada reciclada, da ordem de 57%.

A *Portland Cement Association* (PCA, 2013) aponta que os custos deste tipo de reciclagem são normalmente de 25% a 50% menores do que a alternativa convencional de restauração que contemplam serviços de fresagem e recomposição do revestimento existente e posterior aplicação de camadas de reforço em concreto asfáltico. A Figura 6 mostra um comparativo entre o uso de energia e materiais entre a alternativa da implantação de nova base e de base reciclada em uma rodovia de 1,6 km de extensão, largura total de 7,3 m com duas faixas de tráfego e espessura de 15 cm de base.

Figura 6 - Comparativo de construção de base nova e reciclagem profunda.



Fonte: Adaptado de PCA (2013)

2.3 ESTABILIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

A reciclagem de base e sub-base com estabilizantes químicos é uma técnica que tem espaço no Brasil. O cimento adicionado em misturas asfálticas melhora as propriedades como susceptibilidade térmica e umidade, MR e a deformação permanente (Oruc *et. al.* 2006).

Araújo *et. al.*(2004) também observaram, em ensaios de MR, que a incorporação do RAP produz misturas com maior rigidez e resistência, sobretudo quando adicionado 2,0% de cimento Portland para estabilização química da mistura. Através de ensaios de compressão simples, estes autores observaram que a porcentagem de 25,0% de RAP foi considerada ótima pois ajuda na estabilidade da mistura (cascalho laterítico de base e fresado asfáltico) conferindo maior rigidez e resistência.

Pires (2014) pesquisou a utilização de RAP, na proporção de 70,0% do total da matriz pétreia, em misturas para camadas de pavimentos, com adição de casca de arroz e cimento. As misturas propostas pelo autor não possuem adição de calor, desta forma, tornou os resultados obtidos mais relevantes quanto ao custo e técnica de produção. Os ensaios de RCS, RT e MR, comprovando que os estudos com RAP corroboram para sua utilização.

Conforme Santana (1993) e DNER (1996), as emulsões catiônicas são as mais utilizadas no Brasil, porque aqui predominam os agregados eletronegativos (quartzito, areias quartzosas, granito, gnaisse, arenito, entre outros), mas também porque estas emulsões apresentam boa adesividade com agregados eletropositivos (basalto, calcário, diabásio, etc).

O projeto pioneiro de reciclagem foi desenvolvido na Malásia em 1985. Em dezembro de 1988, o segundo trabalho com reciclagem a frio *in situ* foi dirigido pela Federal Trunk Road entre Pagar Sasak e Merapoh, no estado de Pahang, envolvendo 55 Km de extensão. O projeto levou quase dois anos para ser terminado, mas passados 12 anos de sua conclusão o pavimento ainda apresentava um excelente desempenho (SUFIAN et. al, 2005).

David (2006) realizou um estudo de laboratório utilizando emulsão e agente de reciclagem emulsionado em misturas asfálticas recicladas a frio com o intuito de verificar o comportamento mecânico da mistura para a utilização em base na recuperação de pavimentos. Como insumos, foram utilizados emulsão asfáltica catiônica de ruptura lenta RL-1C e agente de reciclagem emulsionado ARE-75 adicionados de diferentes formas. Os resultados mostraram que a emulsão asfáltica pode ser um ótimo elemento a ser empregado para estes serviços.

A combinação de emulsão e cimento no processo de reciclagem proposto por essa pesquisa visa com a incorporação de ligante asfáltico melhorar a coesão dos agregados da mistura e seu comportamento frágil quando apenas cimentada. A adição de cimento visa aumentar a rigidez do RAP e o envolvimento do mesmo pela emulsão asfáltica.

Yan (2008) estudou misturas com 85,0% RAP e 15,0% de agregado virgem. Também foi adicionado porcentagens de cimento de 1,0%, 1,5% e 2,0%. Variou também as porcentagens de emulsão em seu estudo entre 2,0% e 5,0%. Logo foram pesquisadas 12 misturas. Na avaliação, a mistura com 3,5% de emulsão e 1,5% de cimento obteve melhor desempenho nas propriedades estudadas. Além disso, avaliou as misturas com emulsão, cimento e emulsão cimento no microscópio de varredura. Através da avaliação das imagens pôde observar uma melhor cobertura do RAP com o emprego do cimento.

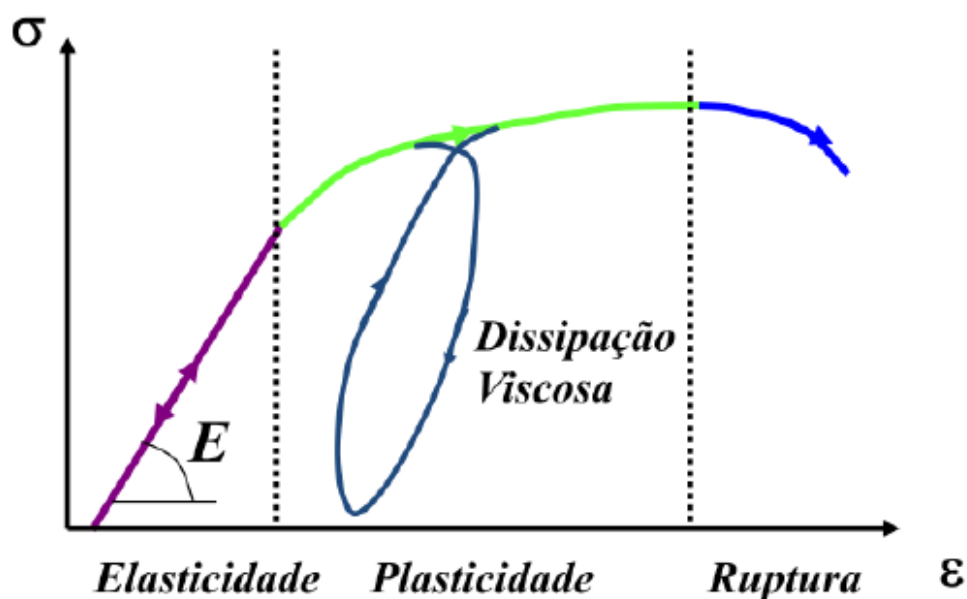
2.4 COMPORTAMENTO DE MATERIAIS

Devido a mudança de comportamento dos materiais utilizados na pesquisa com a variação da temperatura. Criou-se esse capítulo que discorre brevemente sobre as mudanças as quais se submetem as misturas estudadas. Assim pode-se entender melhor as mudanças que ocorrem com a variação de temperatura.

Os materiais utilizados na prática de engenharia têm variadas propriedades e características possuindo capacidade de se deformar, alguns muito (borrachas, silicone e poliuretano) já outros não admitem nenhuma ou muito pequena parcela de deformação (concreto, aço e rocha). Alguns deles apresentam comportamentos diferentes dependendo das tensões a que são submetidos. Essas propriedades podem ou não ser afetadas pelas condições ambientais a que o material está submetido.

Através de um diagrama tensão-deformação, apresentado na Figura 7, pode-se observar várias etapas e a mudança da relação que se estabelece entre tensão atuante e deformação. Desta forma fica mais claro o entendimento do que acontece com os materiais quando estão sendo solicitados.

Figura 7 - Diagrama tensão-deformação genérico



Fonte: Adaptado de Babadopoulus(2014)

A primeira região do digrama demonstra uma proporcionalidade entre tensão e deformação apresentando o comportamento elástico, ou seja, toda forma de energia acumulada pela deformação do material não ocasiona dano permanente. Nos casos mais comuns da utilização de materiais em engenharia, a teoria da elasticidade, ou seja, a Lei de Hooke equaciona de forma bastante simplificada, sem levar em consideração o tempo na caracterização da deformação do material.

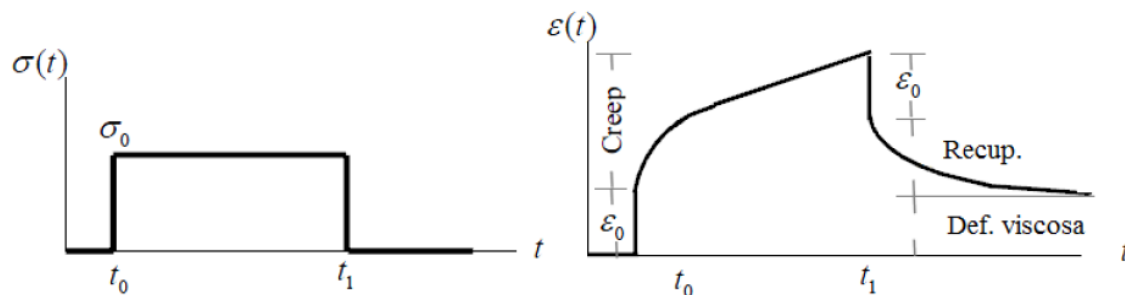
Na segunda parte observa-se que a deformação segue aumentando, mas já não há linearidade e proporcionalidade com a tensão a qual é submetido o material. Sendo esta região chamada de plasticidade, onde fica evidente que o material estudado não consegue retornar ao estado original por completo. Já a terceira região, o material é levado ao rompimento total, conhecida por zona de ruptura.

Outro comportamento muito importante para a pavimentação é a viscosidade linear onde o material dissipa a energia acumulada sem que haja deformação permanente. Assim a tensão está ligada à taxa de deformação pela lei de proporcionalidade linear relacionada ao coeficiente de viscosidade η . Ambos os comportamentos citados (elasticidade e plasticidade) desconsideram uma parcela muito importante do comportamento dos materiais asfálticos.

As misturas asfálticas não possuem a capacidade de armazenar e nem de dissipar totalmente a energia que lhes é fornecida, sendo mais bem representadas por modelos diferenciados de Elasticidade (mola) e Viscosidade (amortecedor). Os materiais Viscoelásticos possuem características de materiais elásticos e viscosos, onde a deformação depende do tempo.

A Figura 8 apresenta de forma bastante clara a diferenciação entre materiais viscoelásticos quando submetidos à tensão constante. Segundo Woldekidan (2011) ocorre uma deformação (E_0) instantânea. Mantendo-se constante a tensão, por um período maior, nota-se um aumento do tempo linear a deformação. Logo que o carregamento é cessado há uma recuperação instantânea elástica e uma parcela de recuperação mais lenta. A parcela faltante de recuperação é chamada de deformação viscosa.

Figura 8 - Resposta de um material viscoelásticos sob tensão controlada



Fonte: Woldekidan, 2011

Os materiais asfálticos apresentam comportamento viscoelástico linear quando submetidos a pequenas deformações. A linearidade se dá quando desconsideram-se os efeitos do tempo, assim torna-se proporcional a relação tensão deformação do material (Bahia et al. 1999). A Figura 9 demonstra as deformações causadas por um veículo quando este está rolando sobre a pista. Nela pode-se observar que as camadas sofrem compressão (nas bordas da roda) e tração (embaixo da roda) tanto no sentido longitudinal quanto transversal.

Figura 9 - Estrutura de camadas deformando com a passagem de uma carga móvel

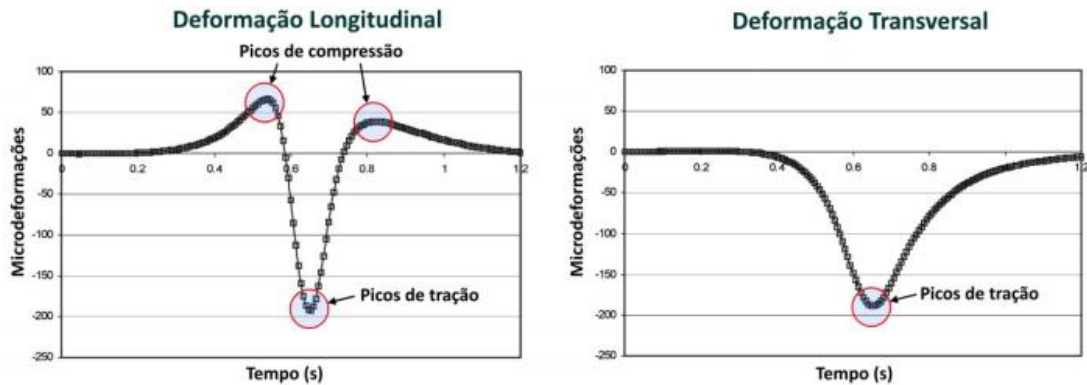


Fonte: Perret, 2003

Segundo Perret (2003) as deformações obtidas por sensores longitudinais demonstram picos nas extremidades aonde há compressão e nenhuma simetria entre o começo e o final da curva longitudinal assim confirmando o comportamento viscoelástico das misturas para pavimentação. As leituras diferem o tipo de

deformação quanto à região de aplicação da carga entre tração e compressão, tanto na curva de medição transversal quanto na longitudinal conforme a Figura 10.

Figura 10 - Deformação embaixo da camada de carregamento.



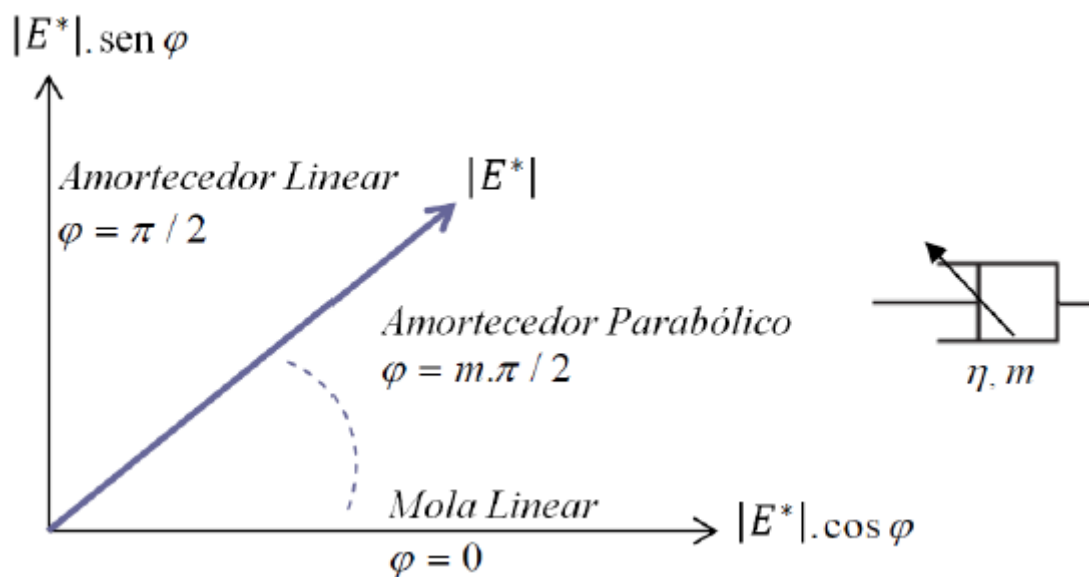
Fonte: Perret, 2003

Pode-se concluir que a reprodução dos carregamentos e das deformações de campo em laboratório restringem de maneira muito grande as condições que os pavimentos estão submetidos.

As modelagens baseadas na teoria da elasticidade e viscosidade limitam demasiadamente as condições de campo. Deixando de considerar temperatura, variação de carga e recuperação da deformação da mistura. Sendo assim é necessário utilizar modelos matemáticos que se aproximem das variáveis reais, como por exemplo, o 2S2P1D (*2 Springs, 2 Parabolic, 1 Dashpot*) desenvolvido por Di Benedetto *et. al.*(2004).

O modelo foi desenvolvido para simulação de propriedades viscoelásticas lineares tanto de ligantes quanto de misturas asfálticas. Para a melhor compreensão do modelo é necessário o entendimento do elemento parabólico inserido na criação do 2S2P1D apresentado na Figura 11 que demonstra a resposta de um elemento parabólico, podendo-se observar na representação esquemática um amortecedor cortado por uma seta inclinada.

Figura 11- Interpretação da resposta de um amortecedor parabólico



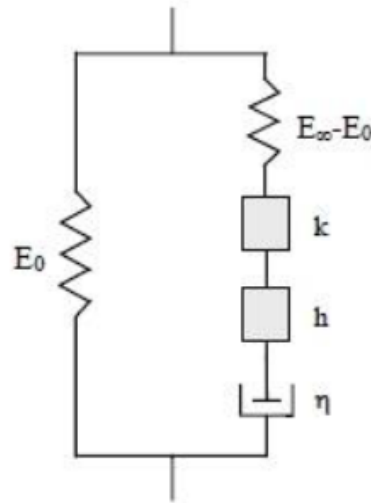
Fonte: Adaptado de Woldekidan (2011)

A constante m (potência de tempo) altera a forma como o elemento parabólico trabalha no sistema. Pode-se optar por um amortecedor linear ($m = 1$), uma mola linear ($m = 0$) ou um elemento viscoelástico linear, onde seu ângulo de fase (φ) depende apenas de m ($\varphi = m \cdot \pi / 2$). Tornando o elemento parabólico versátil.

Di Benedetto *et. al.* (2004) experimentaram variadas misturas a fim de compreender o comportamento viscoelástico linear das misturas betuminosas. Caracterizaram as misturas através da interpretação dos testes de módulo complexo, em temperaturas e frequências variadas, que forneceram dados para utilização do modelo 2S2P1D desenvolvido pelos autores.

O modelo 2S2P1D utiliza uma generalização do modelo análogo Heut-Savegh, onde há uma adaptação devido ao acréscimo de um amortecedor linear em série com dois elementos parabólicos e uma mola de rigidez. A Figura 12 representa o sistema descrito.

Figura 12 - Representação do modelo 2S2P1D



O modelo 2S2P1D possui parâmetros de calibração para representação correta do comportamento viscoelástico do material em termos de módulo, ângulo de fase e coeficiente de Poisson para temperatura e frequência de carregamento variado. O módulo (E^*) e o coeficiente de Poisson (ν^*) complexos são demonstrados pelas Equação 1 e Equação 2.

$$E^*(\omega) = E_{00} \frac{E_0 - E_{00}}{1 + \delta(j\omega\tau)^{-k} + (j\omega\tau)^{-h} + (j\omega\beta\tau)^{-1}} \quad (1)$$

$$\nu^*(\omega) = \nu_{00} + (\nu_0 - \nu_{00}) \frac{E^*(\omega) - E_{00}}{E_0 - E_{00}} \quad (2)$$

Onde:

ω = pulsação, $\omega=2\pi f$ (sendo f a frequência)

k, h = expoentes, $0 < k < h < 1$, β = constante

E_{00} = módulo estático $\omega \rightarrow 0$

E_0 = módulo em transição vítrea $\omega \rightarrow \infty$

η = viscosidade Newtoniana, $\eta = (E_0 - E_{00}) \beta \tau$

τ = tempo característico, o qual varia com a temperatura T , $\tau(T) = a_T(T) \tau_0$ onde $\tau_0 = \tau(T_{ref})$ é determinado na temperatura de referência

ν_{00} = coeficiente de Poisson estático, $\omega \rightarrow 0$

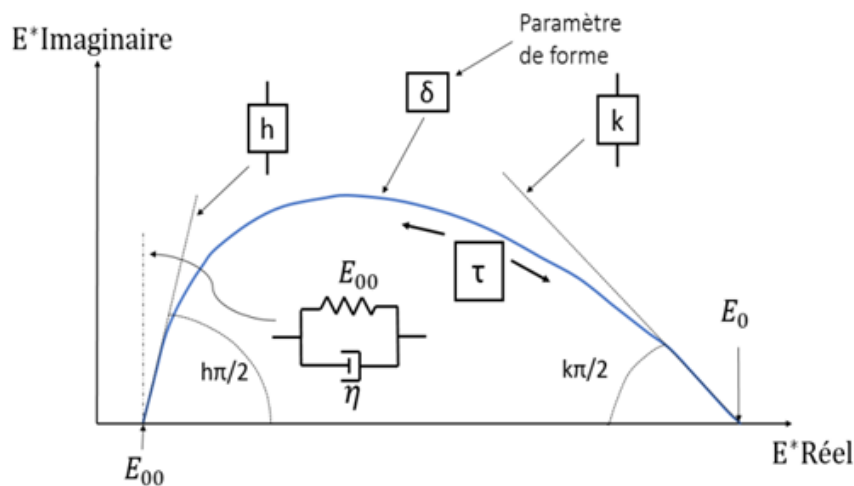
ν_0 = coeficiente de Poisson estático em transição vítrea, $\omega \rightarrow \infty$

Há também duas constantes C1 e C2, responsáveis pela translação, como é demonstrado na Equação 3.

$$\log(a_T) = -\frac{C_1(T - T_{ref})}{C_2 + T - T_{ref}} \quad (3)$$

O modelo 2S2P1D permite, conforme Orland *et. al.*(2003), melhorar a aproximação das simulações com as curvas reais, encontradas através dos dados colhidos durante a realização de testes em laboratório. Após a inserção dos resultados no 2S2P1D são geradas e ajustadas as curvas no plano Cole-Cole, diagrama de Black, curva metra de módulo dinâmico e ângulo de fase. O Cole-Cole é a representação dos dados colhidos em escala aritmética de E1 (parte real) juntamente com E2 (perda)ou parte imaginária, dando origem a uma curva na forma de semicírculo, conforme a Figura 13.

Figura 13- Representação do modelo 2S2P1D no plano Cole-Cole



Fonte: Orland *et. al.* (2003)

Os valores de ângulo de fase e módulo dinâmico dão origem ao diagrama de Black. Este permite compreender as mudanças no comportamento do material em diferentes temperaturas, relacionando o módulo dinâmico e o ângulo de fase.

São geradas duas curvas mestras, uma de ângulo de fase que proporciona a verificação do comportamento viscoso do material em diferentes temperaturas e

frequências. É uma de módulo dinâmico que permite a análise da variação do módulo em variadas temperaturas e frequências.

Basueny et al. (2015) realizaram a avaliação de misturas a quente com 15,0%, 25,0% e 40,0% de RAP misturados com agregado virgem e ligante asfáltico. Constataram que as misturas com adição de fresado apresentaram maior rigidez ou próximas aos resultados da mistura de referência confeccionada com materiais virgens. Também compararam as misturas após sua modelagem no 2S2P1D, constatando que as misturas com RAP aumentaram a rigidez da mistura, mas não de forma linear, obtendo os melhores resultados para mistura com 25,0% de RAP.

Almeida Júnior (2016) estudou a influência do método de dosagem Superpave comparado ao Marshall para dosagem de revestimento asfáltico a quente. Ainda, verificou a influência do método Bailey na composição de suas misturas, e a alteração quanto ao tipo de ligante utilizado para dosagem: CAP 50-70 e o CAP modificado 60-85. Para que fosse possível uma análise correta do comportamento das misturas utilizou o ensaio de Módulo E^* aferindo dados para inserção no modelo 2S2P1D, que faz uma ótima aproximação das condições encontradas no campo.

Centofante (2016) também modelou os resultados obtidos para o teste E^* no 2S2P1D, mas para misturas de revestimento a quente com a adição de RAP em diferentes porcentagens. Estudou misturas contendo 10,0%, 20,0% e 30,0% de RAP comparadas com misturas compostas por agregados virgens. Como método de estabilização granulométrica, valeu-se da metodologia Bailey que melhora o arranjo da matriz pétreia da mistura. Para melhorar o processo de dosagem, baseou-se na metodologia Superpave. Obtendo melhor resultado nos ensaios de MR e RT com misturas que possuem RAP do que a mistura de referência que possui apenas materiais virgens.

3 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

O presente capítulo discorre sobre os materiais e métodos utilizados na pesquisa, apresentando as características dos materiais pétreos (virgens e RAP) e dos aglomerantes, tanto hidráulico (cimento) quanto betuminoso (emulsão asfáltica). Também apresenta-se a metodologia para preparação das misturas compostas por uma matriz pétreo fixa com 70,0% de RAP e 30,0% pó de pedra, com teores de cimento de 0,0% e 1,0%, combinando com emulsão asfáltica nos teores de 2,0%, 3,0%, 4,0% e 5,0% em massa total, totalizando oito misturas.

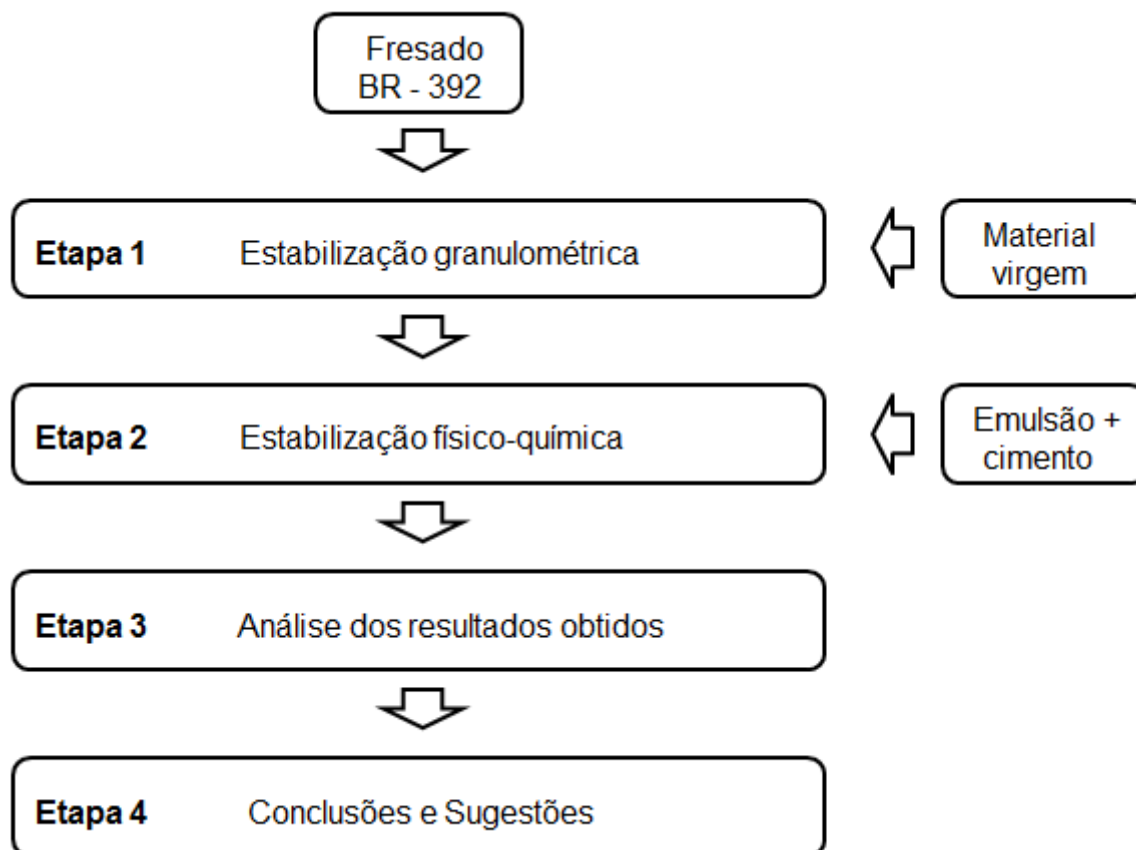
3.1 Planejamento da Pesquisa

Para que os objetivos fossem alcançados, a pesquisa experimental dividiu-se conforme as etapas abaixo:

- a) Coleta dos materiais pétreos;
- b) Ensaios de caracterização dos materiais, RAP, agregado virgem, emulsão asfáltica e cimento;
- c) Definição da granulometria, das misturas empregadas e dosagens;
- d) Moldagem dos corpos de prova para realização dos ensaios;
- e) Realização dos ensaios mecânicos;

Este estudo buscou uma alternativa para reciclagem de pavimentos através da utilização de material fresado estabilizado granulometricamente com pó de pedra. A mistura também foi estabilizada por processo físico-químico com emulsão asfáltica, por não haver necessidade de aquecimento tanto da matriz pétreo quanto da mesma gerando menor impacto ambiental, e a adição de cimento; esta visa à melhoria da resistência da mistura e a melhoria de sua suscetibilidade térmica. A estrutura da pesquisa é apresentada no fluxograma da Figura 14.

Figura 14 - Fluxograma da pesquisa



A caracterização dos materiais foi realizada através de uma série de ensaios realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da UFSM. A análise das características e variabilidade do material fresado, a determinação dos parâmetros de compactação e da resistência deste material, bem como a análise do fresado estabilizado granulometricamente e da estabilização físico-química das misturas.

As misturas foram compostas por 70,0% de fresado e 30,0% de material virgem, com adição de emulsão, variando de 2,0%, 3,0%, 4,0% a 5,0% e de cimento, de 0,0% e 1,0%. Foram analisados através de Ensaio de Resistência à Compressão Simples (RCS), Ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral (RT), Módulo de Resiliência (MR), Ensaio de Módulo Complexo (E^*), *Flow Number* (FN) e Índice Suporte Califórnia (ISC). As amostras moldadas são mostradas na Tabela 3, totalizando 152 corpos de prova.

Tabela 3 - Ensaio realizados

Estabilização Físico-química		Amostras ensaiadas						
Emulsão %	Cimento %	Compactação	ISC	RCS	RT	MR	E*	FN
2	0	5		3		3		2
	1	5		3		3		2
3	0	5		3		3		2
	1	5		3		3		2
4	0	5		3		3		2
	1	5		3		3		2
5	0	5		3		3		2
	1	5		3		3		2

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais empregados nesta pesquisa foram coletados com auxílio do LMCC da UFSM ou estocados no mesmo. Os ensaios de caracterização dos materiais bem como os ensaios mecânicos, foram realizados no decorrer do estudo e executados nas dependências do LMCC. A seguir neste capítulo são descritas as caracterizações dos materiais.

3.1.1 Material Fresado

O RAP utilizado foi coletado no trecho entre as cidades de Santa Maria e São Sepé, próximo ao quilometro 338 na BR-392, conforme mostra a Figura 15. O material é oriundo da fresagem de um trecho em manutenção em Abril de 2014.

Figura 15 - Localização do trecho do km 338 na BR 392



Fonte: Adaptado de Google Maps

Utilizou-se uma máquina modelo Wirtgen 100, conforme a Figura 16, com largura de corte 1m equipada com um rolo composto por 96 bits. O processo de fresagem aconteceu à frio com água e a altura do corte foi de 5cm. A durabilidade dos dentes de corte é de 10 a 15 mil metros quadrados de uso e, no caso desta pesquisa, a fresadora apresentava, aproximadamente, 60% de desgaste.

Figura 16- Fresagem do material *in situ*.



O RAP obtido é originado de um revestimento Faixa C da especificação DNIT 031/2006-ES e por um ligante asfáltico CAP 50-70, informação essa fornecida pela empresa responsável pela execução dos serviços no trecho. Além disso, o agregado que compõe a mistura fresada é oriundo do município de Itaara, RS, um Riodacito com alta absorção.

Caracterizou-se o fresado pelo ensaio de peneiramento em 3 amostras, no qual a média está apresentada na Tabela 4. Na Figura 17 está a representação gráfica da curva obtida no ensaio.

Tabela 4 - Análise granulométrica do fresado

		Porcentagem Passante			
Peneira	mm	Fresado AM1	Fresado AM2	Fresado AM3	Média
2"	50,8	100,0	100,0	100,0	100,0
1 1/2"	38,1	100,0	96,0	100,0	98,7
1"	25,4	92,7	95,1	96,3	94,7
3/4"	19,1	83,9	89,5	86,8	86,7
1/2"	12,7	75,4	76,5	66,7	72,8
3/8"	9,5	63,3	61,7	51,1	58,7
nº 4	4,8	36,8	31,6	23,1	30,5
nº 10	2,0	10,9	7,9	7,1	8,7
nº 40	0,42	1,5	1,0	1,6	1,4
nº 80	0,18	0,6	0,5	0,8	0,6
nº 200	0,075	0,5	0,4	0,6	0,5

Figura 17 - Granulometria Material Fresado



Analisando-se a curva granulométrica do fresado, nota-se que a região inferior da curva encontra-se fora dos limites da faixa objetivada, por isso foi necessária à incorporação de pó de pedra para a estabilização granulométrica e enquadrar o material na Faixa C do DNIT de base, segundo a DNIT 141/2010 - ES.

Para determinar o teor de ligante do material extraído em pista, realizou-se o ensaio no Rotarex elétrico por centrifugação, conforme norma DNER-ME 053/1994, em 3 amostras, obtidas por quarteamento. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 5, e o resultado médio obtido foi um teor de 6,76%.

Tabela 5- Resultados obtidos nos ensaios de extração de betume

Amostra	Am1	Am 2	Am 3
Teor de ligante (%)	7,11	6,66	6,52
Teor médio de ligante (%)	6,76		

O teor de ligante encontrado, de 6,76%, é um valor típico para misturas asfálticas que utilizam agregados com a mesma mineralogia. Boeira (2014), com mesma tipologia de rocha, encontrou teor de 6,50% em uma mistura com CAP 50-70 e granulometria faixa C.

Outro parâmetro para a caracterização é o resultado obtido no Rice, normatizado pela NBR 15619/2012. As amostras foram destorroadas, com aquecimento das amostras até 80°C, desfragmentação dos grumos e resfriamento a

temperatura ambiente sendo revolvida até atingir 25°C. Também foram quarteadas para melhor representatividade do ensaio. O resultado obtido está apresentado na Tabela 6.

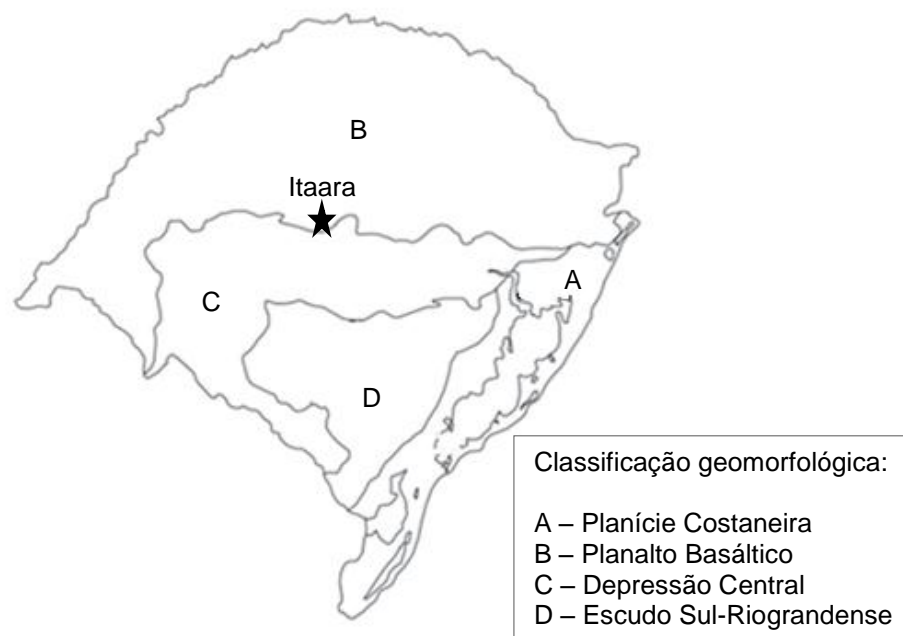
Tabela 6- Resultado de densidade máxima teórica

Ensaio	Norma	Resultado
Massa específica/densidade máxima teórica – DMT ou <i>Gmm</i>	Rice – NBR – 15619 – Misturas asfálticas – Determinação da densidade máxima teórica e massa específica teórica em amostras não compactadas	2,367 g/cm ³

3.1.2 Material Virgem

O agregado pétreo virgem, constituído por um pó de pedra, utilizado na pesquisa é proveniente do município de Itaara, RS, fornecido pela empresa Della Pasqua Engenharia e Construções LTDA. O estado do RS é constituído por 4 formações geológicas, apresentados na Figura 18. O município de Itaara encontra-se na formação geológica da Planalto Basáltico, apresentado pela letra B, classificada como um Riodacito de origem vulcânica.

Figura 18 - Formações geológicas do Estado do RS

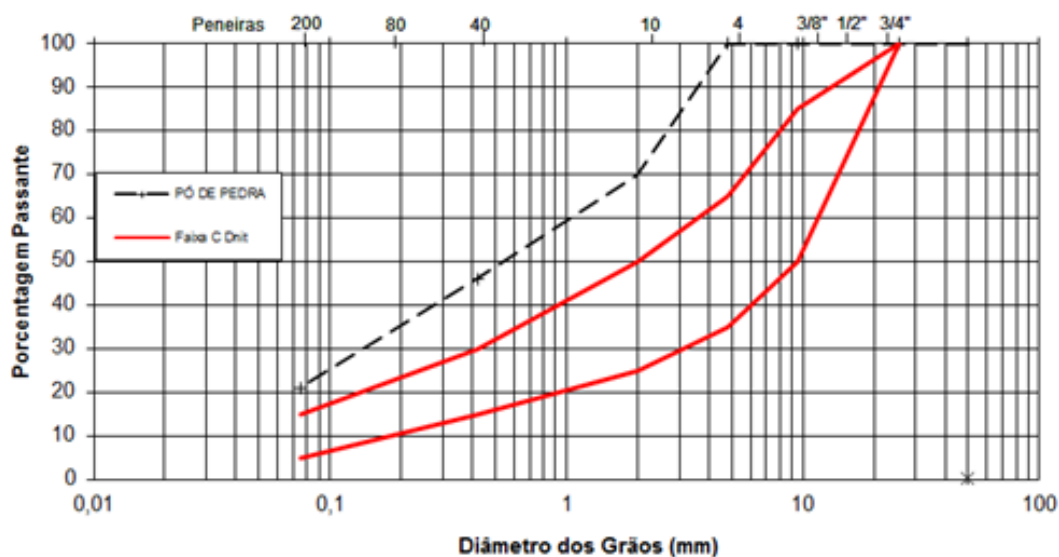


Foi realizado o ensaio de peneiramento para a obtenção da granulometria do pó de pedra, utilizado para estabilização granulométrica do RAP devido à falta de finos neste material. A análise granulométrica está apresentada na Tabela 7 e a representação gráfica na Figura 19.

Tabela 7 - Análise granulométrica do pó de pedra

Análise Granulométrica		
Peneira	mm	Pó de pedra % passante
2"	50	100
1"	25,4	100
3/8"	9,5	100
nº 4	4,8	100
nº 10	2	70,00
nº 40	0,42	46,00
nº 200	0,075	21,00

Figura 19 - Granulometria do pó de pedra



Além da granulometria aferiram-se algumas propriedades do material em laboratório, equivalente de areia e massa específica, as quais são apresentadas na Tabela 8. Consequentemente obteve-se um melhor controle do material virgem.

Tabela 8 - Propriedades do material virgem aferidas em laboratório

Propriedade	Norma	Pó-de-pedra
Equivalente de Areia (%)	DNER – ME 054/1997	85,44
Massa Específica (g/cm ³)	ASTM C 127/2007	2,66

3.1.3 Emulsão

A escolha da emulsão asfáltica utilizada na pesquisa foi baseada no impacto ambiental causado na sua produção e a técnica que seria aplicada no campo para execução da proposta estudada. Assim a emulsão a frio torna-se uma opção muito atrativa por ser de fácil manuseio quando comparada a ligantes a quente, além de não necessitar do consumo de energia, em forma de calor, para sua aplicação em misturas asfálticas.

Os materiais empregados na reciclagem a frio possuem suma importância no comportamento da mistura. Kavussi (2010) afirma que a adição de emulsão melhora a coesão entre os materiais granulares que compõem a mistura e esta é responsável por formar ligações flexíveis entre os componentes.

No Brasil, as emulsões usadas para pavimentação são predominantemente catiônicas, na qual se optou por uma emulsão RL-1C, caracterizada por ruptura lenta e catiônica. Foi cedida pela empresa Betunel, com sede em Canoas-RS. Os ensaios de caracterização estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Propriedades da emulsão aferida em laboratório

Propriedade	Norma	Emulsão
Resíduo por evaporação (%)	DAER/RS - EL 210/01	66,16
Viscosidade Saybolt-Furol 25°C (s)	DAER/RS - EL 202/01	46,87
Viscosidade Saybolt-Furol 50°C (s)	DAER/RS - EL 202/01	23,30
Peneiramento (%)	DAER/RS - EL 207/01	0,093

A emulsão utilizada foi produzida especialmente para o estudo proposto e não está disponível comercialmente.

3.1.4 CimentoPortland

A emulsão asfáltica em reciclagens a frio, quando utilizada como ligante para a reabilitação de pavimentos, não atinge os mesmos resultados de resistência que as técnicas a quente. Para suprir essa deficiência optou-se pela adição de cimento à mistura asfáltica. Conforme a NBR 5736/1991 – Cimento Portland, o cimento Portland é um aglomerante hidráulico obtido pela mistura de clínquer e materiais pozolânicos, e sua composição é composta de silicatos de cálcio e de ferro, sulfato de cálcio, material carbonático e pozolana.

Dentre as variadas opções de cimentos produzidos no Brasil, optou-se pela utilização do CP V – ARI, cimento de alta resistência inicial que possui uma composição com menos adições. Sua composição mineralógica é clínquer + gesso variando de 95% e 100% e o calcário entre 0% e 5%.

O cimento CPV-ARI foi adquirido no comércio de Santa Maria - RS e estocado de forma a evitar o umedecimento e a perda de suas propriedades, conforme mostra a Figura 20. O cimento é da marca VOTORAN.

Figura 20 - Estocagem do CP V – ARI



O CPV-ARI foi caracterizado e os resultados dos ensaios estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Ensaio de caracterização do CPV-ARI

Propriedade	Idade	Norma	CP V ARI
Massa Específica (g/cm ³)		NBR NM 23 (ABNT, 2001)	3,14
Índice de finura #0,075 mm (% retida)		NBR NM 11579 (ABNT,2013)	0,02
Consistência normal (%)		NBR NM 43 (ABNT,2003)	29,1
Início de pega (min)		NBR NM 65 (ABNT,2003)	154
Fim de pega (min)			191
Argamassa normal – Resistência à compressão axial (MPa)	3 dias	NBR 7215 (ABNT,1997)	36,2
	7 dias		38,3
	28 dias		49,56

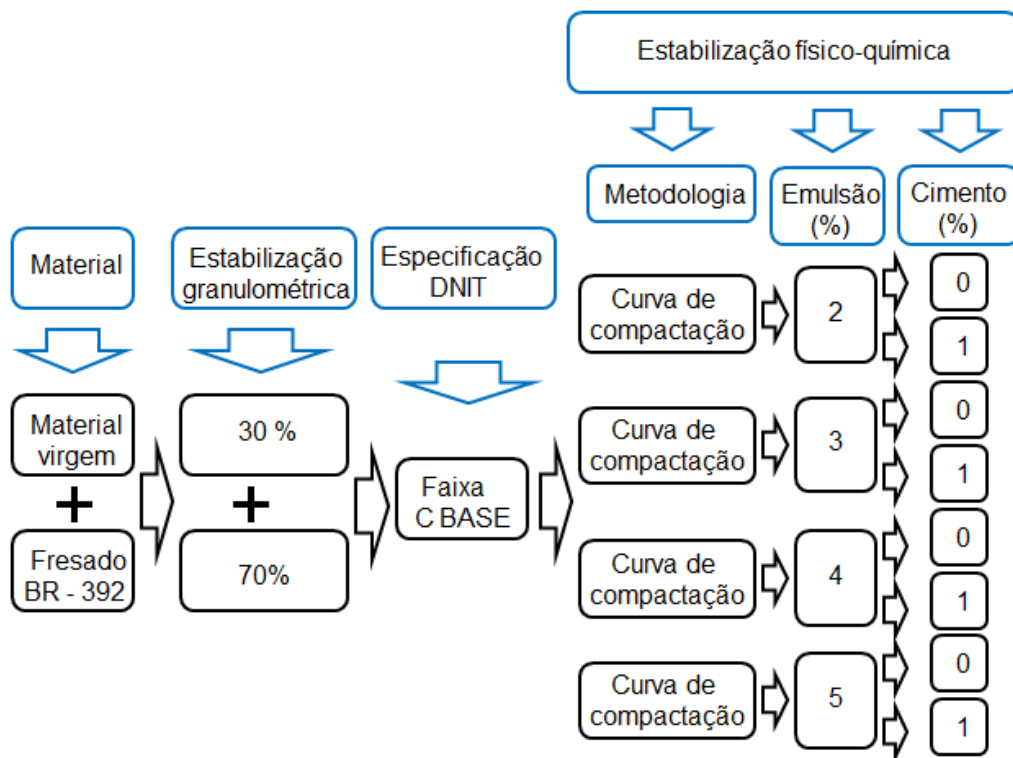
3.1.5 Água

Por fim, a água utilizada na mistura foi obtida na rede hidráulica do LMCC da UFSM, a qual é considerada potável. Utilizou-se a mesma no processo de mistura aos demais materiais a 25°C, temperatura usual normalizada em ensaios. Salvo os ensaios onde é necessária a utilização de água destilada.

3.2 MISTURAS A FRIO EMPREGADAS

Para atingir os objetivos propostos nesta pesquisa, as misturas foram compostas por uma matriz pétreo fixa com 70% de RAP e 30% pó de pedra, com teores de cimento de 0% e 1%, combinando com emulsão asfáltica nos teores de 2%, 3%, 4% e 5% em massa total, totalizando oito misturas. A Figura 21 mostra um fluxograma das misturas para melhor compreensão.

Figura 21 - Flugrama das misturas propostas



Para uma melhor compreensão das misturas no trabalho adotou-se a seguinte abreviação, a primeira porcentagem é referente ao teor de emulsão e a segunda ao teor de cimento adicionado à mistura, conforme mostra a Tabela 11.

Tabela 11 - Nomenclatura das misturas empregadas

Teor de emulsão (%)	Teor de cimento (%)	Nomenclatura das misturas
2	0	2% 0%
3	0	3% 0%
4	0	4% 0%
5	0	5% 0%
2	1	2% 1%
3	1	3% 1%
4	1	4% 1%
5	1	5% 1%

3.2.1 Granulometria da mistura

A granulometria da mistura composta por 70% de RAP e 30% pó de pedra, foi enquadrada na faixa C de base. Da amostra de RAP, Figura 22, optou-se por

expurgar o material retido na peneira 2" (grumos- identificados pela seta amarela) do RAP, conforme ilustrado na Figura 23. Ressalta-se que os grumos oriundos da extração têm diâmetro elevado, prejudicando a resistência das misturas utilizadas em reabilitação de pavimentos além de limitar a espessura da camada em campo.

Figura 22 - Amostra de fresado retirada da pilha

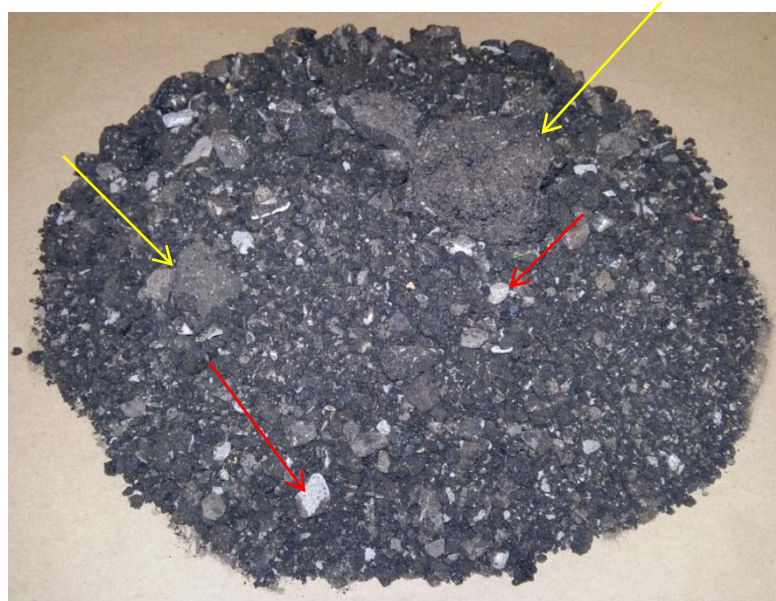


Figura 23 - Grumos retirados da amostra ensaiada em laboratório.

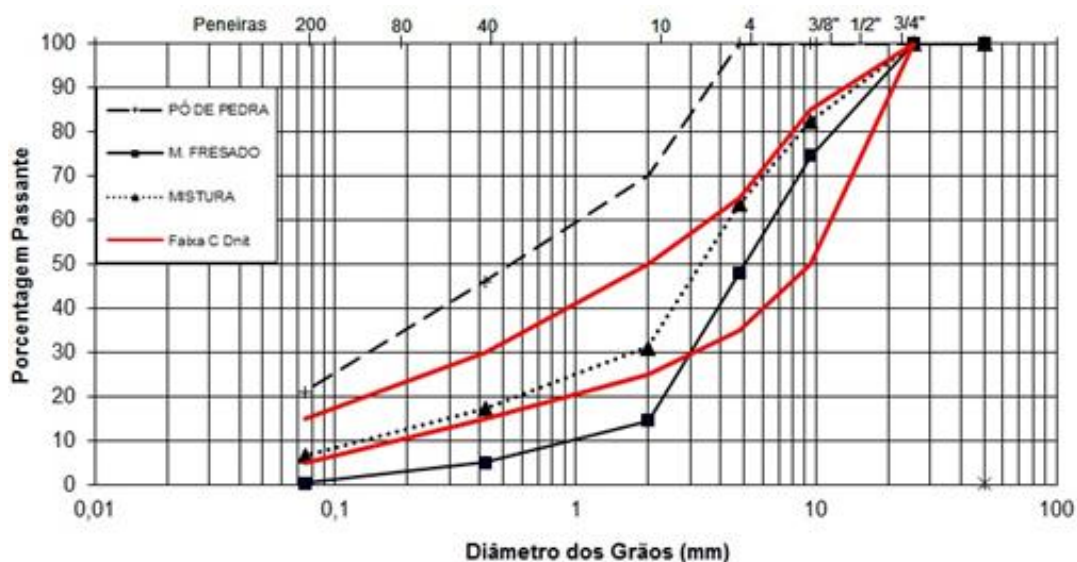


A mistura estabilizada é composta por 70% de material fresado e 30% de material virgem. O pó de pedra é responsável por suprir a deficiência de finos da granulometria, de forma a enquadrá-la dentro da faixa C para camada de base do DNIT. Nota-se que a fração graúda da mistura (material acima da peneira nº 4) é inteiramente constituída pelo RAP. A composição granulométrica da mistura é apresentada pela Tabela 12 e a representação gráfica pela Figura 24.

Tabela 12- Granulometria da mistura proposta

PENEIRA	mm	FRESADO	PÓ DE PEDRA	MISTURA	
				FRESADO (70%)	PO DE PEDRA (30%)
2"	50	100,00	100,00	100,00	
1"	25,4	100,00	100,00	100,00	
3/8"	9,5	74,61	100,00	82,23	
nº 4	4,8	47,90	100,00	63,53	
nº 10	2	14,42	70,00	31,10	
nº 40	0,42	5,00	46,00	17,30	
nº 200	0,075	0,30	21,00	6,51	

Figura 24 - Granulometria da mistura reciclada



3.2.2 Ensaio de compactação para determinação do teor de umidade ótima das misturas

Após a caracterização dos materiais, iniciou-se o processo de dosagem das oito misturas asfálticas. A dosagem neste caso significa a obtenção da quantidade de água adicionada nas misturas de forma a obter-se a umidade ótima de compactação, obtendo-se a maior massa específica aparente seca do material, processo idêntico ao de compactação de solos e materiais granulares.

Para cada uma das oito misturas propostas montou-se uma curva de compactação constituída por 5 pontos com diferentes umidades. A quantidade de água a ser adicionada na mistura foi obtida através das umidades necessárias para a criação da curva de compactação. Não foi considerada a água contida na emulsão para a criação das curvas de compactação

As amostras para confecção da curva de compactação das misturas e obtenção da umidade ótima de compactação e densidade, não foram reaproveitadas porque durante a compactação na energia modificada (camadas de base) houve a fragmentação do RAP.

Portanto, para cada teor de umidade da curva de compactação foi necessária a utilização de novos materiais, não podendo ser reaproveitada a amostra devido a mudança de granulometria durante o processo de compactação, diferentemente do processo em solos finos.

Primeiramente, pesou-se separadamente o material fresado (70%) e o pó de pedra (30%), Figura 25, conforme curva granulométrica pré-definida. A massa total de fresado e pó de pedra é 7 kg devido à amostra apresentar agregado graúdo.

Figura 25- RAP e pó de pedra para confecção das misturas



Nas 4 misturas sem cimento, misturou-se juntamente com os agregados a porcentagem de emulsão, conforme cada mistura, nas porcentagens de 2%, 3%, 4% e 5% da massa total da matriz pétreo. Para a obtenção dos 5 pontos da curva de compactação, em cada teor de emulsão adicionou-se diferentes quantidades de água.

Nas outras 4 misturas com cimento na porcentagem de 1%, misturou-se juntamente aos agregados secos, conforme Figura 26. Após isso, adicionou-se os quatro teores de emulsão e também as diferentes quantidades de água para obtenção da curva de compactação.

Figura 26- Mistura dos materiais pétreos



O Cimento faz parte da matriz pétreo da mistura e foi adicionado obedecendo à relação de 1% da massa total de agregados, ou seja, para a produção de uma amostra, que contém 1200 g, foram substituídos 12 g de material pétreo por 12 g de cimento.

A Figura 27 mostra a massa pronta para compactação. Ressalta-se que foi feito o revolvimento dos materiais manualmente em uma bandeja na temperatura de 25°C.

Figura 27- Mistura pronta para compactação



Logo após a preparação da mistura, iniciou-se o processo de compactação para obtenção da máxima massa específica aparente de cada mistura.

Foram retiradas duas amostras para controle da umidade, empregada em cada um dos 5 pontos necessários para obtenção da curva de compactação das misturas. Além disso, por se tratar de um material granular utilizou-se 7 kg de material pétreo para cada ponto da curva de compactação, totalizando 35 kg por mistura.

A normatização do ensaio é especificada na norma DNIT – 164/2013-ME, a energia de compactação foi a modificada (56 golpes do soquete padrão em cada camada de compactação) devido ao estudo objetivar a aplicação das misturas em

base e sub-base de pavimentos, conforme demonstra a Figura 28. Após o término da compactação do cilindro, este foi rasado conforme a Figura 29, e logo após pesado.

Figura 28- Compactação de camada



Figura 29- Amostra de Compactação sendo rasada



Após a coleta de dados de cada ponto da curva de compactação realizou-se os cálculos previstos em norma sendo assim possível a construção da curva. A partir dela pode-se identificar a umidade ótima e massa específica aparente seca.

3.2.3 Moldagem e cura dos corpos de prova para ensaios mecânicos

Após a montagem das curvas de compactação, definiu-se o teor de umidade ótimo para cada uma das oito misturas. A partir disso, calculou-se a massa necessária para confecção de cada amostra para a realização dos ensaios mecânicos, já que os volumes são constantes para cada molde de ensaio e a densidade é o parâmetro que norteia a pesquisa.

A compactação das amostras para cada um dos ensaios de avaliação do desempenho das diferentes misturas foi realizada manualmente. A cura dos corpos de prova foi diferenciada de acordo com o volume de cada corpo de prova. Também adotou-se compactação diferenciada para a produção das amostras de cada ensaio.

Para as amostra moldadas para o ensaio de ISC adotou-se o procedimento de ruptura da emulsão conforme indica a DNER-ME 107/94 para dosagem Marshall a frio, ou seja, após a moldagem dos corpos de prova os mesmo foram levados à estufa a 60°C por 24 horas. Esse processo assegurou que as misturas tivessem a parcela de água da emulsão evaporada, como se pode observar na Figura 30.

Figura 30- Amostra durante o processo de cura da mistura



Os corpos de prova Marshall, com dimensões 10 cm diâmetro por 6,35 cm de altura, foram curados da mesma forma que os de ISC. Adquirindo através desse processo melhor coesão entre as partículas, já que durante a cura ao ambiente não se obteve a evaporação da água da emulsão de maneira satisfatória, tornando impossível a remoção das amostras dos moldes sem deformação ou rachaduras. Este processo deu origem aos corpos de prova do ensaio de MR e RT, como pode se observar na Figura 31.

Figura 31- Amostra Marshall curada e desmoldada



A compactação das amostras, demonstrada na Figura 32, foi dividida em 3 camadas iguais assim melhorou-se a distribuição dos agregados na amostra, pois em uma única camada a região inferior não recebe a mesma energia de compactação. Buscando-se melhorar a ligação entre as camadas compactadas foram realizadas ranhuras na face compactada antes de compactar a próxima. Para a compactação foi utilizado o soquete Proctor na energia modificada, mas o controle de golpes foi baseado na altura da amostra, ou seja, parou-se a compactação após todo o material misturado estar inserido no molde. O número de golpes variou por tipo de mistura. Moldaram-se 3 amostras para cada mistura a ser estudada, totalizando 24 corpos de prova.

Figura 32- Amostra de 10cm x 20cm sendo compactada para ensaio de RCS



As mostras de RCS possuem dimensões de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura. Por serem maiores que os corpos de prova Marshall adotou-se um período maior de cura, fixado em 48 horas a 60°C. Pode-se observar na Figura 33 a mostra curada. Desta forma obteve-se a coesão das misturas e nenhuma deformação quando desmoldados. Já as amostras de E* e FN possuem dimensões de 10 cm de diâmetro e 15 cm de altura, compactadas com soquete Proctor na energia modificada em 3 camadas iguais ,conforme a Figura 34, mas por serem maiores que as Marshall foram curadas por 48 horas em estufa a 60°C.

Figura 33 - Amostra 10 cm x 20 cm, curada e com face capeada



Figura 34 - Corpos de prova 10 cm x 15 cm



3.3 MÉTODO DE ENSAIO

Os procedimentos necessários para realização dos ensaios serão descritos neste capítulo conforme as normalizações vigentes. As misturas foram avaliadas nos seguintes ensaios mecânicos: Índice de Suporte Califórnia, Resistência à Compressão Simples, Resistência à Tração por Compressão Diametral, Módulo de Resiliência, Módulo Dinâmico e Flow Number.

3.3.1 Ensaio de Compactação

Um método de estabilização de solos é a compactação que se dá pela aplicação de alguma forma de energia mecânica (impacto, compressão e vibração). Devido ao processo de compactação, ocorre o aumento de sua massa específica aparente seca e redução do volume de vazios, causando redução de permeabilidade, diminuição da compressibilidade e aumento da resistência ao cisalhamento.

Para esta pesquisa foi utilizada a Energia Modificada, conforme a norma DNIT 164/2013-ME – Solos – Ensaio de compactação utilizando amostras não trabalhadas. A energia de compactação utilizada foi a modificada devido a prática para materiais granulares. A compactação foi realizada para as oito misturas estabilizadas granulometricamente. As amostras moldadas para o ensaio de compactação foram utilizadas para o ensaio de ISC, como mostra a Figura 35. Foram moldadas 5 amostras para cada mistura proposta totalizando 40.

3.3.2 Índice Suporte Califórnia

O ensaio criado pelo engenheiro O. J. Porter, em 1939, é um método empírico que trata de descobrir a capacidade de suporte de um solo compactado podendo esta ser medida pelo “Índice de Suporte Califórnia – ISC” (*California Bearing Ratio – CBR*). O ensaio objetiva determinar a força necessária para penetração de um pistão, em condições controladas, de amostras submersas por 96 horas. O valor obtido é normalizado em função do ISC de brita de referência com valor de 100%.

As premissas para realização do ensaio então descritas na norma DNER ME 049/94 – Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas. Na Figura 35 visualiza-se a amostra compactada. Ensaíram-se as amostras moldadas no ensaio de compactação.

Figura 35 - Amostra compactada



3.3.3 Resistência à Compressão Simples

A Resistência à Compressão Simples (RCS) é um ensaio muito utilizado para dosagem e controle de qualidade de concreto de cimento Portland e solo-cimento. As amostras de 10 x 20 cm são submetidas a um esforço de compressão até a ruptura, a uma velocidade aproximada de 0,43 mm/s. As amostras foram ensaiadas com idades de 28 dias, moldaram-se 24 amostras, 3 para cada mistura.

No entanto, ainda não existem especificações para sua utilização com material reciclado, por isso, usa-se a estabilização de solos com outras adições como, por exemplo, cinza volante e cal hidratada através da norma DNER – ME 180/1994 – Solos estabilizados com cinza volante e cal hidratada – Determinação da resistência à compressão simples. A Equação 4 apresenta a determinação da resistência à compressão:

$$RCS = \frac{4 \cdot F}{100 \cdot \pi \cdot d^2} \quad (4)$$

Onde:

RCS: Resistência à Compressão Simples (MPa);

F: carga de ruptura (N);
d: diâmetro do corpo de prova (cm).

Na Figura 36 observa-se um corpo de prova e a prensa utilizada para realização do ensaio, teores 5% 0%, pronto para ser ensaiado em laboratório, este foi capeado com enxofre para melhor distribuição das tensões em sua face de contato com o pistão da prensa.

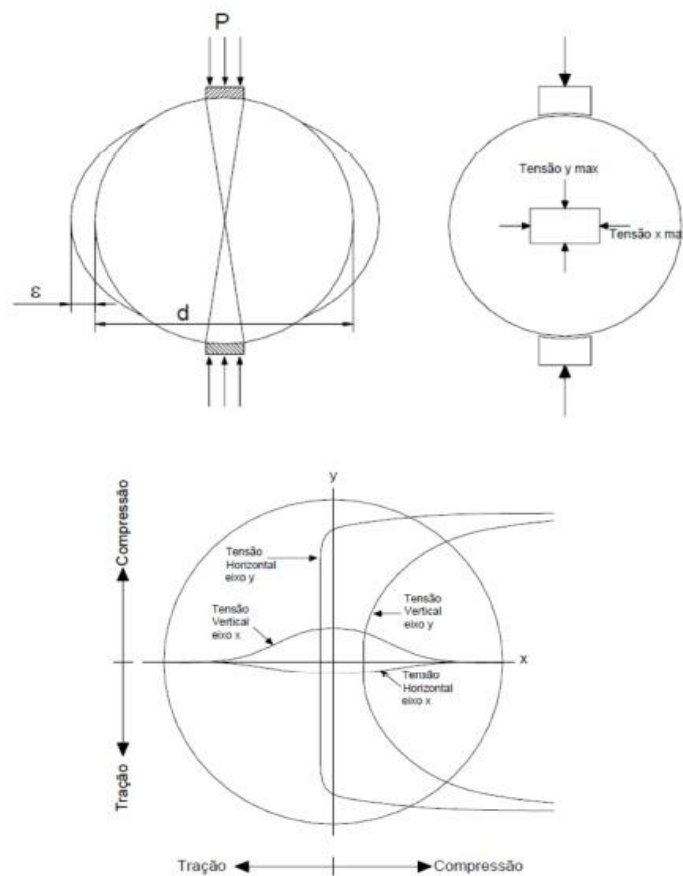
Figura 36 - Amostra capeada pronta para ser ensaiada e prensa de compressão



3.3.4 Resistência à Tração por Compressão Diametral

A determinação da resistência à tração por compressão diametral nas amostras de 10 x 6,35 cm, moldadas por compactação manual em camada única, seguiram as recomendações explícitas na norma DNIT 135/2010 - ME. O procedimento de ensaio 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 como demonstra a Figura 37. Assim sendo a medida resultante é a resistência à tração (RT).

Figura 37 - Estado de tensões gerado no ensaio



Fonte: Specht (2004).

Vale lembrar que as amostras devem ser ensaiadas a temperatura de 25° C. Para que a temperatura esteja uniforme em toda a amostra, estas ficaram em condicionamento por no mínimo 12 horas na câmara de condicionamento.

No ensaio, aplica-se uma carga progressiva (F) até a ruptura do corpo de prova. Com o valor obtido é calculada, pela Equação 5, a resistência à tração por compressão diametral:

$$\sigma_R = \frac{2F}{\pi DH} \quad (5)$$

Onde:

σ_R - resistência à tração, em kgf/cm²;

F – carga de ruptura, em kgf;

D – diâmetro do corpo de prova, em cm;

H – Altura do corpo de prova, em cm.

Foram utilizadas as amostras moldadas para realização do ensaio de MR. Para o ensaio de MR foram moldadas 4 amostras para cada teor mas algumas romperam durante a realização do ensaio. No ensaio de RT utilizou-se pelo menos 3 amostras por mistura totalizando 24 corpos de prova. As amostras foram ensaiadas após 28 dias. As misturas foram ensaiadas em uma prensa Marshall do LMCC conforme a Figura 38.

Figura 38 - Prensa pneumática com ensaio de RT



3.3.5 Módulo de Resiliência

O ensaio de módulo de resiliência é determinado através das recomendações da normativa do DNIT 134/2010 - ME. O equipamento utilizado foi a prensa UTM – 25, o qual é composto um pistão hidráulico controlado por circuito eletrônico que simula o tráfego através de carregamento repetido pulsante com auxílio de um dispositivo pneumático, acoplado a um regulador de tempo e frequência de 10 Hz. A UTM-25 possui uma câmara de condicionamento com temperatura controlada, permitindo a realização de ensaios em diversas temperaturas. Na Figura 39 pode-se observar os componentes da UTM-25 a esquerda a câmara de condicionamento e a direita o computador, onde pode ser escolhido o ensaio a ser realizado através de diferentes softwares, a bomba hidráulica, responsável pelo deslocamento do pistão, e a central eletrônica.

Figura 39 - Prensa UTM-25

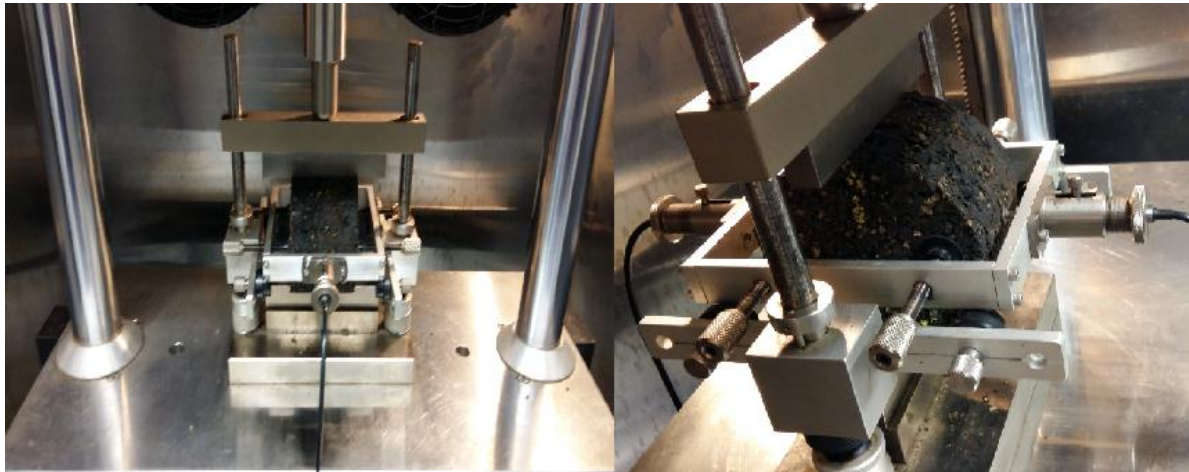


O módulo de resiliência (MR) é medido a partir da aplicação do carregamento repetido com tempo de 0,1s e 0,9s de repouso. A amostra sofre deformações horizontais, que são medidas através de dois LVDT (*Linear Variable Differential Transducer*), ligado a um microcomputador. O coeficiente de Poisson adotado foi de 0,35, de acordo com Rosa *et. al.*(2007). As misturas asfálticas de revestimento utilizam normalmente 0,30 e Balbo (2007) indica valores de 0,40 para bases granulares.

Todas as amostras foram ensaiadas a 0° e 90°, ou seja, os valores apresentados como resultados são médias entre 2 ensaios da mesma amostra. A Figura 40 demonstra como o ensaio é realizado, o pistão responsável pelo carregamento e os LDVTs registram as leituras de deformação da amostra.

Produziram-se 4 amostras para cada mistura proposta, totalizando 32 corpos de prova. Algumas dessas romperam durante a realização dos ensaios. Mas ainda restaram amostras integras para realização do ensaio de RT, 3 amostras por mistura. Todos os corpos de prova foram ensaiados após 28 dias.

Figura 40 - Amostra de MR pronta para ensaio



3.3.6 Módulo Complexo

Realizou-se o ensaio de módulo complexo com 16 amostras de dimensões 10 x 15 cm, sendo 2 amostras para cada mistura proposta. Determinou-se o módulo complexo após aplicação de carga em todas frequências disponíveis no software (25 Hz, 20 Hz, 10Hz, 5Hz, 2Hz, 1Hz, 0,5Hz, 0,2Hz, 0,1Hz, 0,01 Hz), nas temperaturas de -10°C, 4°C, 21°C, 37°C e 54°C). As amostras foram condicionadas e a realização do ensaio seguiu as recomendações da norma AASHTO T 311. Para realização dos ensaios e condicionamento das misturas foi utilizada a prensa UTM- 25, disponibilizado pelo LMCC da UFSM. Seguiram-se as recomendações da normativa para condicionamento das amostras como mostra a Tabela 13.

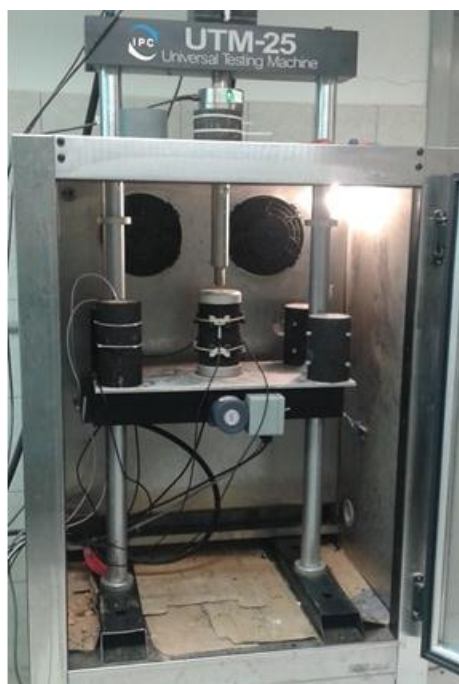
Tabela 13 - Tempo mínimo recomendado de estabilização da temperatura das amostras a serem ensaiadas

Temperatura de ensaio (°C)	Tempo para equilíbrio da temperatura a partir da temperatura da sala de ensaio de 25°C (h)	Tempo para equilíbrio da temperatura a partir da temperatura de teste anterior (h)
-10	Uma noite	Uma noite
4	Uma noite	4 horas ou uma noite
21	1	3
37	2	2
54	3	1

Fonte: (Adaptado de AASHTO T 311).

Na realização dos ensaios a temperaturas elevadas 37°C a 54°C notou-se uma dificuldade de adesão das presilhas metálicas que sustentam os dispositivos em que são fixados os LVDTs. As misturas 4% 0% e 5% 0% desagregaram facilmente os elementos de fixação. Na Figura 41 pode-se observar um corpo de prova pronto para ser ensaiado.

Figura 41 - Ensaio de Módulo Complexo a 4°C



A deformação foi controlada limitando-se valores entre 50 e 75 microstrain, seguindo as considerações de permanecer no regime viscoelástico da mistura, aonde não há deformação plástica das amostras. Assim garantido a integridade do corpo de prova. O cálculo de ajuste para alcançar a faixa de deformação é realizado através da Equação 6:

$$|E^*| = \frac{\sigma_0}{\epsilon_0} \quad (6)$$

Nascimento (2008) afirma que as porções real e imaginária do módulo complexo (E^*) podem ser escritas pela Equação 7:

$$|E^*| = E1 + E2 \quad (7)$$

Onde:

E1 = fração de armazenamento ou fração elástica do módulo complexo

E2 = fração de perda ou fração viscosa do módulo.

Já o ângulo de fase (φ) é definido como um indicador das propriedades viscosas do material ensaiado e pode ser representado como o ângulo de atraso de ε_0 em relação a σ_0 , conforme a Equação 8:

$$\varphi = \frac{t_i}{t_p} \times 360 \quad (8)$$

Onde:

t_i = fração de tempo entre os picos de tensão e deformação;

t_p = tempo de um ciclo de carga;

i = número imaginário.

Nascimento (2008) confirma a versatilidade do modelo escolhido ao afirmar que em um material puramente elástico $\varphi = 0^\circ$, o módulo complexo será igual ao módulo dinâmico. Para um material puramente viscoso, por outro lado, o valor de φ será igual a 90° .

Todos os dados coletados nesse ensaio servirão de base de dados para a utilização do modelo 2S2P1D.

3.3.7 Flow Number

Flow Number é definido pelo número de repetições de carregamento, a volume constante, correspondente à taxa mínima de tensão axial permanente. A partir da afirmação entende-se que é o ponto onde a deformação permanente acumulada da mistura apresenta um aumento elevado em um período pequeno, mostrando o colapso da amostra.

Medina e Mota (2015) afirmam que o ensaio determina qual é o número de ciclos de carregamento de 204 kN, aplicado com tempo de pulso de 0,1 s e repouso de 0,9 s, o qual leva a amostra à ruptura. A ruptura é caracterizada pela deformação

das laterais do corpo de prova. No entanto, durante o ensaio, existe um critério de definição do ciclo o qual caracteriza a deformação permanente terciária, ou seja, de crescimento acelerado.

Os corpos de prova para realização deste ensaio foram moldados com altura 100 x 150 mm no molde 100 x 200 mm utilizado para amostras de RCS. As amostras utilizadas foram as mesmas do ensaio de E* 3 amostras para cada uma das misturas propostas totalizando 24 corpos de prova.

Realizou-se o ensaio na prensa UTM-25, apresentada anteriormente. Em sua câmara de condicionamento, os corpos de prova estabilizaram sua temperatura em 60°C por 8 horas conforme recomenda a AASHTO TP 79-12. As amostras foram ensaiadas individualmente, utilizando-se uma membrana de látex, com 1mm de espessura, na parte superior e inferior (Figura 42). Devido a face superior dos corpos de prova apresentar vazios optou-se por capear todos com nata de cimento para melhor distribuição das tensões na face de contato com o pistão.

Figura 42 - Amostra rompida após a realização do ensaio de Flow Number

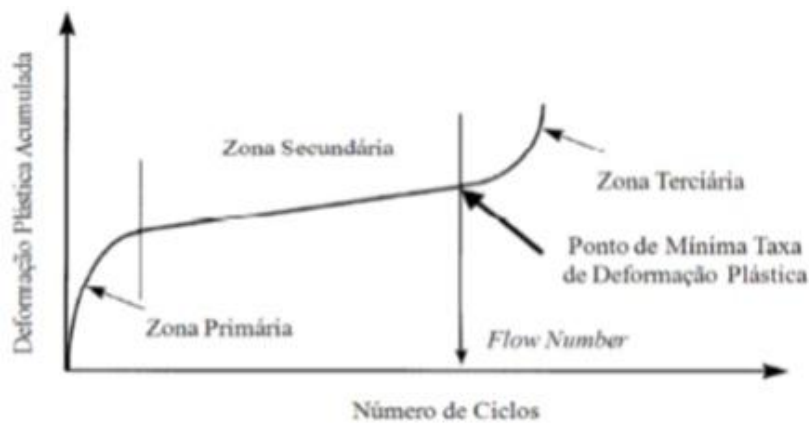


As amostras que não tiveram adição de cimento deformaram rapidamente. Portanto, para realização desse ensaio teve-se que proteger a porta da câmara,

composta por dois vidros, com isopor. Evitando assim danificar o equipamento. Além disso, as amostras com presença de cimento apresentaram ruptura abrupta ocasionando a projeção de material no espaço interno do equipamento.

O resultado do ensaio corresponde ao número de aplicações no qual a amostra apresenta cisalhamento a volume constante. É apresentado no gráfico de deformação permanente acumulada versus o número de ciclos aplicados. Percebe-se a formação de uma curva dividida em três zonas: primária (côncava pra baixo); secundária (reta) e terciária (côncava pra cima). O número de ciclos onde ocorre a transição das zonas secundária e terciária é definido como o Flow Number (FN). A Figura 43 mostra a curva gerada, as três zonas e o ponto denominado FN.

Figura 43 - Gráfico gerado pelo ensaio de Flow Number



Fonte: Witczak et al. (2002)

Witczak *et al.* (2002) coloca que o FN é o número de ciclos em que a taxa de deformação plástica é mínima e o corpo de prova atinge a ruptura, este passa a cisalhar a volume constante. O término do ensaio dá-se de três maneiras distintas por atingir 10.000 ciclos ou quando FN é atingido ou no momento em que a deformação da amostra totaliza 5%.

O coeficiente de variação máximo para o FN é de 20%, conforme a norma. Pode-se observar na Tabela 14 o coeficiente de variação da média de ensaios em amostras múltiplas. Na pesquisa foram utilizadas 2 amostras.

Tabela 14- Coeficiente de variação de média das propriedades de FN

Número de amostras	Coeficiente de variação por média (%)	
	Deformação permanente antes do ensaio	<i>Flow Number</i>
2	10,6	14,1
3	8,7	11,5
4	7,5	10,0
5	6,7	8,9
6	6,1	8,2
7	5,7	7,6
8	5,3	7,1
9	5,0	6,7
10	4,7	6,4

Fonte: Adaptado de AASHTO T 79

Os valores coletados foram corrigidos pela aproximação do modelo de Francken.

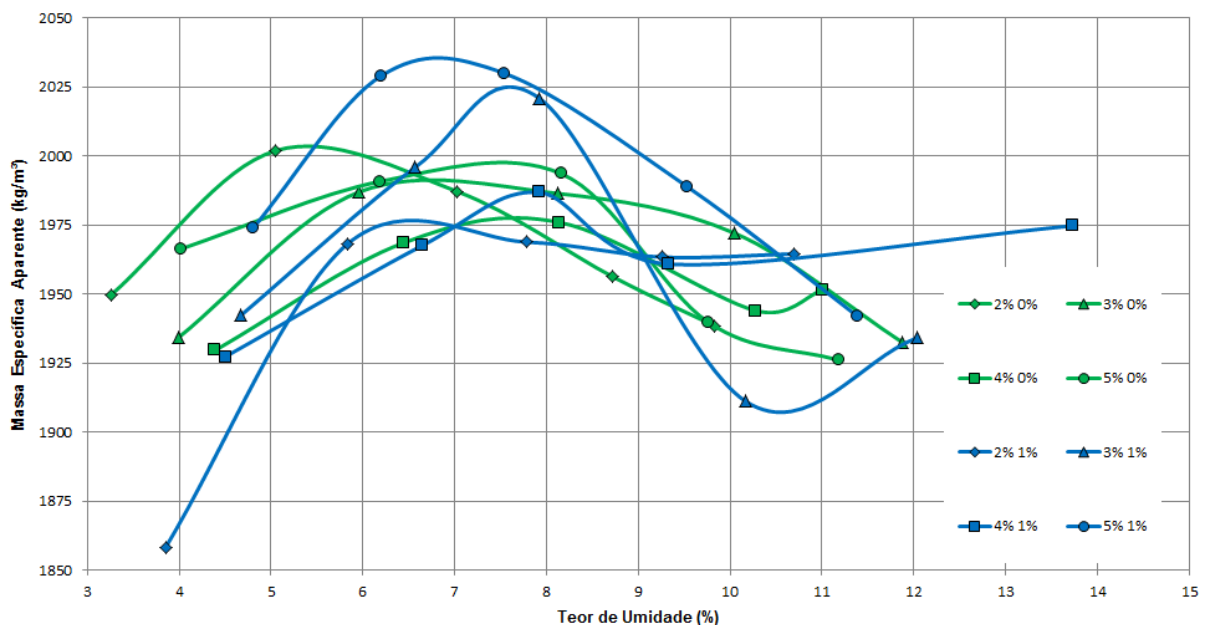
4 RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos nas curvas de compactação, Índice Suporte Califórnia, Resistência à Compressão Simples, Resistência a Tração por compressão diametral, Módulo de Resiliência, Módulo Complexo e Flow Number das oito misturas estudadas.

4.1 COMPACTAÇÃO

Neste item são apresentados os resultados de estabilização mecânica do material fresado misturado com pó de pedra, emulsão e cimento, nas proporções das misturas avaliadas no estudo. Portanto, foram elaboradas oito misturas, as quais têm suas curvas de compactação apresentadas na Figura 44. Através do ensaio obtiveram-se as umidades ótimas e massa específica aparente para cada uma das misturas. As umidades encontradas através deste ensaio serviram de base para todas as moldagens do estudo. Vale lembrar que todas as misturas passaram pelo processo de estabilização granulométrica (mistura de 70% de fresado e 30% de pó de pedra) e físico-química (adição de emulsão e cimento).

Figura 44 - Curvas de compactação das misturas propostas



Em resumo, a Tabela 15 apresenta as umidades ótimas e a Massa Específica Aparente Seca Máxima ($\gamma_{dm\acute{a}x}$) para cada uma das 8 misturas.

Tabela 15-Teores ótimos encontrados

Mistura	Água de molhagem (g)	Água contida emulsão (g)	Ligante contido na emulsão (g)	Umidade total (%)	Massa Específica Aparente Seca Máxima (kg/m ³)
2% 0%	179,54	90,49	6,56	5,7	2003,5
3% 0%	190,20	136,42	9,89	6,9	1991,0
4% 0%	170,53	181,72	13,17	7,5	1978,0
5% 0%	128,08	229,66	16,65	7,6	1998,0
2% 1%	216,89	89,88	6,52	6,5	1975,0
3% 1%	229,67	139,66	10,13	7,6	2025,0
4% 1%	186,51	183,06	13,27	7,8	1987,0
5% 1%	89,69	232,29	16,84	6,8	2036,0

Nota-se que para as misturas sem cimento, conforme se aumenta o teor de emulsão tem-se um aumento na umidade ótima das misturas. Já para as misturas com cimento, obteve-se uma mesma tendência, exceto a mistura 5% 1%.

Os valores obtidos nessa pesquisa quando comparados aos encontrados por outros autores apresentam pequena variação. Os valores de $\gamma_{dm\acute{a}x}$ das misturas se aproximam de 2,1 g/cm³ encontrado por Silva (2012). Já Pires (2014) encontrou valores de 2,023 g/cm³ e 1,963 g/cm³ para misturas estabilizadas granulometricamente. Observa-se que há variações nos resultados encontrados devido aos materiais possuírem diferentes origens, entretanto os valores são próximos aos encontrados nesta pesquisa.

4.2 ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA

Após a realização do ensaio de Compactação utilizou-se as amostras para o ensaio de Índice Suporte Califórnia. Os resultados dos ensaios de ISC são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16- Resultados do ensaio de ISC

Mistura	Expansão	ISC (%)
2% 0%	0	68
3% 0%	0	46
4% 0%	0	40
5% 0%	0	32
2% 1%	0	135
3% 1%	0	128
4% 1%	0	110
5% 1%	0	90

Os resultados obtidos podem ser comparados a solos grossos, pedregulhosos, do grupo G do Sistema Unificado de Classificação de Solos ou também A1 e A2 da classificação do TRB (*Transportation Research Board*) (DNIT, 2006). Todas as amostras da pesquisa apresentaram valores superiores 20% (ISC) e expansão inferior a 1%, parâmetros exigidos para materiais utilizados com sub-base. Para base os limites para utilização como camada de base são de no mínimo 60% de ISC e 0,5% de expansão máxima, logo todas as misturas cimentadas e a 2% 0% poderiam ser utilizadas.

Além disso, o aumento do teor de emulsão reduziu o ISC tanto nas misturas com ou sem cimento, e também a incorporação de cimento aumentou consideravelmente o ISC das misturas. A média do ISC das misturas com cimento foi de 249% maior que a média das misturas sem cimento.

Pires (2014) encontrou valores para mistura estabilizada granulometricamente com 70% de fresado e 30% material virgem entre 68% e 95%. Já Silva (2012) encontrou valores de 45%. Ambos os autores encontraram valores próximos aos dessa pesquisa. As misturas sem adição de cimento encontraram resultados mais próximos ao de Silva (2012) e as misturas com adição de cimento ao máximo encontrado por Pires (2014).

As misturas estabilizadas com a adição de cimento apresentam os requisitos mínimos para utilização como material de camada de base granular, segundo o método de projetos DNER de 1981. Para essa finalidade, o ISC deve ser superior a 80% e expansão inferior a 0,5%. Se o número de passagens do eixo padrão for

inferior a 10^6 o valor mínimo do ISC é de 60%, com isso, a mistura 2% 0% se enquadra dentro deste limite.

4.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

Para avaliação quanto a RCS foram ensaiadas 2 amostras por mistura, seguindo o prescrito pela DNER – ME 180/1994 – Solos estabilizados com cinza volante e cal hidratada – Determinação da resistência à compressão simples. A Tabela 17 apresenta os resultados médios obtidos após a realização dos ensaios em laboratório.

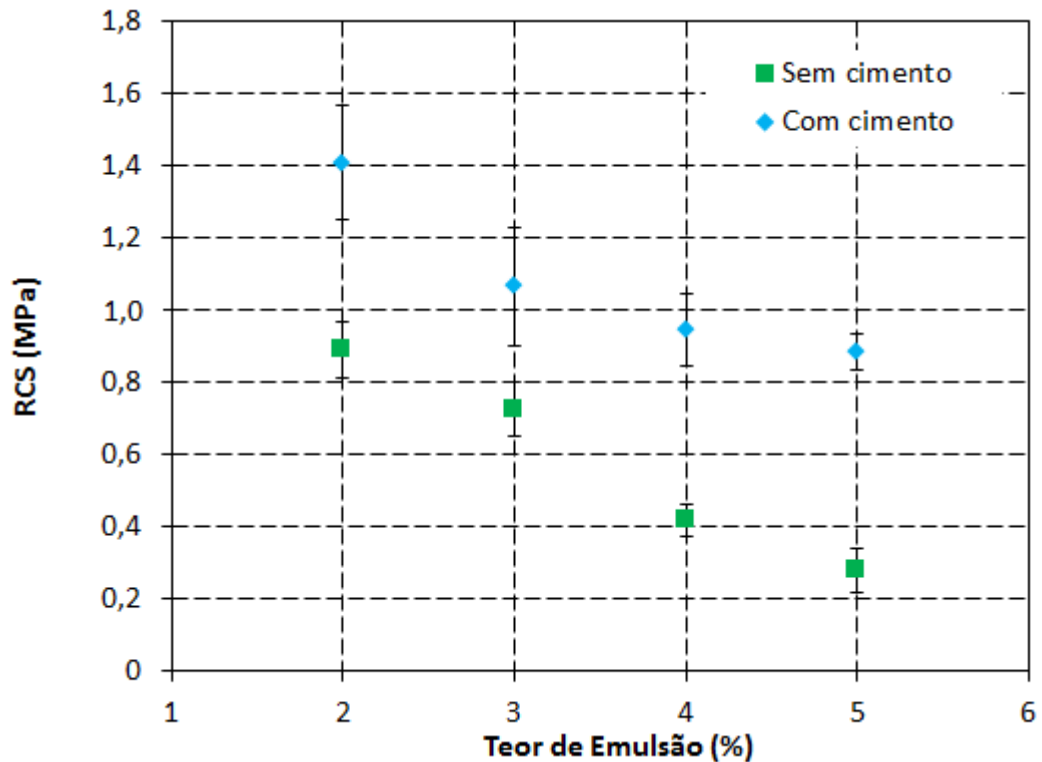
Tabela 17- Valores de RCS para as misturas ensaiadas

Mistura	RCS (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	CV (%)
2% 0%	0,89	0,08	8,55
3% 0%	0,72	0,08	10,39
4% 0%	0,42	0,05	10,94
5% 0%	0,31	0,04	12,60
2% 1%	1,41	0,16	11,13
3% 1%	1,07	0,16	15,30
4% 1%	0,95	0,10	10,42
5% 1%	0,88	0,05	5,58

O ensaio de RCS para pavimentação é um indicativo do comportamento da camada estudada ligado ao cisalhamento, conseqüentemente ao afundamento de trilha de roda (ATR), podendo ser utilizado como indicativo de deformação permanente.

As misturas com a adição de 1% de cimento apresentaram melhores resultados. Dentre esses destaca-se a mistura de 2% 1% que apresentou 1,41 MPa de resistência à compressão simples. Pode-se ainda constatar o decréscimo dos valores aferidos na realização dos ensaios com o aumento do teor de emulsão presente nas misturas. Os menores resultados são das misturas com 5% de emulsão tanto para misturas com ou sem adição de cimento, conforme a Figura 45.

Figura 45 - Resultados ensaio de RCS



A recomendação da normativa para reciclagem com cimento no Brasil, DNIT (2013a), propõe que o teor de cimento para a dosagem de mistura reciclada deve ser definido pela resistência a compressão mínima de 2,1 MPa, aos 7 dias, no qual nenhuma das 8 misturas atingiram o valor mínimo. Pires (2014) encontrou valores de 6,65% de cimento para o fresado oriundo da ERS-509 com RCS médio igual a 1,87 MPa, e 5,26% de cimento para o material da BR-290 com RCS médio igual 1,83 MPa. Ambos com a proporção de 70% de fresado e 30% de material virgem. Fredico (2015) encontrou valores de 1,90 MPa a 2,03 MPa aos 7 dias para misturas com incorporação de 70% de fresado e estabilização química com cimento, com o teor fixado em 4%. Os valores nas 8 misturas desta pesquisa são inferiores aos encontrados pelos autores citados anteriormente, mas as misturas propostas nessa pesquisa propuseram uma melhor compreensão do material estabilizado com a adição de 2%, 3%, 4% e 5% de emulsão onde foi adicionado apenas 1% de cimento.

Quanto ao modo de ruptura observou-se que apenas as amostras de 2% 1% e 3% 1%, conforme a Figura 46, apresentaram ruptura frágil com um plano de ruptura bem definido ou parcialmente definido. As demais misturas apresentaram ruptura dúctil onde não há definição de um plano de ruptura.

Figura 46 - Amostra rompida no ensaio de RCS



4.4 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

A Tabela 18 mostra a média de três corpos de prova para cada mistura ensaiada à compressão diametral na temperatura de 25°C, conforme norma DNER-ME 138/94. As mostras foram utilizadas após a realização dos ensaios de MR.

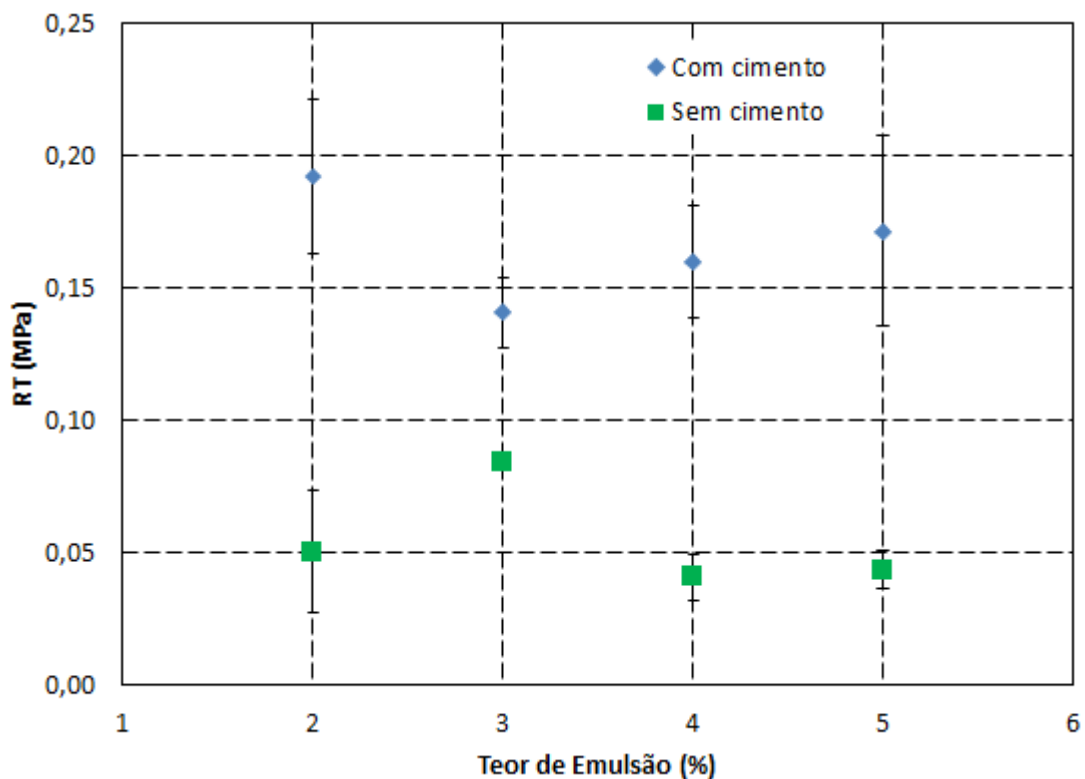
Tabela 18 - Valores de RT para as misturas ensaiadas

Mistura	RT (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	CV (%)
2% 0%	0,05	0,05	2,88
3% 0%	0,08	0,08	11,66
4% 0%	0,04	0,04	5,00
5% 0%	0,04	0,04	5,96
2% 1%	0,19	0,03	8,30
3% 1%	0,14	0,01	10,88
4% 1%	0,16	0,02	8,28
5% 1%	0,17	0,04	4,38

As misturas com a adição de 1% de cimento apresentaram valores superiores às misturas sem cimento. Dentre essas, a mistura 2% 1% obteve maior valor entre

todas apresentando 0,19 MPa e a mistura de 4% 0% apresentou o menor valor para esse ensaio, 0,04 MPa. Também nota-se que o aumento do teor de emulsão, em todas as misturas, não ocasionou uma diminuição linear dos resultados obtidos no ensaio, somente constata-se uma tendência de diminuição do RT com o aumento do teor de emulsão.

Figura 47 - Resultados de RT



Fedrico (2015) encontrou valores de RT da ordem de 0,28 MPa e 0,45 MPa para misturas cimentadas de base com 70% de fresado e teor de cimento de 4%. Pires (2014) encontrou valores de 0,26 MPa para misturas com fresado e adição de 50% Cinza de Casca de Arroz (CCA). Apesar dos resultados obtidos serem menores, a mistura 2% 1% chegou a valor próximo ao RT obtido por Fedrico e do RT resultante do estudo de Pires com apenas 1% de adição de cimento.

Quanto ao modo de ruptura, a Figura 48 apresenta uma amostra da mistura 2% 1%, que apresentou ruptura frágil, assim como a mistura 3% 1%. As demais misturas apresentaram ruptura dúctil.

Figura 48- Amostra de RT rompida



4.5 MÓDULO DE RESILIÊNCIA

As amostras foram ensaiadas a temperatura de 25°C e utilizou-se um tempo de carregamento de 0,1 s e um período de repouso de 0,9 s. O coeficiente de Poisson para realização do ensaio foi de 0,35. Os valores médios de três amostras, além do desvio padrão e coeficiente de variação (CV) estão apresentados na Tabela 19.

Tabela 19- Valores de MR

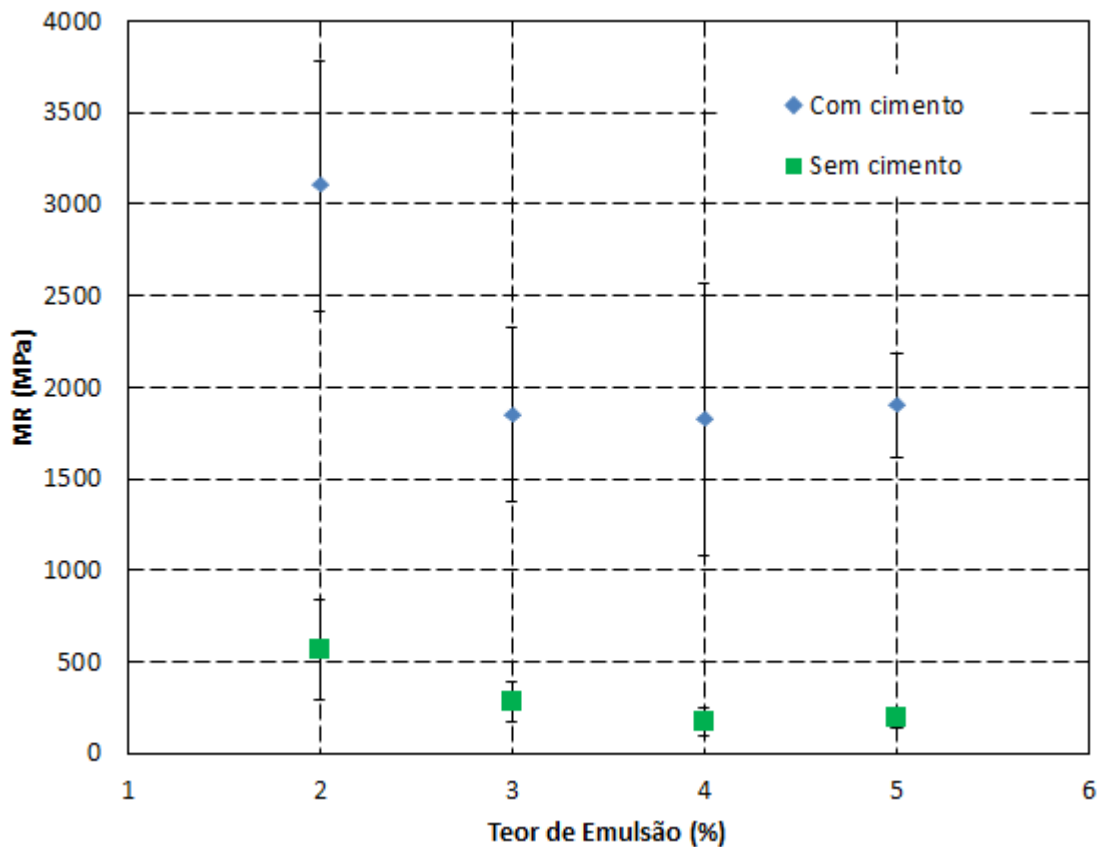
Mistura	MR médio (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	CV(%)
2% 0%	566	271	3,39
3% 0%	285	107	4,79
4% 0%	172	79	3,58
5% 0%	196	59	4,66
2% 1%	3098	679	7,13
3% 1%	1850	476	4,75
4% 1%	1825	739	6,73
5% 1%	1900	280	6,12

Em relação aos valores de MR encontrados observou-se um aumento considerável com a adição de cimento na mistura. Obteve-se valores variando entre 170 e 570 MPa para misturas sem cimento, já para as misturas cimentadas os

resultados oscilaram entre 1820 e 3100 MPa. A mistura 4% 1% apresentou um aumento de 10,6 vezes em relação ao MR sem cimento. Constatou-se também que a mistura com 2% de emulsão obteve os maiores resultados nos ensaios, tanto com adição de cimento quanto sem adição. A incorporação de cimento nas misturas aumentou a rigidez em 711% quando comparado os valores médios das misturas com e sem cimento.

Outro fato observado é que o aumento da quantidade de emulsão faz com que haja um decréscimo nos resultados tanto para misturas cimentadas quanto para as sem cimento. Conforme demonstra a Figura 49.

Figura 49 - Resultados de MR a 25°C



Valores típicos de base granular, conforme Balbo (2007), encontram-se entre 200 e 350 MPa. Somente 2 misturas não apresentaram resultado dentro da faixa encontrada pelo autor, 4% 0% e 5% 0%. As demais 6 misturas resultaram em valores superiores ao mínimo de 200 MPa.

Alvarez (1998) apresenta valores obtidos para solos finos em torno de 200 MPa, obtidos através de retroanálise, para o estado de São Paulo. Valle (1997) apresenta valores para solos granulares entre 115 MPa e 415 MPa. Pires (2014) encontrou valores entre 5311MPa e 7154MPa para base reciclada com cimento no teor de 5%. Fedrigo (2015) mostrou resultados para misturas com 70% de fresado com 4% de cimento de 8420 MPa e 7892 MPa. Para a Mistura de 2% 1% obteve-se o valor de 3098 MPa e para misturas cimentadas um valor mínimo de 1800 MPa.

Para melhor compreensão do comportamento das misturas propostas como camada de pavimento, realizou-se uma modelagem utilizando as misturas como camada de base. Buscou-se através das deformações resultantes avaliar o comportamento da camada reciclada.

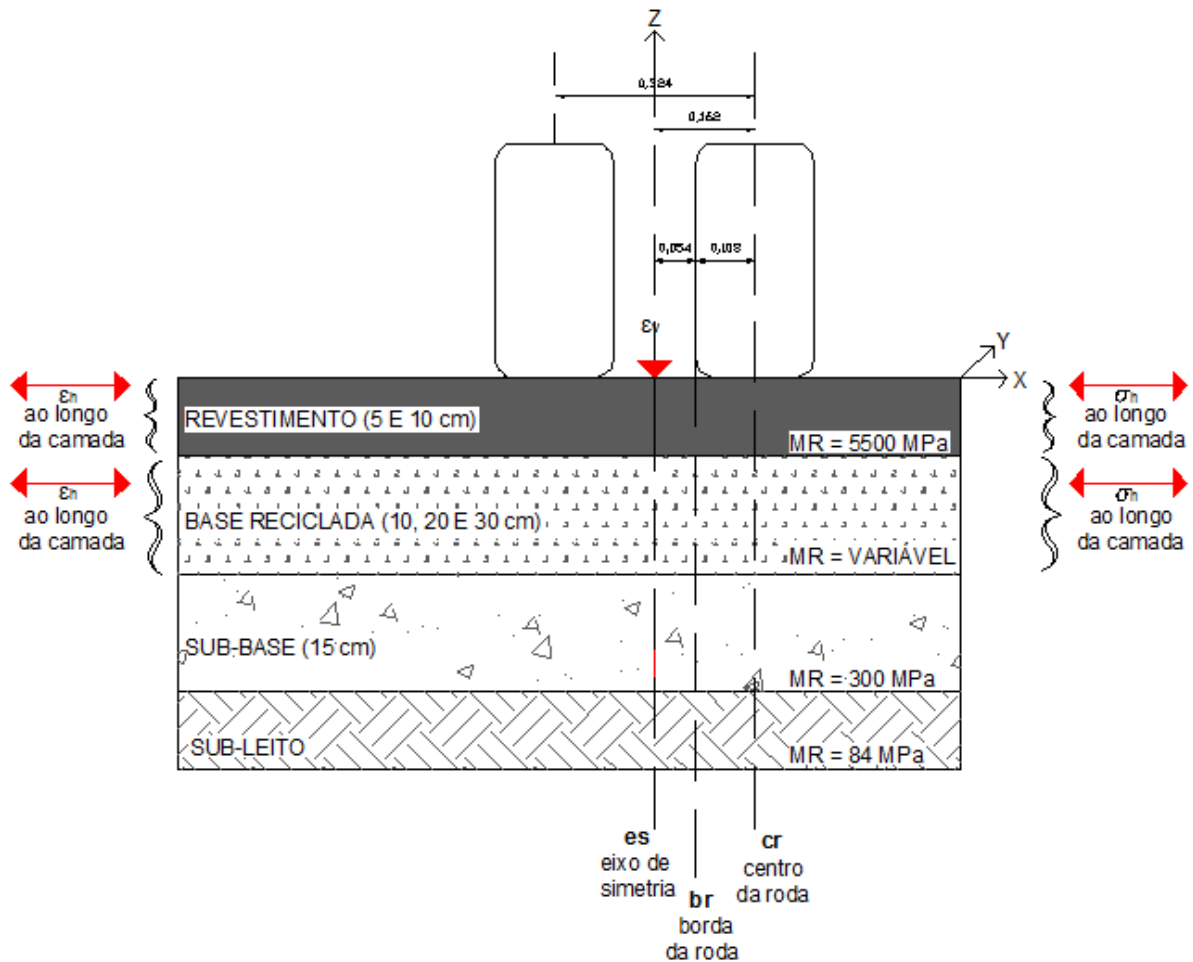
A partir dos valores obtidos no módulo de resiliência foi empregada ferramenta AEMC do software SisPav. Baseando-se em conceitos de análise mecanicista, analisaram-se as deformações específicas vertical no topo revestimento (ε_v), deformação específica horizontal ao longo do revestimento (ε_h) e deformação específica horizontal ao longo da base reciclada (ε_h), que permitem analisar e aplicar modelos de desempenho para fadiga e deformação permanente. Também foram analisadas as tensões ao longo da camada de revestimento (σ_h) e as tensões ao longo da camada de base reciclada (σ_h). Todas as hipóteses para a análise estrutural consideram a situação de aderida e não aderida da camada de revestimento a camada de base reciclada.

Os materiais e parâmetros elásticos utilizados nas simulações são típicos de pavimentos flexíveis do Rio Grande do Sul. O Eixo Simples de Rodas Duplas (ESRD) transmitindo uma carga total de 8,2 toneladas, ou seja, a carga por roda é de 2,05 toneladas, a pressão dos pneus é de 0,56 MPa e a distância entre rodas de 0,324m para todas simulações.

Para cada camada o programa analisou os três pontos eixo de simetria, borda da roda e centro da roda (es, br e cr), devido a variação no local onde ocorrerá maior deformação. Através das análises estruturais obteve-se resultados nos três pontos dos eixos longitudinais e após análise dos resultados utilizou-se os maiores valores em módulo. Determinou-se uma estrutura onde se variou a camada de revestimento asfáltico com espessuras de 5 e 10 cm, a base reciclada de 10, 20 e 30 cm, uma camada de 15 cm de Brita Graduada Simples (BGS) e um subleito argiloso BR 158.

A estrutura do pavimento cujas deformações foram analisadas está esquematizada na Figura 50.

Figura 50 - Estrutura para análise de deformações



Para a camada de revestimento foi utilizado um MR de 5500 MPa típico de revestimentos do Rio Grande do Sul. Na base foram utilizados os módulos encontrados na pesquisa, demonstrada na Tabela 2. Para a camada de BGS utilizou-se 300 MPa, valor retirado de Balbo (2007) e foi utilizado 84 MPa para o subleito proveniente de pesquisas realizadas por Santos (2016). Somente a camada de revestimento possui aderência ou não com sua camada seguinte.

As misturas cimentadas obtiveram seus MR consideravelmente maiores do que as sem cimento, observado na Tabela 19, que reflete nas deformações específicas. Outro fator que influenciou nas deformações foi a espessura da camada de revestimento, esta diminui os valores, em módulo, das deformações. Juntamente

com a espessura da camada de revestimento, a espessura da camada de base reciclada também reduz significativamente as deformações específicas.

Os resultados obtidos para deformação específica vertical no topo do revestimento a partir da simulação de Análise Elástica de Múltiplas Camadas para a espessura de 5 cm para a camada de revestimento asfáltico e para a espessura de 10 cm para a camada de base reciclada, estão representadas nas Tabela 20 e Tabela 21, respectivamente:

Tabela 20 - Resultados de deformação específica vertical no topo do revestimento para espessura de revestimento de 5 cm.

5 cm de revestimento			Aderido	Não Aderido
Misturas	MR (MPa)	Espessura da base	Deflexão ($\times 10^{-2}$ mm)	Deflexão ($\times 10^{-2}$ mm)
2-0	566	10 cm	67	77
3-0	285		76	82
4-0	172		83	86
5-0	196		81	85
2-1	3098		48	63
3-1	1850		53	68
4-1	1825		53	68
5-1	1900		53	68
2-0	566	20 cm	53	64
3-0	285		65	75
4-0	172		77	84
5-0	195		74	82
2-1	3098		33	41
3-1	1850		37	47
4-1	1825		37	47
5-1	1900		37	47
2-0	566	30 cm	44	54
3-0	285		58	67
4-0	172		71	80
5-0	195		67	76
2-1	3098		25	30
3-1	1850		29	36
4-1	1825		30	36
5-1	1900		29	35

Tabela 21 - Resultados de deformação específica para espessura de revestimento de 10 cm.

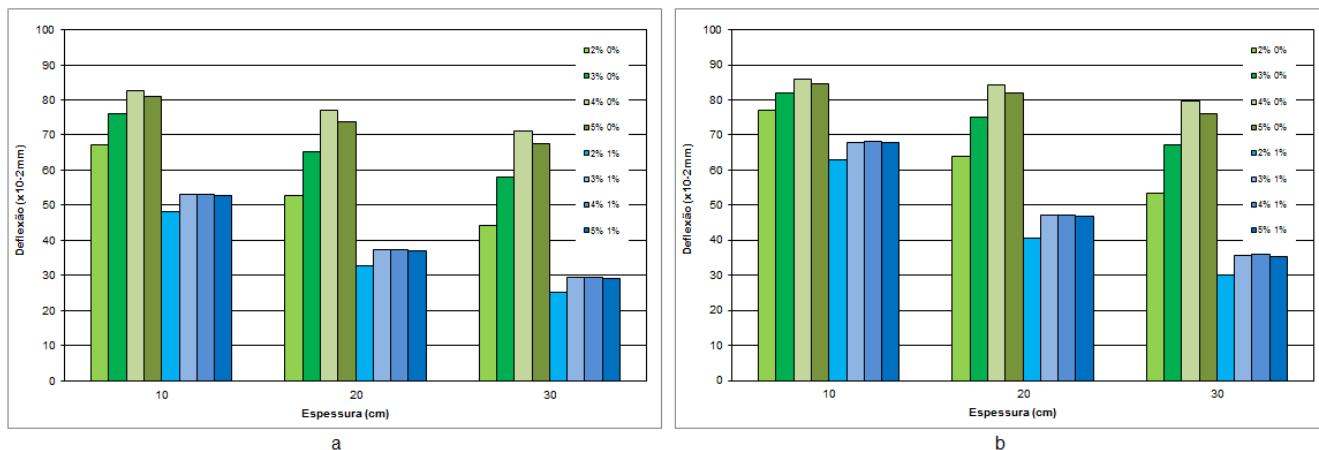
10 cm de revestimento			Aderido	Não Aderido
Misturas	MR (MPa)	Espessura da base	Deflexão ($\times 10^{-2}$ mm)	Deflexão ($\times 10^{-2}$ mm)
2-0	566	10 cm	51	58
3-0	285		56	59
4-0	172		59	61
5-0	196		58	60
2-1	3098		38	53
3-1	1850		42	55
4-1	1825		42	55
5-1	1900		42	55
2-0	566		20 cm	43
3-0	285	51		58
4-0	172	57		61
5-0	196	55		60
2-1	3098	28		39
3-1	1850	31		43
4-1	1825	31		43
5-1	1900	31		43
2-0	566	30 cm		37
3-0	285		46	54
4-0	172		54	60
5-0	196		52	58
2-1	3098		22	29
3-1	1850		25	34
4-1	1825		25	34
5-1	1900		25	34

Nota-se uma melhor resposta às solicitações das misturas cimentadas para ambas as espessuras de revestimento, quando comparadas as misturas sem cimento, devido ao aumento de rigidez que o cimento trouxe às misturas. Quando comparadas a análise aderido e não aderido as misturas apresentam valores menores quando aderidas a camada de revestimento pois o revestimento e base reciclada são solicitados em conjunto com uma única camada.

A Figura 51 apresenta os valores encontrados para deflexão no topo do revestimento de 5 cm de espessura. Pode-se observar que as misturas cimentadas apresentam valores menores que as sem cimento para todas as espessuras de base. O aumento da camada de base reciclada diminui as deflexões em todas as

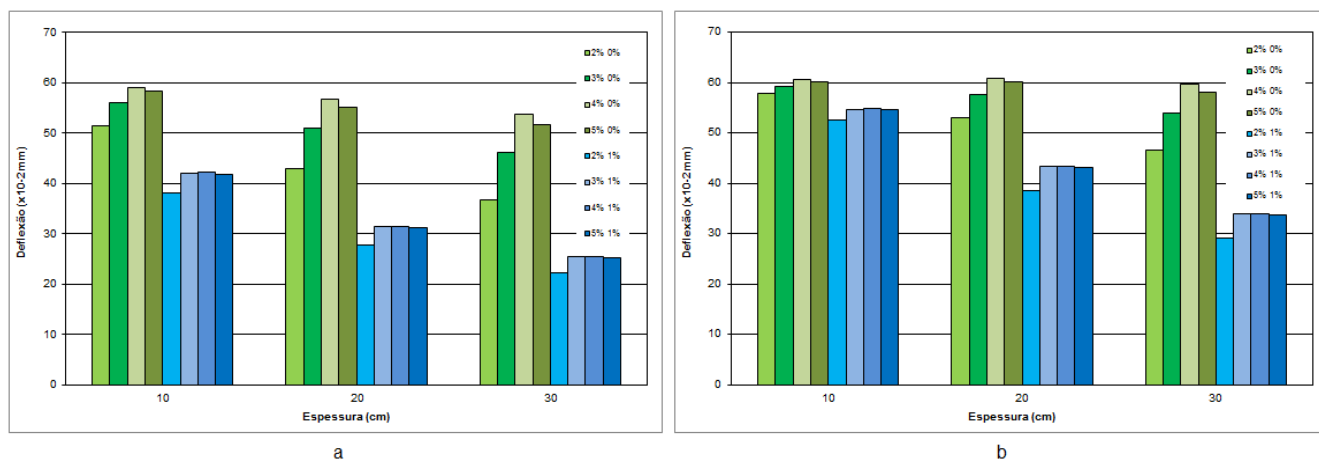
misturas. Considerar a camada de revestimento aderida a camada de base também diminui os resultados de deflexão.

Figura 51- Deflexão para 5 cm de revestimento aderido (a) e não aderido (b)



O aumento da espessura de revestimento para 10 cm ocasionou a diminuição das deflexões em todas as misturas. Comparando-se as cimentadas e sem cimento, as cimentadas apresentaram resultados menores. Assim como o aumento da espessura da camada de base reciclada ocasionou a diminuição das deflexões. Quando analisadas as estruturas aderidas em comparação as não aderidas observa-se valores menores nas combinações com aderência devido as camadas de revestimento e base reciclada estarem resistindo as solicitações em conjunto.

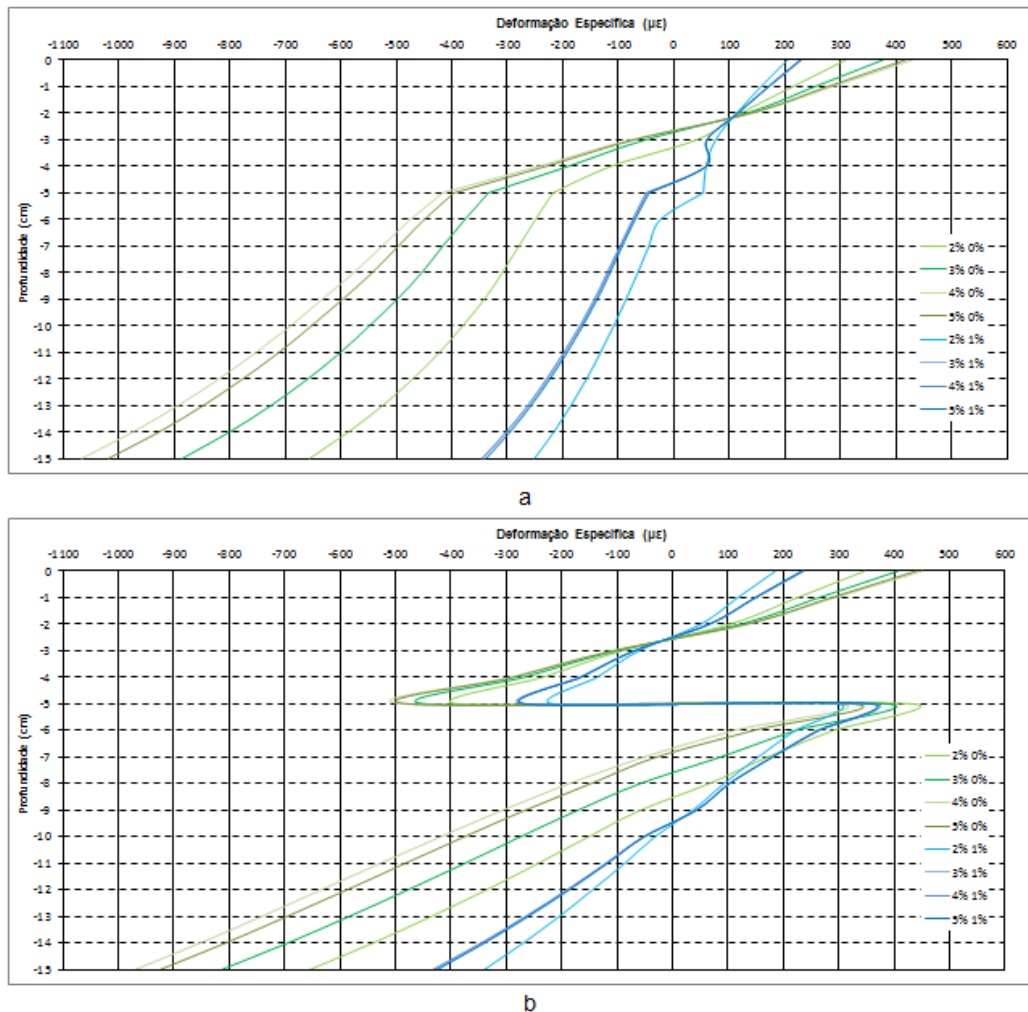
Figura 52 - Deflexão para 10 cm de revestimento aderido (a) e não aderido (b)



Dentre todas as misturas as menores deflexões encontradas foram encontradas nas combinações com a mistura 2% 1%. A estrutura que obteve melhor comportamento foi a composta por 10 cm de revestimento e 30 cm de base reciclada aderida.

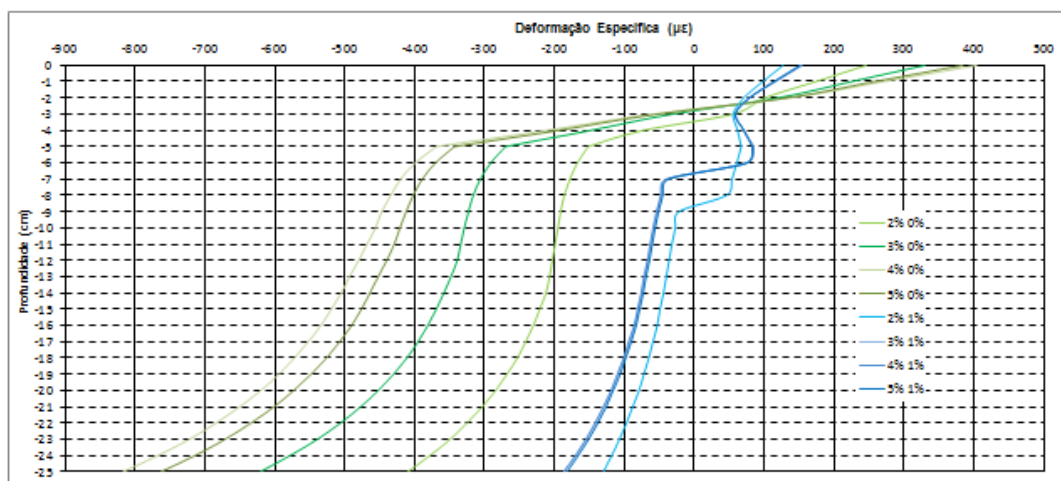
Para melhor compreensão das misturas estudadas também se verificaram as deformações específicas horizontais ao longo do revestimento e da base reciclada para as análises estruturais propostas. Na Figura 53 observa-se que as estruturas aderidas apresentaram menores deformações quando comparadas as não aderidas. Também pode-se observar que as deformações das misturas cimentadas são menores que as sem cimento. Destaca-se a mistura 2% 1% com menores valores de deformação no fundo do revestimento e no fundo da base reciclada.

Figura 53 - Deformação específica horizontal ao longo do revestimento (5 cm) e da base reciclada (10 cm) aderido (a) não aderido (b)

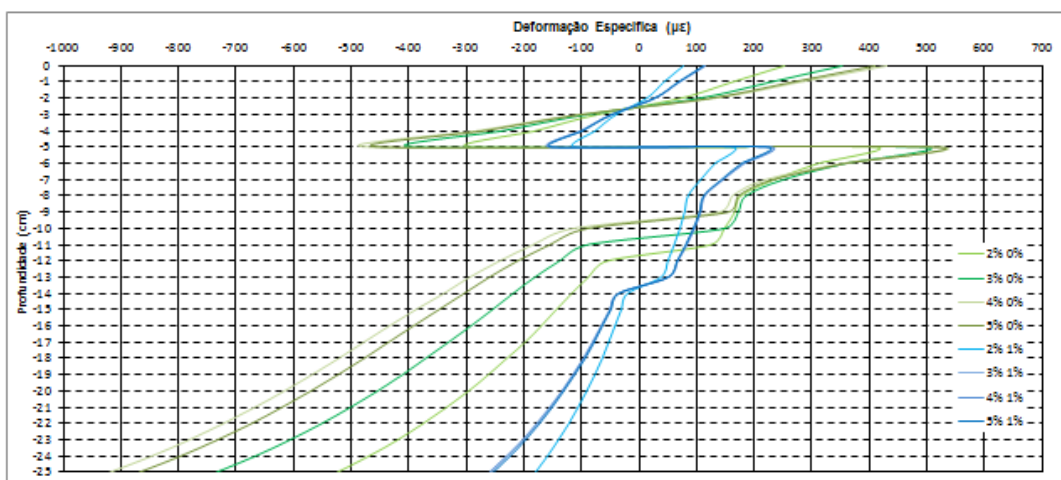


Com o aumento da camada de base reciclada para 20 cm, conforme demonstra a Figura 54, verifica-se que as deformações horizontais diminuem em relação a de 10cm. Quando comparadas as estruturas aderidas e não aderidas a primeira apresenta menores valores. E quando comparam-se as misturas cimentadas com as sem cimento os resultados para as cimentadas são menores.

Figura 54 - Deformação específica horizontal ao longo do revestimento (5 cm) e da base reciclada (20 cm) aderido (a) não aderido (b)



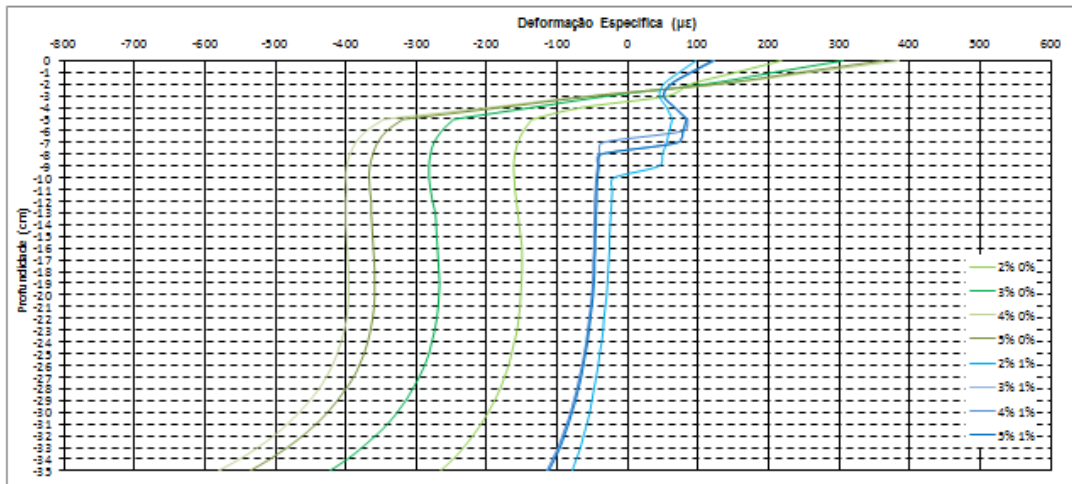
a



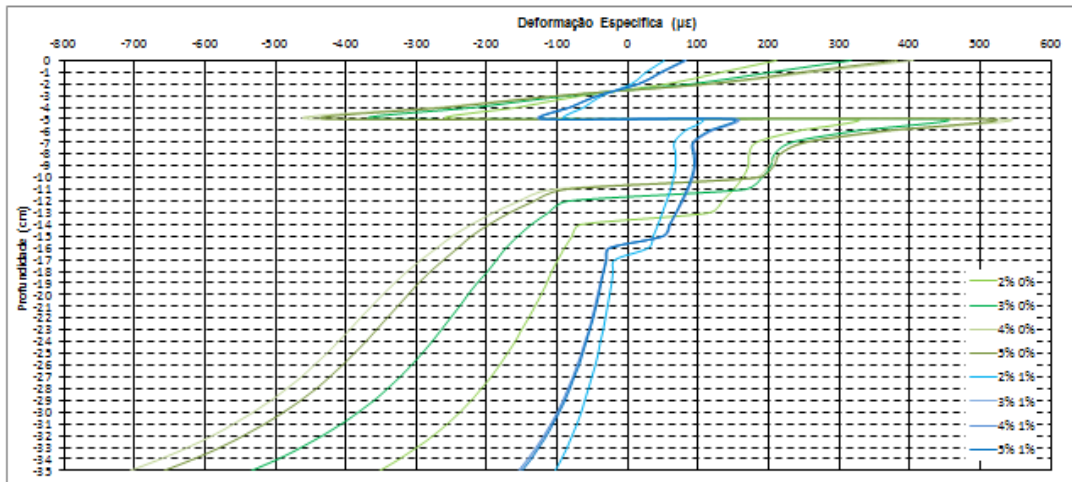
b

A camada de 30 cm de base reciclada apresentou as menores deformações horizontais segundo a Figura 55 para 5 cm de revestimento. As misturas cimentadas apresentaram menores valores de deformação horizontal. A análise considerando as camadas de revestimento e base reciclada aderida também. Pode-se destacar a mistura 2% 1% com menor valor de deformação horizontal no fundo do revestimento e de base reciclada entre todas as espessuras de base para 5 cm de revestimento.

Figura 55 - Deformação específica horizontal ao longo do revestimento (5 cm) e da base reciclada (30 cm) aderido (a) não aderido (b)



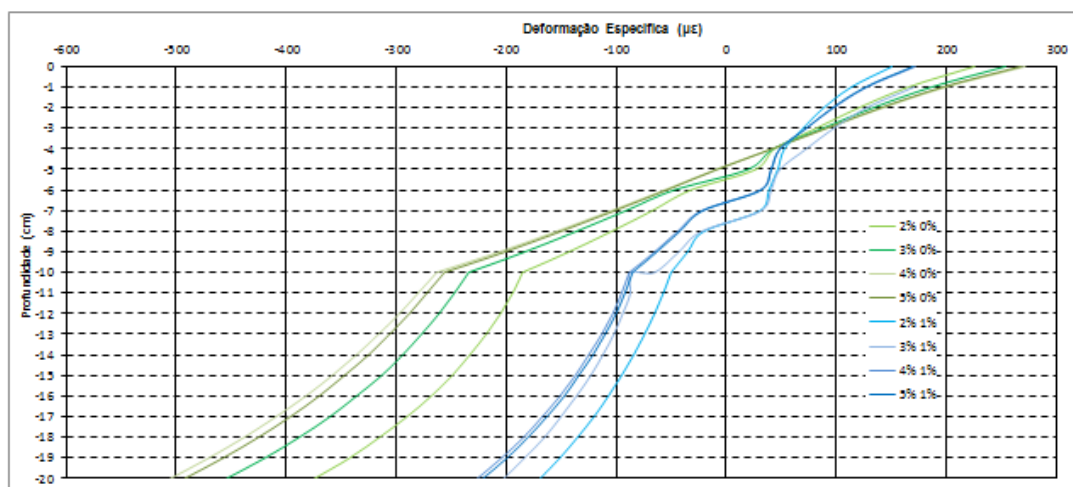
a



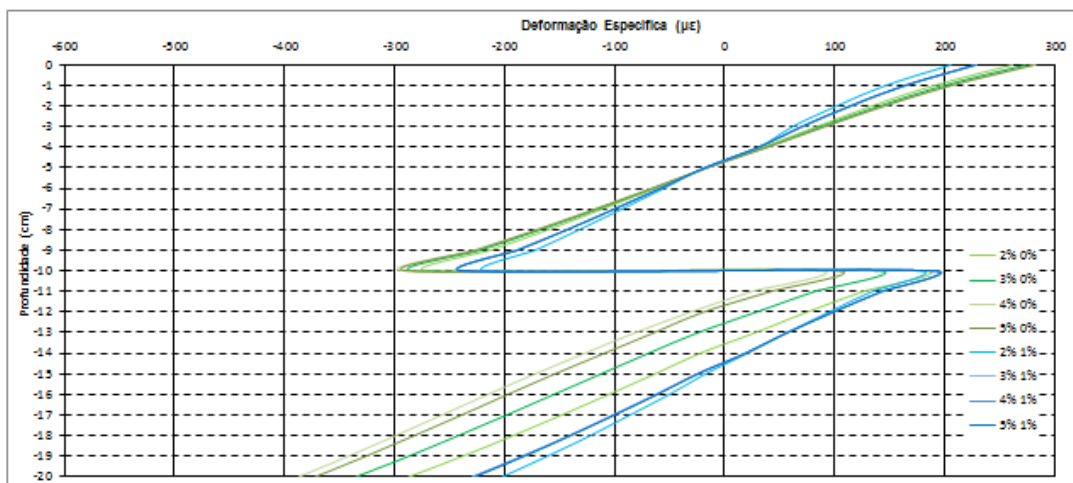
b

Na Figura 56 as deformações horizontais para estrutura com 10 cm de revestimento e 10 cm de base reciclada são apresentadas. Pode-se notar que as misturas cimentadas apresentam menores valores que as sem cimento. Também considerar a camada de revestimento aderida à camada de base reciclada diminuiu os resultados obtidos na análise. Quando comparadas as deformações com a estrutura com 5 cm de revestimento e 10 cm de base reciclada observa-se deformações menores para a estrutura com 10 cm de revestimento.

Figura 56 - Deformação específica horizontal ao longo do revestimento (10 cm) e da base reciclada (10 cm) aderido (a) não aderido (b)



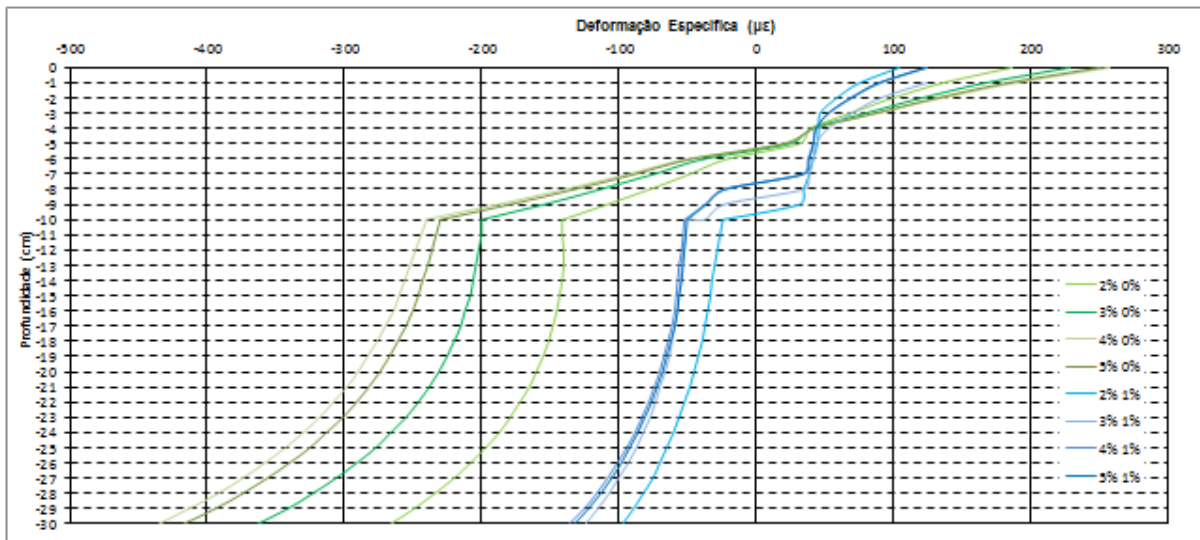
a



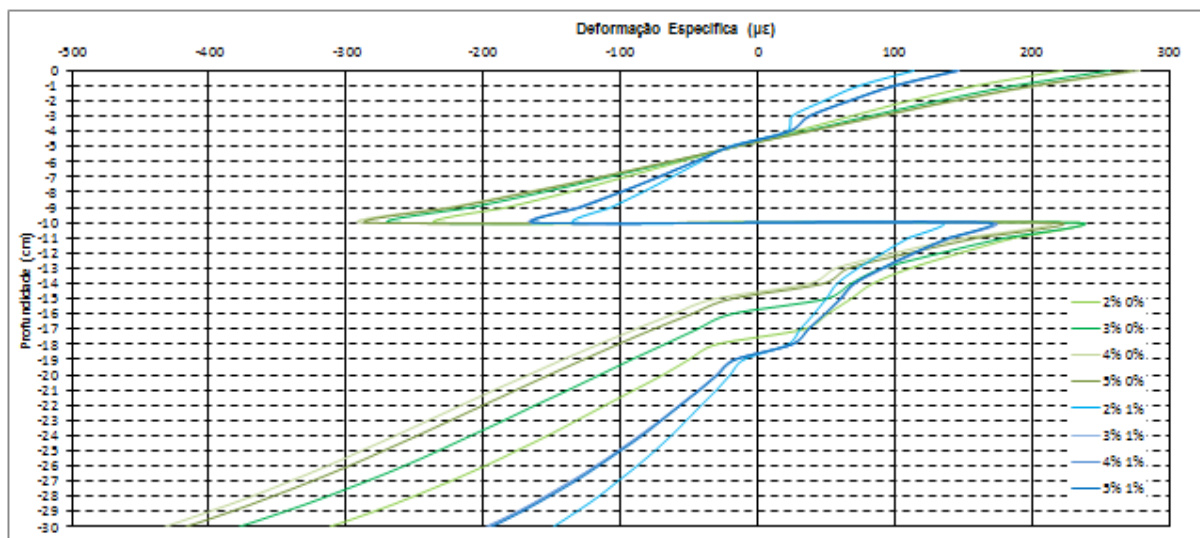
b

O aumento da espessura de base para 20 cm para a estrutura com 10 cm de revestimento, ocasionou a diminuição dos valores de deformação específica horizontal tanto para o revestimento quanto para a camada de base, conforme a Figura 57. As misturas cimentadas apresentaram menores deformações quando comparadas as sem cimento. Quando comparadas as análises aderida e não aderida, aderida mostra melhores resultados, ou seja, menores deformações específicas horizontais.

Figura 57 -Deformação específica horizontal ao longo do revestimento (10 cm) e da base reciclada (20 cm) aderido (a) não aderido (b)



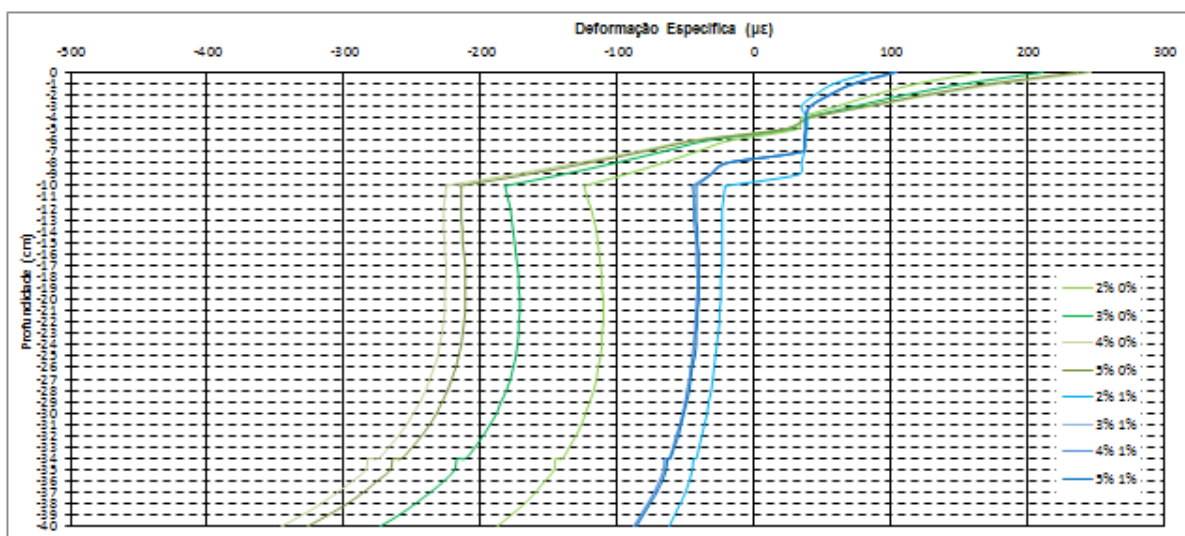
a



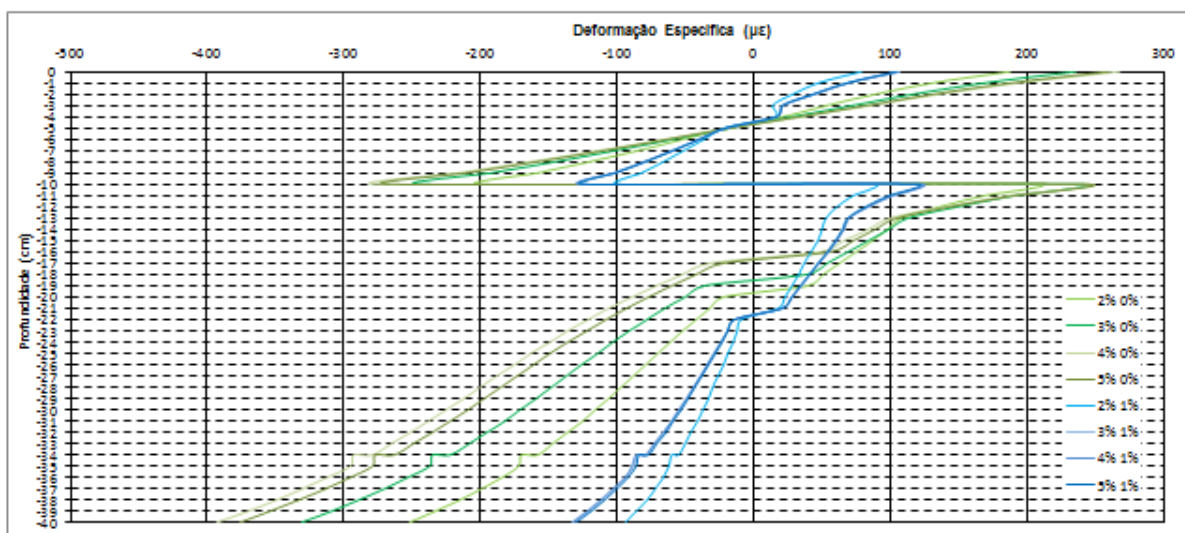
b

A Figura 58 mostra os melhores resultados entre as estruturas estudadas. Com maior espessura de revestimento e de base reciclada, apresentando os menores valores de deformação específica horizontal. Quando comparadas as estruturas aderida e não aderida, a aderência entre camadas ocasionou melhores resultados. Entre todas as misturas, as cimentadas apresentaram menores deformações.

Figura 58 - Deformação específica horizontal ao longo do revestimento (10 cm) e da base reciclada (30 cm) aderido (a) não aderido (b)



a



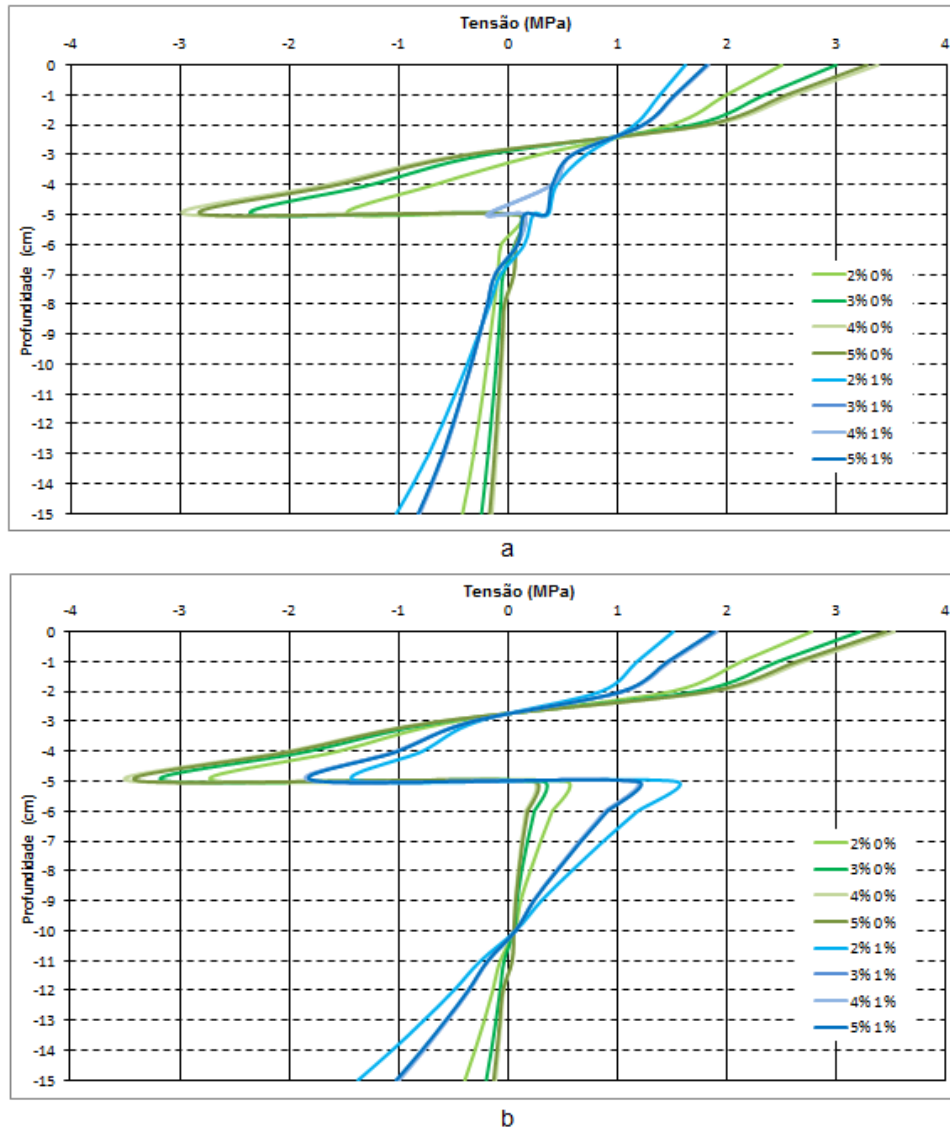
b

Para as deformações específicas horizontais, a mistura 2% 1% apresentou menores valores na estrutura aderida. Também obteve melhor resultado na estrutura com 10 cm de revestimento e 30 cm de base. Assim o aumento da espessura de base e revestimento contribuiu para diminuição das deformações.

Outro aspecto importante a ser verificado nas estruturas propostas é a tensão horizontal na base reciclada. Assim na Figura 59, pode-se verificar a distribuição das tensões ao longo do revestimento de 5 cm e da camada de base reciclada de 10 cm. Quando comparadas as misturas cimentadas e não cimentadas, as cimentadas apresentam maiores valores de tensão horizontal no fundo da camada de base

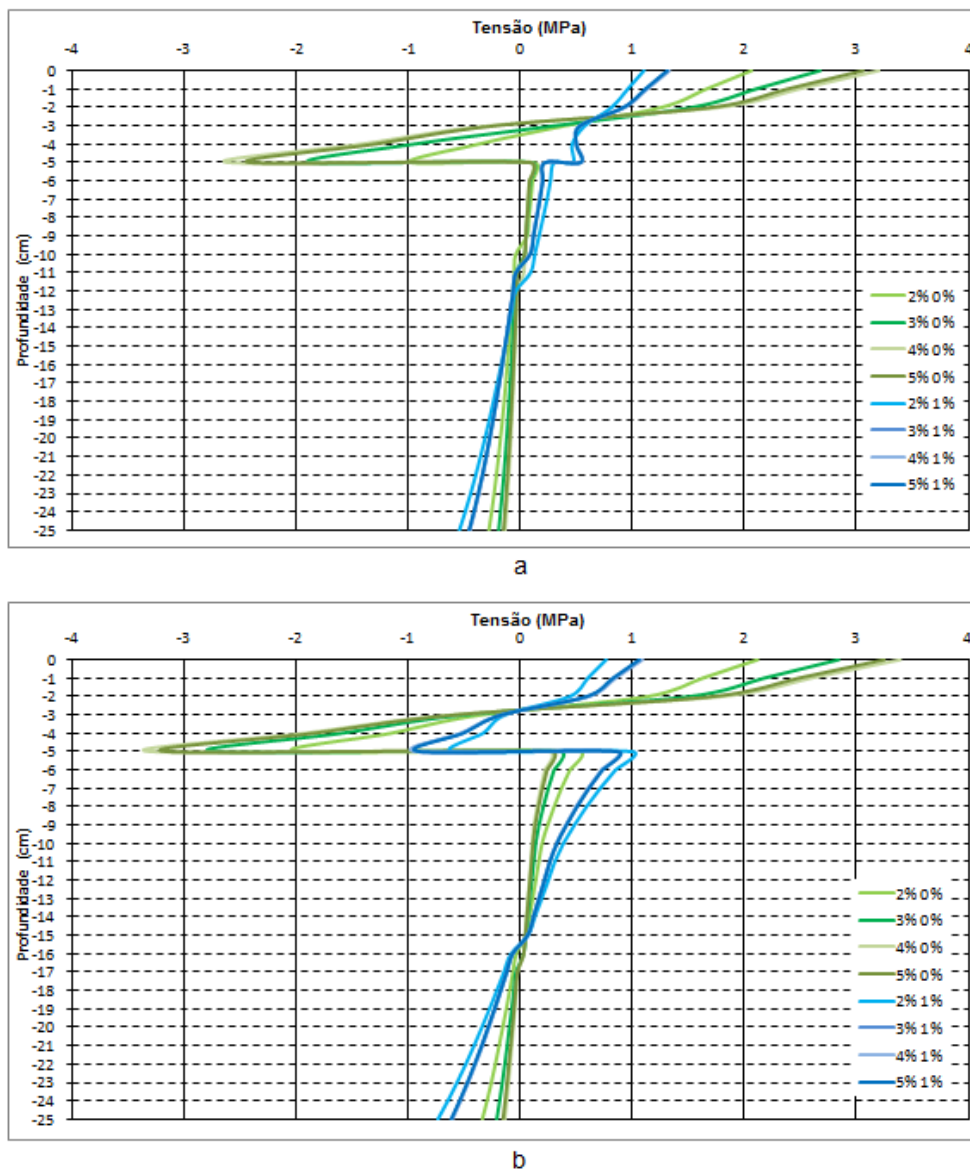
reciclada. A estrutura aderida apresenta menores valores de tensão no fundo da camada de base reciclada. Na estrutura não aderida fica bem definido a compressão e tração na base reciclada e na aderida praticamente tração.

Figura 59 - Tensão horizontal ao longo do revestimento (5 cm) e da base reciclada (10 cm) aderido (a) não aderido (b)



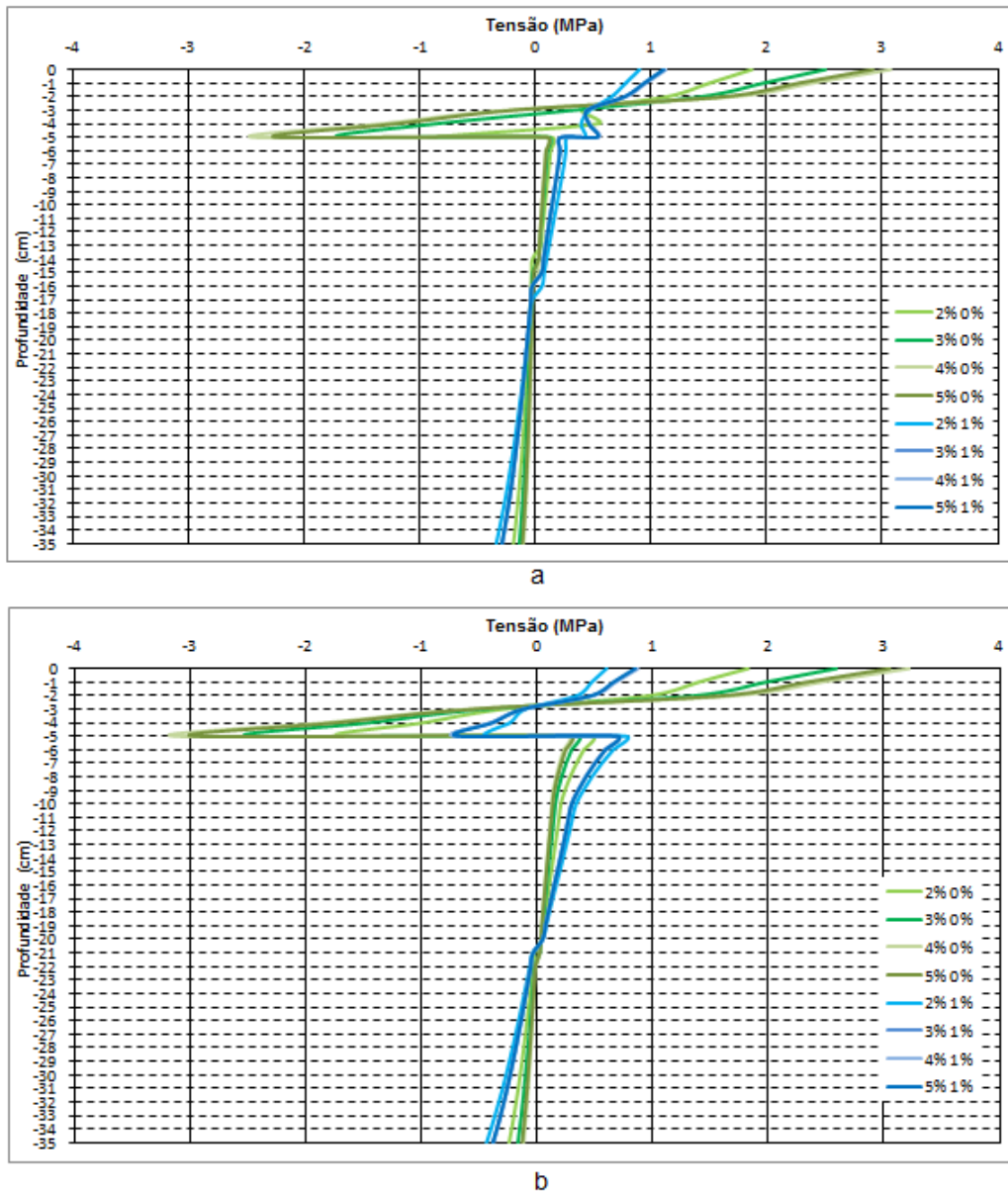
O aumento da camada de base para 20 cm ocasionou a diminuição dos valores de tração no fundo da camada de base reciclada conforme a Figura 60. As tensões horizontais são menores na estrutura aderida. No fundo da camada reciclada é menor a tensão para as misturas não cimentadas.

Figura 60 - Tensão horizontal ao longo do revestimento (5 cm) e da base reciclada (20 cm) aderido (a) não aderido (b)



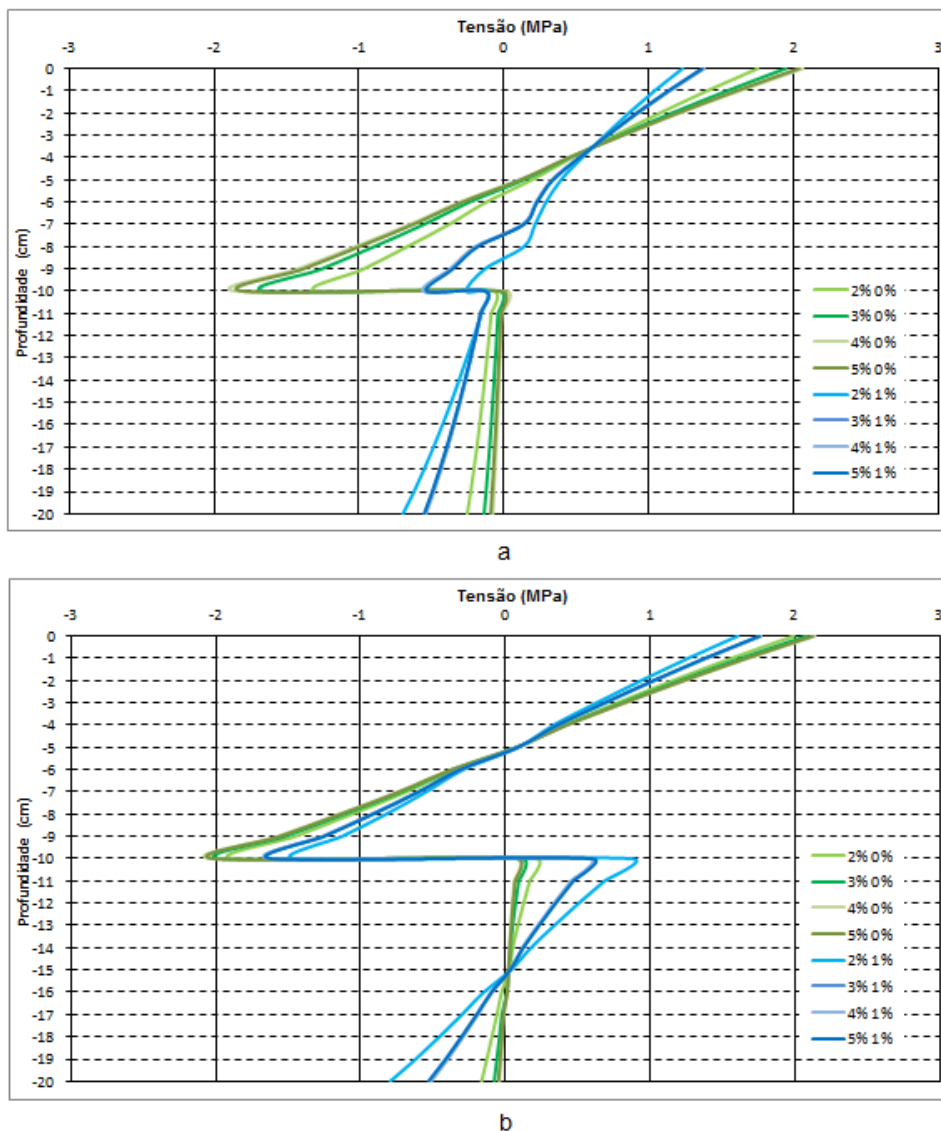
A camada de base reciclada com espessura de 30 cm apresenta maiores valores de tensão horizontal para as misturas cimentadas, conforme a Figura 61. A estrutura aderida apresenta menor variação das tensões nas camadas e menores valores de tensão horizontal. Dentre as estruturas com 5 cm de revestimento a que possui 30 cm de base reciclada apresentou as menores tensões devido e feito portante da base. A Mistura 2% 1% obteve os maiores valores de tensão para as misturas cimentadas.

Figura 61 - Tensão horizontal ao longo do revestimento (5 cm) e da base reciclada (30 cm) aderido (a) não aderido (b)



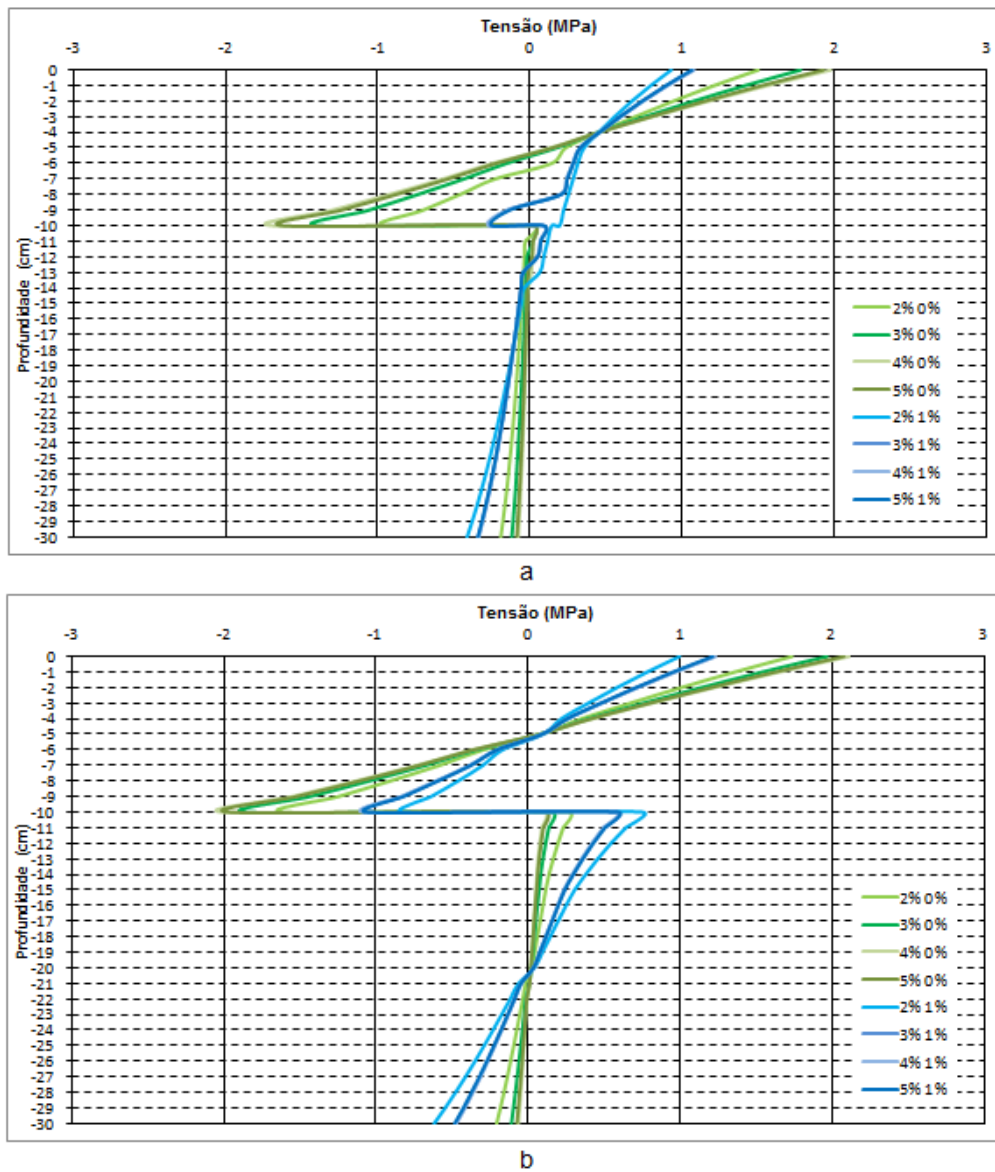
Na Figura 62 pode-se observar a estrutura com 10 cm de revestimento e 10 cm de base reciclada. As tensões no fundo da camada de base são menores para a estrutura não aderida. As maiores tensões são das misturas cimentadas. Aderir a camada de revestimento à base ocasionou a ocorrência de tração em toda a camada de base reciclada.

Figura 62 - Tensão horizontal ao longo do revestimento (10 cm) e da base reciclada (10 cm) aderido (a) não aderido (b)



O aumento da espessura da camada de base reciclada para 20 cm, conforme a Figura 63, causou uma atenuação nas tensões horizontais ao longo das camadas de revestimento e base reciclada. A estrutura aderida apresentou tensão de tração em praticamente toda camada de base reciclada e valores inferiores a estrutura não aderida. Já as misturas cimentadas apresentaram maiores valores de tensão horizontal.

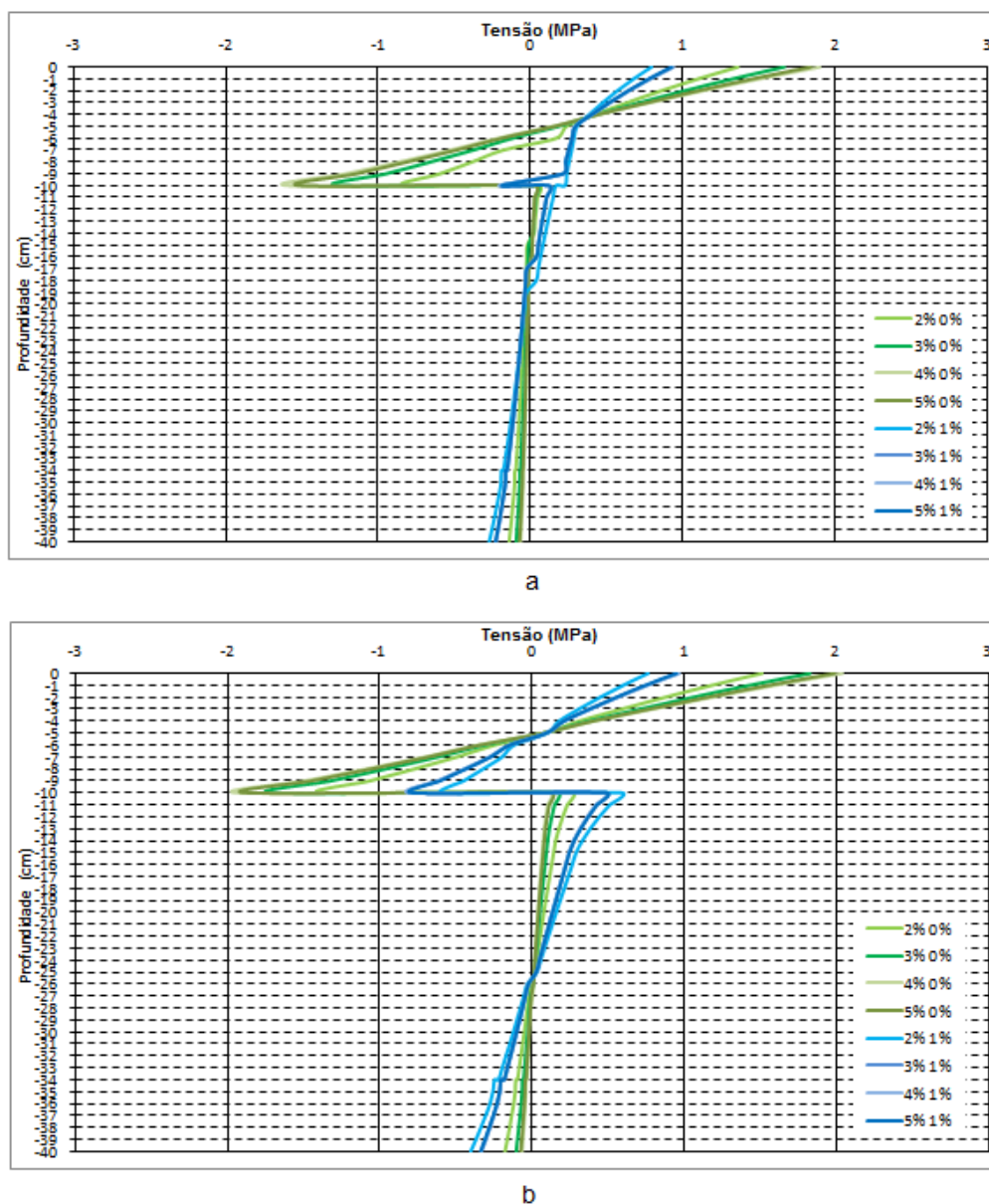
Figura 63 - Tensão horizontal ao longo do revestimento (10 cm) e da base reciclada (20 cm) aderido (a) não aderido (b)



Os menores valores de tensão no fundo da camada de base reciclada foram encontrados na estrutura 10 cm de revestimento e 30 cm de base reciclada, conforme a Figura 64. As misturas cimentadas apresentaram valores superiores às sem cimento tanto para estrutura aderida quanto não aderida. Na estrutura aderida obteve-se valores de tensão de tração de 0,27 MPa para a mistura 2% 1% valor superior ao limite imposto pelo ensaio de RT de 0,19 MPa. Assim indicando que ocorreria ruptura por tração no fundo da camada de base reciclada. Vale lembrar que é mais usual e corriqueiro a análise em termos de deformações e não de tensões e que está se comprando com os valores de resistência obtidos no ensaio

de tração por compressão diametral, que tem por característica ser bastante rigoroso, quando comparado ao ensaio de tração na flexão. Uma análise de danificação por fadiga poderia elucidar e compreender o comportamento deste material. Todos os valores apresentados para tensão e deformação são apresentados no apêndice b.

Figura 64 - Tensão horizontal ao longo do revestimento (10 cm) e da base reciclada (20 cm) aderido (a) não aderido (b)



Para melhor entendimento das tensões atuantes fez-se uma análise da mesma estrutura de 10 cm de revestimento e 30 cm de base utilizando bgs com 250

MPa de MR. Notou-se que no fundo da camada de bgs surgiram tensões de 0,09 MPa, mas a bibliografia indica materiais granulares não apresentam tensão e esta deve ser considerada nula. Logo deve-se aprofundar a análise e ser cauteloso com conclusões obtidas a partir da análise de tensões (e não deformações) dos materiais utilizados.

Na análise estrutural proposta mostrou que a mistura de base reciclada com adição de cimento ocasionou melhora nos resultados de deflexão. Também melhorou os resultados quando a deformação horizontal na camada de base. Já a tensão horizontal nas camadas apresentou maiores valores de tensão para as mistura cimentadas.

A mistura 2% 1% apresentou os melhores resultados de deflexão e deformação. E os maiores valores de tensão horizontal. Além disso, a condição aderida favoreceu a obtenção de valores menores. Portanto deve-se ter cuidado para o emprego do material no campo. É preciso compreender seu comportamento e dimensionar uma estrutura corretamente para posterior aplicação do material estudado como base reciclada.

4.6 MÓDULO COMPLEXO

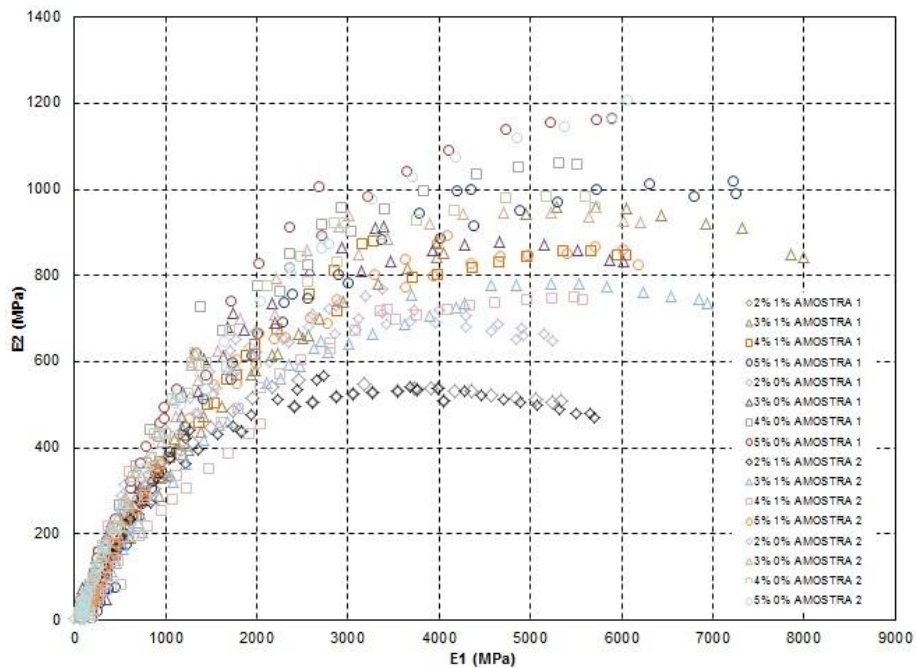
O ensaio de módulo complexo foi realizado conforme os procedimentos de AASHTO T 342-11 – *Determining Dynamic Modulus of Hot-mix Asphalt (HMA)*, nas temperaturas de -10°C, 4°C, 21°C, 37°C e 54°C com todas as frequências disponíveis no software UTS006 – *SPT Dynamic Modulus Test*, 25 Hz, 20 Hz, 10 Hz, 5 Hz, 2 Hz, 1 Hz, 0,5 Hz, 0,2 Hz, 0,1 Hz, 0,01 Hz.

Através do ensaio foram coletados os valores de módulo dinâmico e ângulo de fase das misturas nas referidas temperaturas e frequências, sendo ensaiadas 2 amostras por mistura. Os resultados serviram de base de dados para a calibração do 2S2P1D. As tabelas com os valores médios das duas amostras são apresentadas no Apêndice B.

Os resultados do ensaio de módulo complexo são expressos em gráficos no espaço Cole Cole, Diagrama de Black, Curvas mestras de módulo dinâmico e ângulo de fase, a fim de compreender o comportamento viscoelástico das misturas.

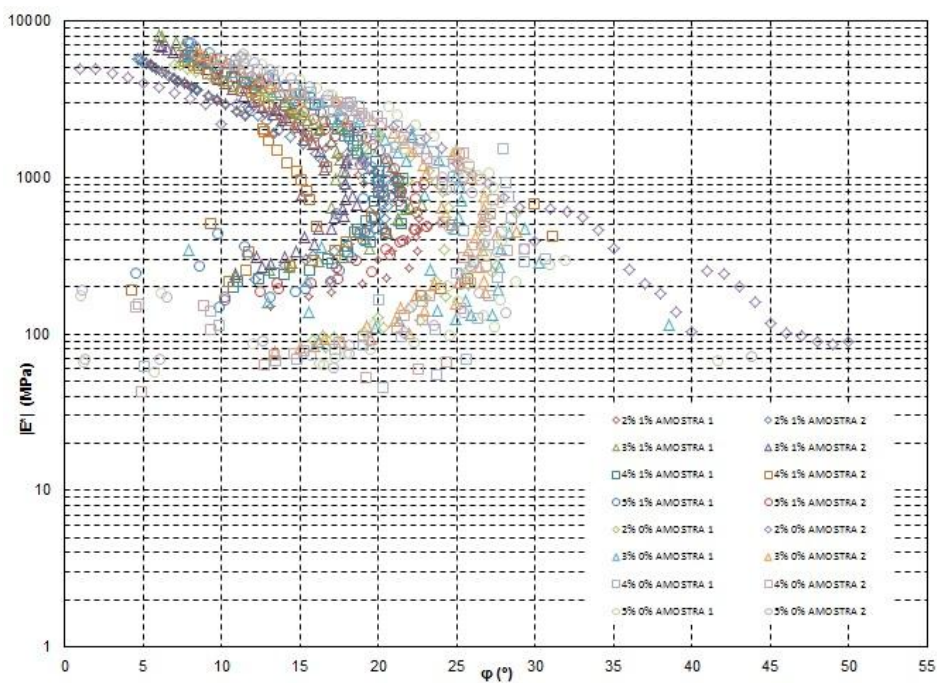
Em relação ao espaço Cole Cole, a Figura 65 mostra os valores obtidos das duas amostras por mistura, representando 16 pontos experimentais.

Figura 65- Espaço Cole Cole amostra 1 e amostra 2



No Diagrama de Black, a Figura 66 mostra os valores obtidos das duas amostras por mistura, representando 16 pontos experimentais.

Figura 66- Diagrama de Black amostra 1 e amostra 2



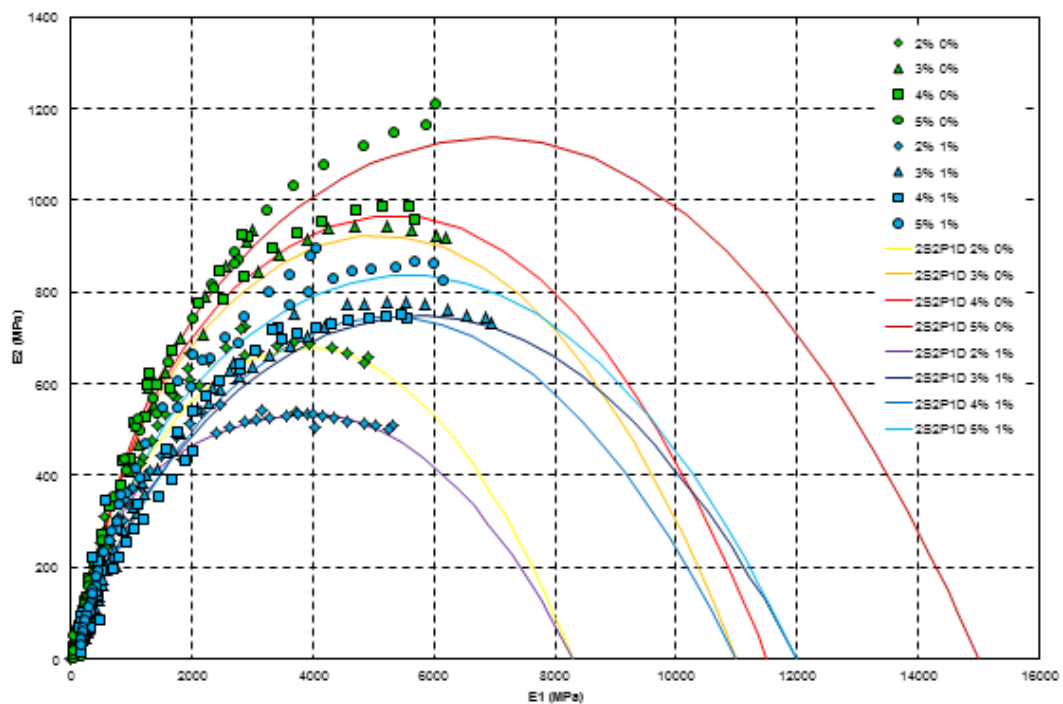
O tratamento dos dados experimentais médios das duas amostras por mistura foi realizado através do modelo 2S2P1D. Os parâmetros de ajuste são apresentados na Tabela 22, no qual foi obtida a representação do Cole Cole, diagrama de Black, curva mestras de módulo dinâmico e ângulo de fase das misturas propostas.

Tabela 22- Parâmetros do modelo 2S2P1D e valores de C1 e C2 para as misturas

MISTURA	E*							WLF	
	E ₀₀ (MPa)	E ₀ (MPa)	k	h	δ	τ _E (s)	β	C1	C2
2% 0%	1,60E+02	8,30E+03	0,200	0,510	3,75	1,00E-01	700	185,45	1496,93
3% 0%	1,60E+02	1,10E+04	0,205	0,550	3,75	1,00E-01	700	132,94	984,45
4% 0%	1,60E+02	1,15E+04	0,205	0,550	3,75	1,00E-01	700	2425,61	19978,31
5% 0%	1,60E+02	1,50E+04	0,185	0,510	3,75	1,00E-01	700	60,43	499,30
2% 1%	1,60E+02	8,30E+03	0,160	0,500	3,75	1,00E-01	700	60,96	449,14
3% 1%	1,60E+02	1,20E+04	0,155	0,390	4,50	6,00E-01	1750	55,42	424,91
4% 1%	1,60E+02	1,10E+04	0,160	0,410	3,75	1,00E-01	700	52,29	399,55
5% 1%	1,60E+02	1,20E+04	0,170	0,450	3,75	1,00E-01	700	36,23	299,95

A Figura 67 mostra as curvas obtidas pela modelagem 2S2P1D juntamente com os valores médios de duas amostras por mistura.

Figura 67- Gráfico Cole Cole Amostras 1, 2 e média de todas as msituras



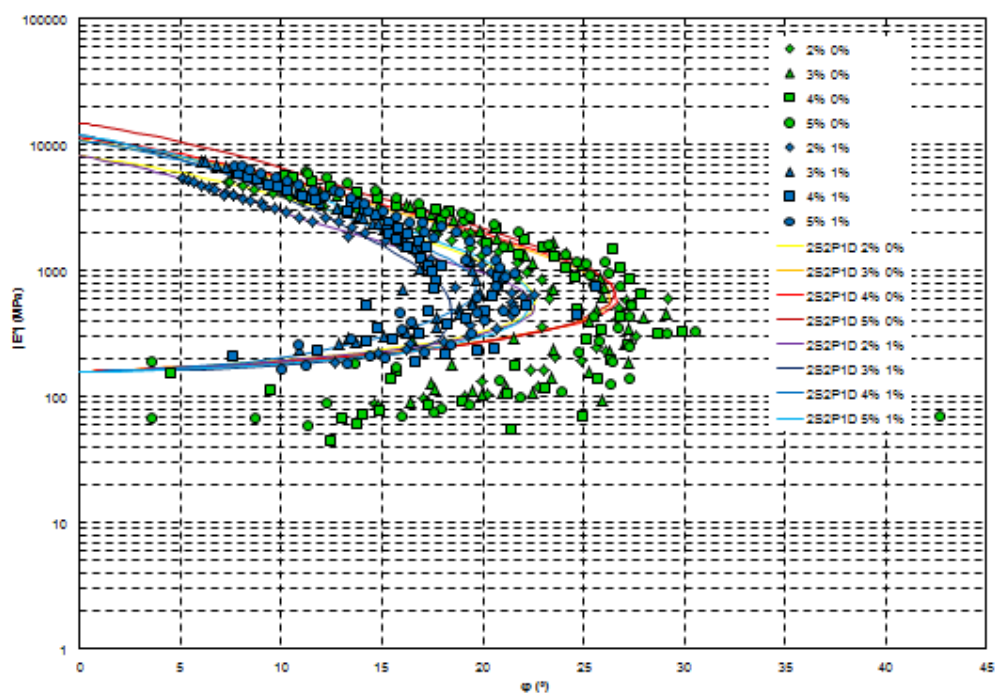
Observa-se no Cole Cole a parte real E_1 e parte imaginária E_2 no eixo da abscissa e ordenada, respectivamente. A avaliação da energia recuperável armazenada é feita observando E_1 (parte real) e o comportamento viscoso irreversível causado por uma dissipação de energia por E_2 (parte imaginária).

Em relação ao E_2 , as misturas sem cimento tendem a apresentar a maior dissipação de energia por atrito interno, condição de maior severidade, ou seja, maiores valores de E_2 que as misturas com cimento. Outra constatação foi que a medida que se aumenta o teor de emulsão aumenta-se os valores de E_2 , tanto para as misturas com e sem cimento.

Analisando os valores de E_1 , nota-se que o aumento do teor de emulsão aumentou o valor da variável para todas as misturas analisando-se separadamente com e sem cimento. Tal fato reflete que os maiores valores de E_1 estão relacionados às baixas temperaturas, e com uma maior quantidade de emulsão tem-se uma maior rigidez.

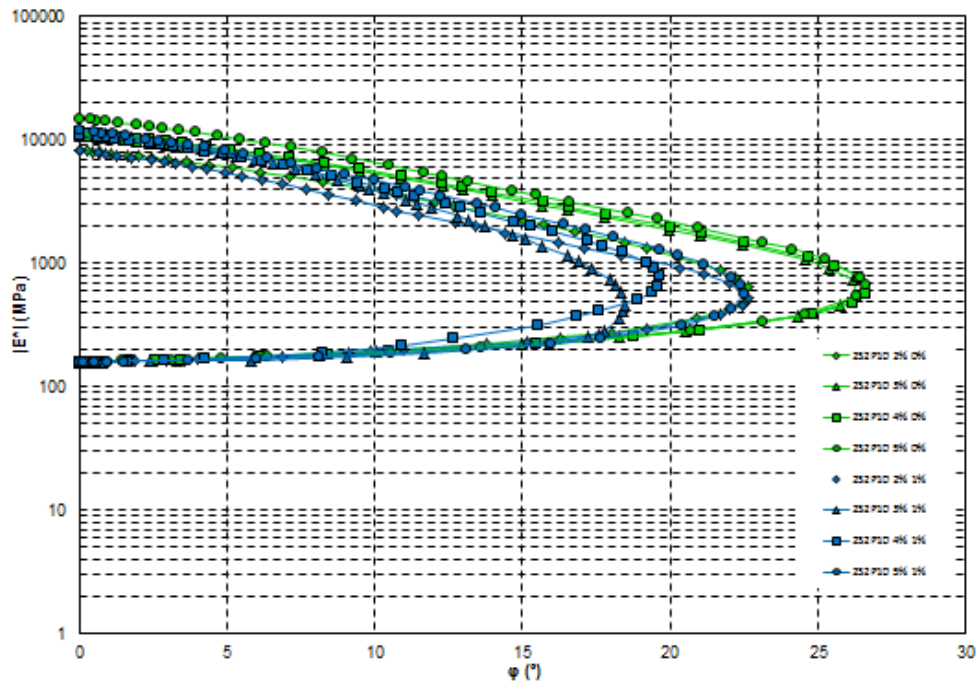
A Figura 68 mostra o Diagrama de Black com os valores médios de duas amostras juntamente com a modelagem 2S2P1D por mistura.

Figura 68 - Diagrama de Black média das misturas e modelagem no 2S2P1D



Para uma melhor análise, a Figura 69 apresenta apenas a modelagem 2S2P1D.

Figura 69 - Diagrama de Black no 2S2P1D



Analisando o comportamento no Diagrama de Black, até a temperatura de 37°C os valores de ângulo de fase são crescentes, sendo após essa temperatura, os valores decrescem. Já o módulo dinâmico decresce com o aumento da temperatura.

Além disso, a incorporação de cimento reduziu o ângulo de fase de todas as misturas comparada às misturas sem adição de cimento, ou seja, a parcela viscosa é mais atuante para as misturas sem adição de cimento. Outra tendência é que quanto menor o teor de emulsão, menor serão os valores encontrados de ângulo de fase. Tal constatação é em virtude que quanto maior o teor de emulsão maior a sensibilidade das misturas ao aumento de temperatura devido a viscosidade do material.

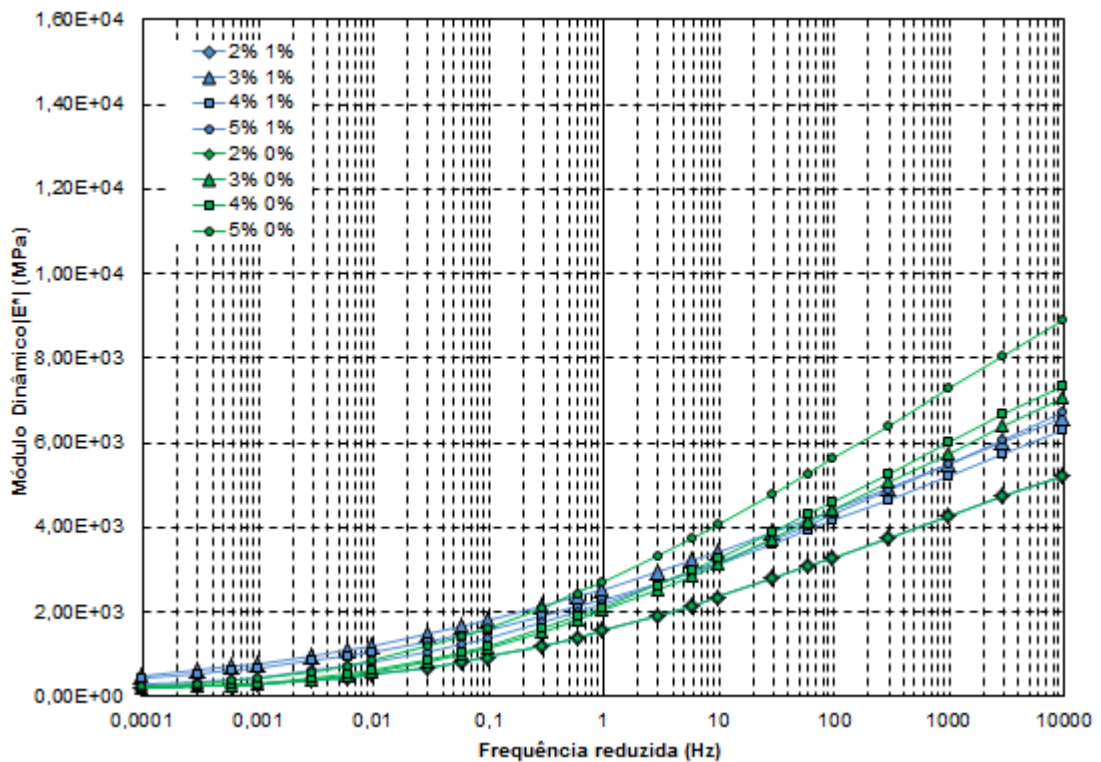
Os dados obtidos em laboratório no ensaio de módulo complexo (módulo dinâmico e ângulo de fase) deram origem às curvas mestras das misturas. O princípio da superposição tempo-temperatura (TTSP – *Time-Temperature Superposition Principle*) foi utilizado na construção das curvas, além disso, as curvas foram ajustadas pelo modelo 2S2P1D.

Observou-se que todas as misturas apresentam comportamento semelhante, com o aumento da frequência aumentam os valores de módulo dinâmico. Fica claro a diferenciação entre o comportamento das misturas, com maiores frequências o período de carregamento é menor diminuindo a manifestação do comportamento viscoelástico ocorrendo apenas o comportamento elástico, estas são utilizadas para avaliação do trincamento térmico do material. Já nas menores frequências o período de carregamento é maior assim ocasionando deformações viscoelásticas nas misturas.

As frequências maiores são relacionadas a temperatura de -10°C até chegar as menores frequências que são atreladas a temperatura de 54°C , assim passando pelas 5 temperaturas de realização do ensaio. As altas temperaturas estão relacionadas à ocorrência de deformação permanente.

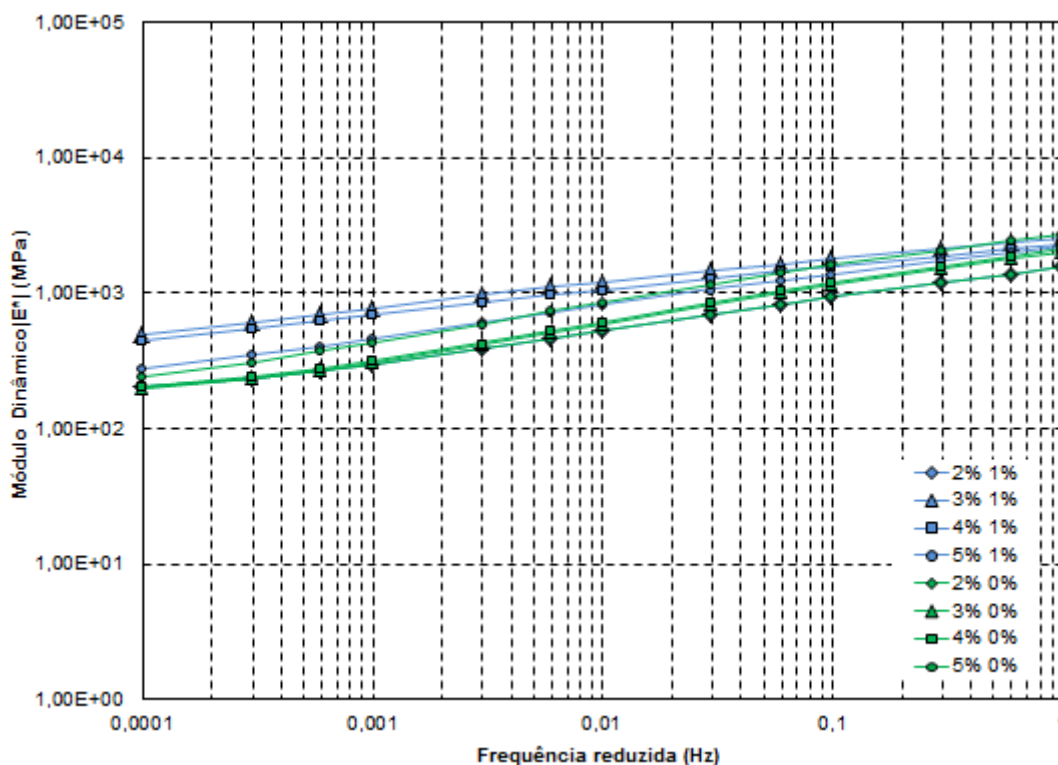
A Figura 70 apresenta as curvas mestras ajustadas no 2S2P1D e com temperatura de referência fixada em 20°C . Fica evidente que as misturas sem adição de cimento têm maiores valores de módulo dinâmico quando comparadas as misturas cimentadas, salvo a mistura 2% 0% que demonstra valores inferiores, quando comparadas nas altas temperaturas. Logo sendo mais suscetíveis as altas temperaturas. Também pode-se constatar que o aumento do teor de emulsão influenciou de maneira direta na variação dos módulos em altas frequências. O teor de cimento nas misturas atribuiu comportamento semelhante as misturas que encontram-se agrupadas no gráfico.

Figura 70 - Curvas mestras de módulo dinâmico para as misturas recicladas (@ 20°C)



Pode-se visualizar nas baixas frequências a ação do cimento nas misturas propostas, ou seja, o aumento de rigidez das misturas. A escala dos valores de módulo dinâmico foi alterada para log-log para melhor visualização das baixas frequências. Na frequência de 1 Hz as misturas encontram-se sobrepostas, a partir de $0,001$ Hz as misturas com cimento apresenta resistência superior as demais. Havendo uma pequena variação entre as 2% 1%, 3% 1% e 4% 1%, demonstrando que o teor de emulsão não interferiu de forma significativa nessas misturas, como se pode observar na Figura 71.

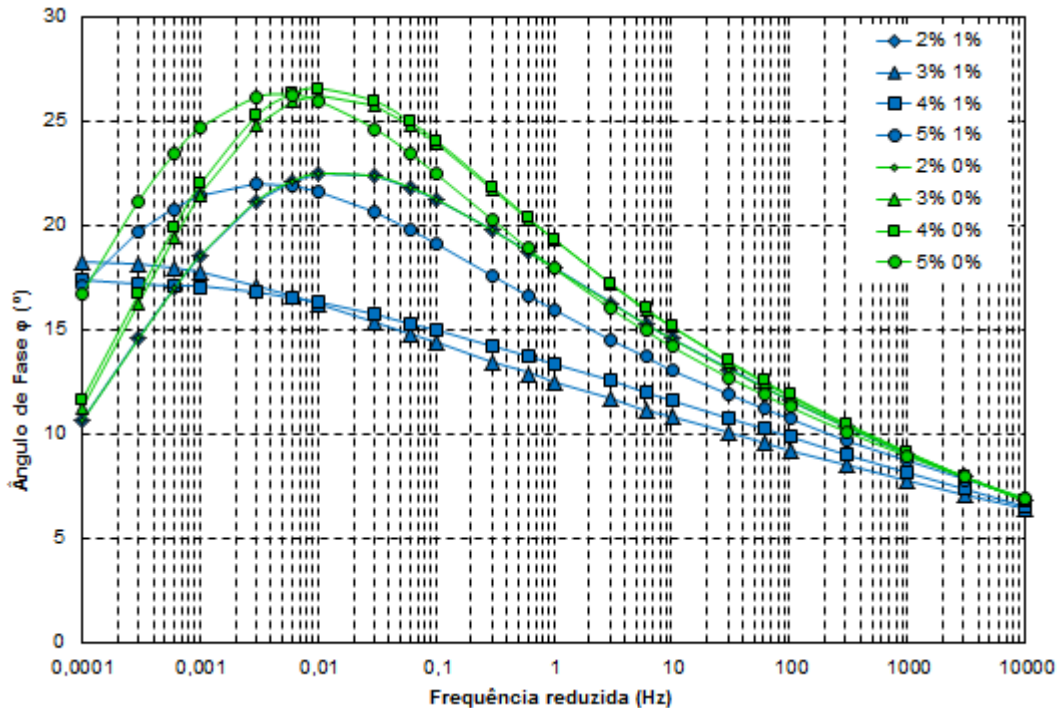
Figura 71- Curvas mestras de módulo dinâmico nas baixas frequências para todas as misturas recicladas (@ 20°C).



De forma geral, observou-se melhora no comportamento de todas as misturas com adição de cimento em relação as sem cimento. Nas altas temperaturas (baixas frequências) a variação de módulo foi menor entre elas e o comportamento elástico semelhante. Nas baixas frequências tiveram comportamento semelhante e resultado superiores às demais misturas, demonstrando maior rigidez atenuando as tensões transmitidas às camadas subjacentes do pavimento.

As propriedades elásticas e viscosas estão relacionadas ao ângulo de fase das misturas asfálticas. Observa-se na curva mestra de ângulo de fase geradas pelo 2S2P1D, Figura 72, abaixo da frequência de 0,01 Hz todas as curvas sem cimento apresentaram pico de ângulo de fase, assim como a 2% 1%. A mistura 5% e 1% apresentou pico do ângulo de fase entre as frequências de ensaio. As misturas 4% 1% e 3% 1% apresentaram crescimento do ângulo de fase sem atingir valores máximos.

Figura 72- Curvas mestras de ângulo de fase para misturas recicladas (@ 20°C)

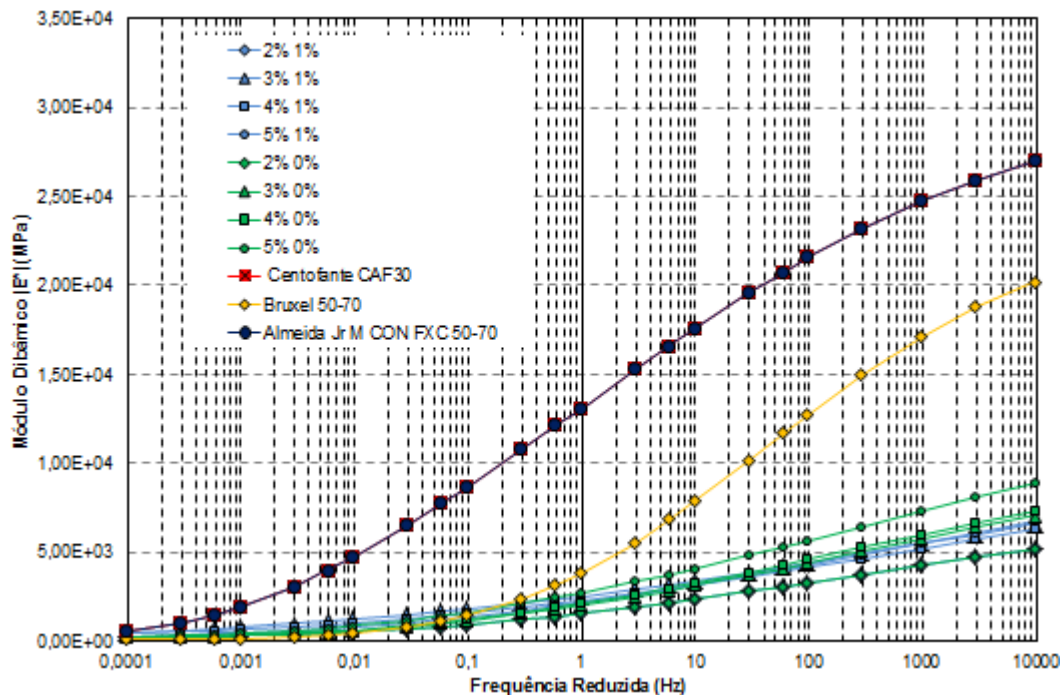


Para ter-se uma melhor noção da ordem de grandeza das misturas propostas, elas foram comparadas a resultados de três autores, Almeida Júnior (2016), Centofante (2016) e Bruxel (2015). Escolheu-se a comparação com essas misturas de revestimento por não se ter misturas de base para comparação. Além disso, foram escolhidas específicas de cada estudo, uma mistura Marshall, Faixa C e ligante 50-70 de Almeida Júnior (2016) por ser bastante usual em projetos de revestimento. A mistura de Centofante(2015) foi selecionada devido conter 30% de fresado em sua composição e utilizar o ligante 50-70. Utilizou-se a mistura 50-70 de Bruxel (2015) por uma mistura de referência do estudo com ligante igual as demais misturas. Sabe-se que os materiais comparados possuem diferenças e seria melhor a comparação com misturas asfálticas de base ou sub-base.

A Figura 73 mostra que as misturas propostas nesse estudo possuem comportamento semelhante as demais nas frequências mais baixas. Nas frequências intermediárias as misturas de Almeida Júnior e Centofante aumentam os valores de módulo dinâmico rapidamente, alcançando os valores máximos das misturas propostas a 0,02 Hz. Os valores máximos encontrados nas curvas mestras das misturas recicladas encontram-se entre $5,00E+03$ e $1,0E+04$. Já a mistura de Buxel encontra o valor máximo de módulo obtido pelas misturas com emulsão a 10

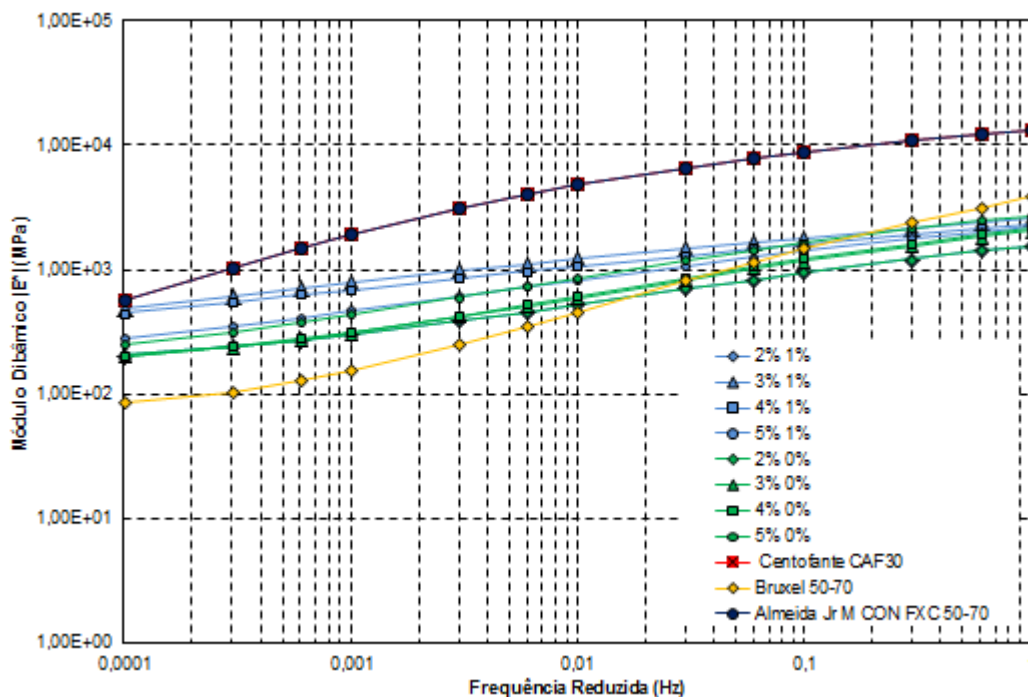
Hz. O aumento do teor de ligante torna a mistura mais susceptível a variação de temperatura. Pode-se notar também que as curvas de misturas recicladas formam praticamente retas quando comparadas a misturas asfáltica devido à variação menor do módulo dinâmico nas frequências ensaiadas.

Figura 73- Comparativo das curvas mestras desta pesquisa com as curvas mestras de Almeida Júnior (2016), Centofante (2016) e Bruxel (2015) @20°C.



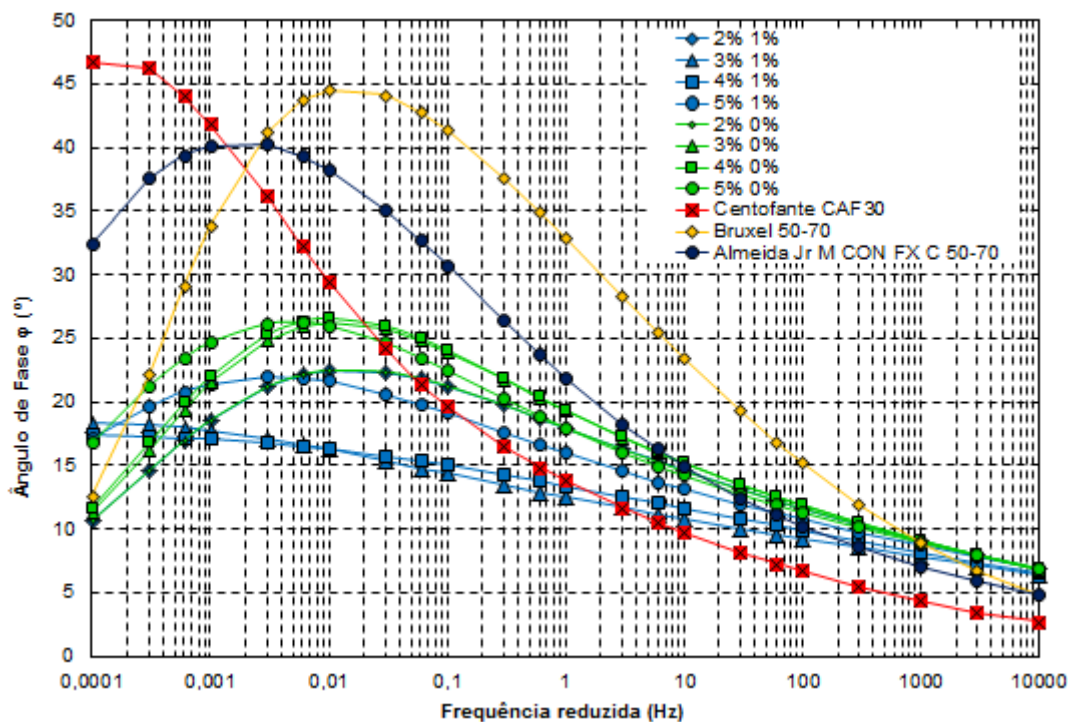
A Figura 74 apresenta as misturas em baixas frequências. Nota-se que as misturas cimentadas se aproximam dos valores encontrados por Centofante (2016) e Almeida Júnior (2016). Quando se compara com os resultados de Bruxel (2015) as misturas recicladas apresentam módulos superiores tanto para misturas recicladas com adição de cimento e sem cimento, até a frequência de 0,01 Hz. Observa-se também que a variação de valores de módulo diminui consideravelmente quando comparada as altas frequências.

Figura 74- Comparativo das curvas mestras log log desta pesquisa com Almeida Júnior (2016), Centofante (2016) e Bruxel (2015)



As curvas mestras de ângulo de fase, apresentadas na Figura 75, mostram que as misturas de revestimento de Almeida Júnior (2016), Centofante (2016) e Bruxel (2015) quando comparadas as misturas desta pesquisa tem maior amplitude de valores de ângulo de fase. O aumento do teor de ligante aumenta a susceptibilidade térmica e o efeito da viscoelasticidade.

Figura 75- Comparativo de curvas mestras de ângulo de fase desta pesquisa com Almeida Júnior (2016), Centofante (2016) e Bruxel (2015)



Na comparação entre as misturas de revestimento e os valores encontrados nas misturas desse estudo fica claro que as misturas de revestimento possuem melhores resultados em todos os aspectos observados, mas a comparação proposta foi realizada para que se tenha melhor noção da magnitude dos resultados obtidos nos ensaios e na modelagem 2S2P1D.

4.7 FLOW NUMBER

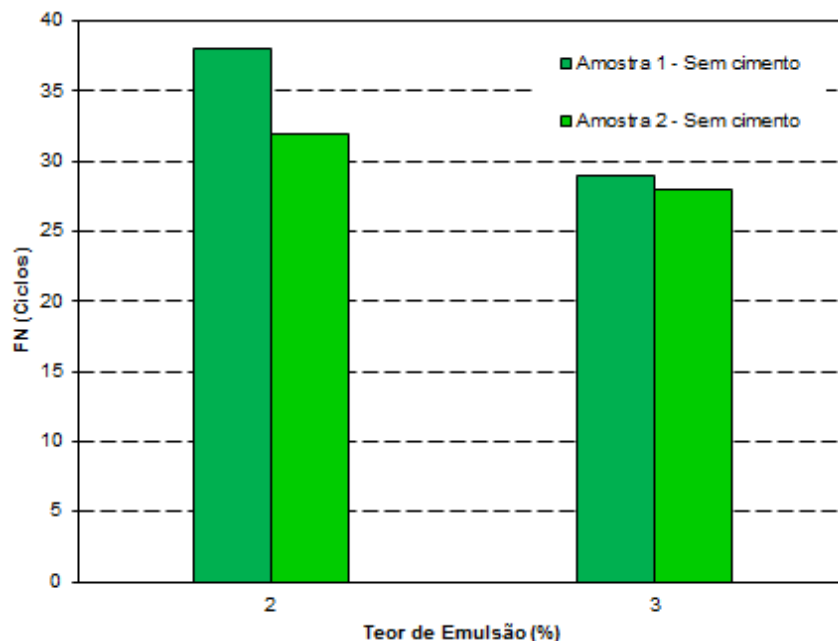
Os ensaios foram realizados após o condicionamento das amostras por um período superior a 12 horas a uma temperatura de 60°C. Submeteram-se as amostras a um carregamento cíclico uniaxial repetitivo com carregamento de 0,1 s e repouso de 0,90 s. A Tabela 23 apresenta os FN de cada uma das misturas propostas juntamente com a média, o desvio padrão e coeficiente de variação, além dos coeficientes da aproximação de Francken.

Tabela 23- FN para todas as misturas propostas

Misturas	FN	MD (Ciclo)	DP (Ciclo)	CV (%)	Parâmetros modelo Francken			
					A	B	C	D
2% 0%	38	35	3	8,57	2050,45	0,63	9,77	0,0952
	32				1692,72	0,71	1,23	0,1550
3% 0%	29	28	0,5	1,75	2155,45	0,73	0,07	0,2485
	28				1784,58	0,91	2011,76	0,0001
2% 1%	4502	7246	2744	37,87	710,34	0,34	20960,39	0,0000
	9990				3155,06	0,12	60,93	0,0000
3% 1%	3541	4503	962	21,36	936,47	0,29	1266,37	0,0002
	5465				755,52	0,28	462,37	0,0002
4% 1%	9985	6564	3420,5	52,11	1577,43	0,20	10839,35	0,0000
	3144				356,49	0,45	0,20	0,0019
5% 1%	858	691	167	24,17	675,85	0,46	0,53	0,0064
	524				1666,29	0,36	1,68	0,0088

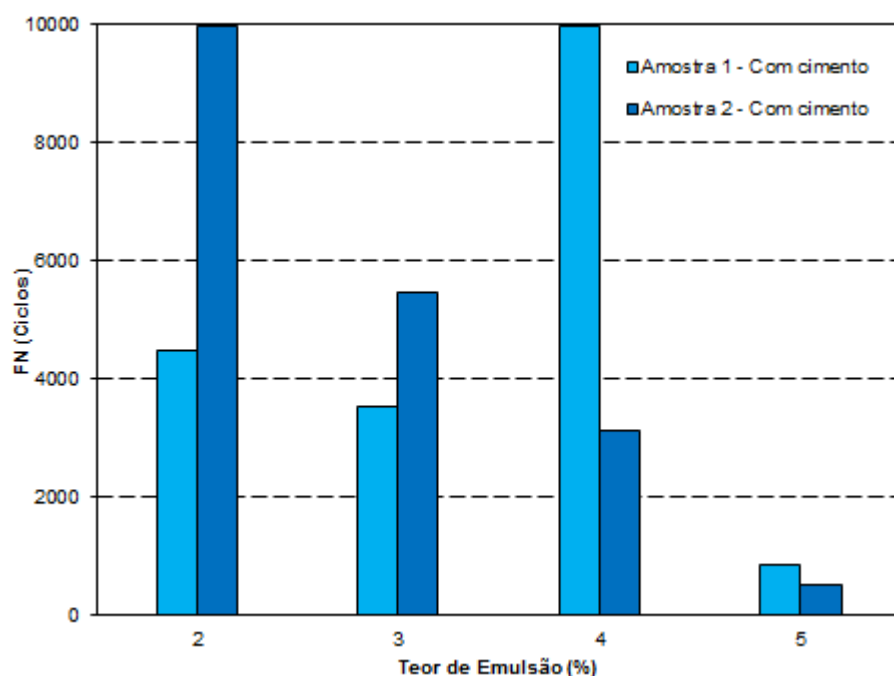
As misturas sem adição de cimento apresentaram valores muito inferiores em relação às misturas cimentadas. As amostras dos 4% 0% e 5% 0%, não suportaram a severidade do ensaio, assim não se tem resultados desse ensaio para essas misturas. Na Figura 76 pode-se observar as duas amostras de cada mistura sem cimento, valores são muito inferiores aos considerados satisfatórios para esse ensaio.

Figura 76 - Ensaio de FN para misturas sem cimento



A adição de cimento trouxe uma melhora considerável às misturas. Os melhores valores ocorreram na mistura de 2% 1% que obteve valor médio de 7246 Ciclos sendo este 207 vezes maior que a mesma mistura sem adição de cimento. As demais misturas 3% 1% e 4% 1% superam 4500 ciclos e a mistura 5% 1% se aproximou de 700 ciclos. Ficando evidente que a adição de cimento diminuiu consideravelmente a suscetibilidade à deformação permanente das misturas propostas, conforme a Figura 77.

Figura 77- Ensaio de FN para as misturas com cimento

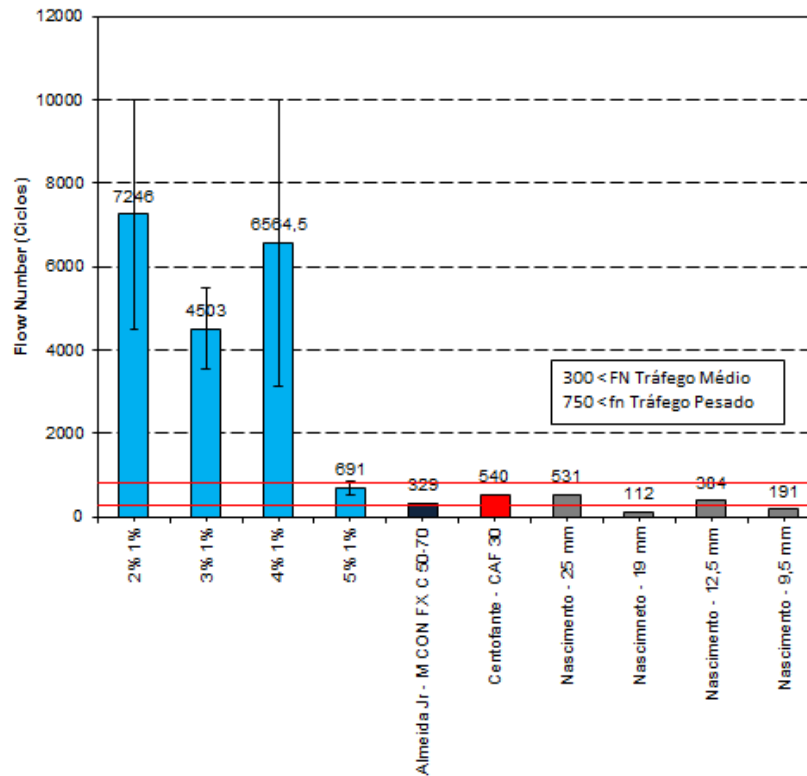


Os valores médios encontrados no ensaio de FN para as misturas cimentadas foram comparados com outros autores. Vale lembrar que Almeida Júnior (2016), Centofante (2016) e Nascimento (2008) estudaram revestimentos asfálticos e esta pesquisa busca uma alternativa para camada de base ou sub-base de pavimentos. Na Figura 78 observa-se que todas as misturas com adição de cimento obtiveram valores superiores aos demais autores sendo que o valor mais baixo pertence a mistura 5% 1%.

Nascimento (2008) recomenda valores de 300 ciclos para pavimento de tráfego médio e 750 para tráfego pesado para um desempenho adequado de deformação permanente de misturas asfálticas para uso em camadas de

revestimento. As misturas cimentadas 2% 1%, 3% 1% e 4%1% apresentaram valores superiores a 750, assim estas podem ser recomendadas para aplicação em trechos com tráfego pesado. A mistura 5% 1% apresentou valor entre 300 e 750 ciclos podendo ser utilizada para trechos com tráfego médio.

Figura 78- Comparativo de FN com outros autores



Nos ensaios de FN as misturas 2% 1% e 3% 1% apresentaram comportamento frágil. A Figura 79 apresenta uma amostra 2% 1% após a realização do ensaio. As demais misturas apresentaram comportamento dúctil sem planos de ruptura definidos.

Figura 79- Amostra 2% 1% rompida no ensaio de FN



A resistência ao dano das misturas cimentadas foi superior às demais misturas como demonstra o ensaio de FN. O ensaio de MR também deixa claro que a adição de cimento melhorou o comportamento de todas as misturas com 2%, 3%, 4% e 5% de emulsão. No ensaio de RCS pode-se observar aumento da resistência com a adição de cimento, os resultados mostraram que a adição de 1% ocasionou melhora das misturas 58% na mistura com 2% de emulsão.

O ensaio de E^* mostrou que as misturas com cimento são menos susceptíveis as variações de temperatura e possuem maior rigidez. Dentre elas a que obteve melhor desempenho foi a mistura 2% 1%. As demais misturas cimentadas apresentaram valores aproximados, mas não houve melhora com o aumento do teor de emulsão.

Dentre as misturas estudadas ficou claro que a adição de cimento afetou de forma positiva as misturas com 2%, 3%, 4% e 5% de emulsão. A adição de cimento melhorou os resultados dos ensaios mecânicos ISC, RCS, MR, RT e FN. Apenas no ensaio E^* para altas frequências as misturas sem cimento obtiveram resultados superiores as com cimento.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo final serão apresentadas as conclusões sobre as misturas recicladas estudadas, bem como a análise dos resultados. Além disso, são feitas sugestões para trabalhos futuros, para que o domínio dos conhecimentos sobre RAP proporcione sua utilização em projetos rodoviários.

5.1 CONCLUSÕES

Nesta pesquisa estudou-se a avaliação das misturas com 70% RAP e 30% de pó de pedra com a adição de 2%, 3%, 4% e 5% de emulsão. O aumento dos teores de emulsão não trouxe aumento de rigidez às misturas e também prejudicou a resistência ao dano quando comparadas as misturas com cimento e sem cimento.

A adição de cimento trouxe melhora aos resultados de ISC, RCS, RT, MR, E* e FN as misturas. Todas apresentaram desempenho melhor quando comparadas as sem cimento.

Nos ensaios de ISC as misturas cimentadas apresentaram melhores resultados, dentre elas destacou-se a 2% 1%. Com resultados 198,52% maior que a sem emulsão. Fica evidente que o aumento do teor de emulsão ocasionou o decréscimo dos resultados obtidos tanto nas misturas sem cimento quanto com cimento.

O comportamento das misturas para os ensaios de RCS é semelhante ao ensaios de ISC, tanto nas misturas cimentadas quanto nas misturas sem cimento. A amostra 2% 1% obteve o maior resultado apresentando um aumento de 63,45% em relação à mistura sem cimento.

Para o ensaio de módulo de resiliência MR quando se compara as misturas, aquelas sem cimento possuem resultados inferiores às misturas cimentadas. Comparando-se os resultados médios entre as misturas com e sem cimento os módulos são aumentados em 711,16%. A amostra com 2% 1% apresentou o maior valor entre todas e obteve o aumento de 546,87% em relação à mistura sem cimento.

Para as análises estruturais pode-se concluir que as misturas utilizadas nesta pesquisa se mostraram eficientes para emprego como base na pavimentação. Os resultados obtidos na análise das camadas de pavimento na estrutura proposta

utilizando os resultados de módulo resiliente das misturas como camada de base apresentaram valores de deflexão e deformação horizontais aceitáveis quando comparados a valores típicos obtidos em outros estudos. A mistura 2% 1% também caracteriza a composição da melhor estrutura, que possui 10 cm de espessura de revestimento e 30 cm de base reciclada. Deve-se tomar cuidado ao aplicar essa mistura no campo, pois para as tensões de tração na camada de base não obteve-se valores de tração inferiores ao resultado de RT tanta para a estrutura aderida quanto a não aderida.

Ao se analisar as curvas mestras de módulo dinâmico as misturas sem cimento apresentaram maior rigidez nas altas temperaturas que as misturas cimentadas, salvo a 2% 0%. No trecho de redução das frequências é possível observar uma inversão. As misturas cimentadas passam a dominar a região superior das curvas apresentando uma rigidez superior as misturas sem cimento. Nas curvas com escala alterada para log-log observou-se a tendência das misturas cimentadas apresentarem maior rigidez em baixa frequência.

As curvas mestras de ângulo de fase mostraram que as misturas cimentadas apresentam valores inferiores as misturas sem cimento demonstrando maior elasticidade.

O ensaio de FN mostrou que as misturas cimentadas novamente possuem maiores resultados que as sem cimento, ou seja, sua resistência a deformação permanente é superior as demais. Entre elas destaca-se a mistura de 2% 1% com um aumento de 207 vezes o valor sem cimento.

Conclui-se que as misturas cimentadas apresentam resultados de resistência à deformação permanente e a rigidez superior às misturas sem adição de cimento. Quando analisadas as misturas em diferentes temperaturas e frequências as misturas com emulsão em baixas temperaturas superam a rigidez das misturas cimentadas. Entre todas as misturas os melhores resultados foram da mistura 2% 1% na qual a relação cimento/emulsão, em massa, não excede 62,5%. Demonstrando o potencial da utilização da mistura reciclada como camada de base ou sub-base de pavimento.

5.2 SUGESTÕES DE NOVOS TRABALHOS

- Melhor compreensão das dosagens que se enquadrem na relação de cimento/emulsão até 62,5%, nessa pesquisa apenas a mistura 2% 1% que encontra inferior ao referido valor, 50%.
- Modelagem a partir dos resultados obtidos nesta pesquisa para uma melhor compreensão da reciclagem proposta. Na modelagem devem ser consideradas as variações de temperatura e carregamentos fornecidos pelo ensaio de módulo complexo. Assim será possível a avaliação das misturas como camadas de pavimento de base ou sub-base.
 - Execução de trechos experimentais para estudo do desempenho das misturas em campo.
 - Estudo do efeito deletério da água nas misturas propostas nesse estudos.
 - Utilização de RAP estabilizado em diferentes proporções granulométricas em reciclagens a frio, mornas ou a quente.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-QADI, I. L.; TUTUMLUER, E.; KNOW, J.; DESSOUKY, S. H. **Accelerated Full-Scale Geogrid-Reinforced Flexible Pavement Sections**. Annual Meetings of the Transportation Research Board, Washington, DC, Paper 07-2317. 2007.

ALMEIDA JÚNIOR, P. O. B.; **Comportamento mecânico de concretos asfálticos com diferentes granulometrias, ligantes e métodos de dosagem**. 2016. 160 p. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Santa Maria, RS, 2016.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **AASHTO T 283-89: Resistance of Compacted Bituminous Mixtures Induced Damage**. Washington, D. C., 1989.

_____. **AASHTO Guide for Design of Pavement Structures**– American Association of State Highway and Transportation Officials – Washington, D. C., USA, 1993.

_____. **The AASHTO Guide for design of pavement structures**. American Association of State Highway Officials, Washington, D.C., 1986.

_____. **AASHTO TP 79-12, 2001, Determining the Dynamic Modulus and Flow Number for HMA Using the Asphalt Mixture Performance Tester (AMPT)**. Washington, D. C.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – **ASTM C 127-07: Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate**. In: ASTM. Annual book of ASTM Standards of Philadelphia, v. 4.03, 3p., 2007.

_____. **ASTM D4123: Standard test method for indirect tension test for resilient modulus of bituminous**. USA, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NB – 174/72: Amostragem de petróleo e produtos derivados**. Rio de Janeiro, RJ, 1972.

_____. **ABNT MB – 581/71: Viscosidade “Saybolt-Furol” de emulsões asfálticas**. Rio de Janeiro, RJ, 1971.

_____. **NBR NM 23 (ABNT, 2001) – Cimento Portland e outros materiais em pó – determinação da massa específica**. 26/06/2001

_____. **NBR NM 43 (ABNT, 2003) Cimento Portland – DETERMINAÇÃO DA PASTA DE CONSISTÊNCIA NORMAL**. 01/09/2003

_____. **NBR NM 65 (ABNT, 2003) – Cimento Portland – DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE PEGA**. 01/09/2003

_____ **NBR NM 11579** (ABNT, 2013) Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200) 06/12/2012.

_____ **NBR 5736/91**: Cimento Portland Pozolânico. Rio de Janeiro (ABNT) 1991.

_____ **NBR 5739/2007** – Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro (ABNT), 2007.

_____ **NBR 7182/86** - Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro (ABNT), 1986.

_____ **NBR 7215** (ABNT,1997) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215: Cimento Portland–Determinação da Resistência a Compressão. Rio de Janeiro, 1997.

_____ **NBR 15112/04**: Resíduos de construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro (ABNT) 2004.

_____ **NBR 15113/04**: Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro (ABNT) 2004.

_____ **NBR 15114/04**: Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro (ABNT) 2004.

_____ **NBR 15115/04**: Agregados reciclados e resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação - Procedimentos. Rio de Janeiro (ABNT) 2004.

_____ **NBR 15116/04**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos. Rio de Janeiro (ABNT) 2004.

_____ **NBR 15619/12**: Misturas asfálticas – Determinação da densidade máxima teórica e da massa específica máxima teórica em amostras não compactadas. Rio de Janeiro (ABNT) 2012.

ANDRADE FILHO, J. **Reforço de solos com utilização de tubulões em solo-cimento**. 1989. 190 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos, São Carlos, 1989.

ARAÚJO, L. M. D., de FARIAS, M. M. **Estabilização química na reciclagem de material asfáltico fresado e cascalho de base**. 8º ENACOR. Gramado, RS. 11 p. 2004.

ARAÚJO, L. M. D., de FARIAS, M. M., de CRAVALHO, J. C. **Estudo da influência das características mecânicas do fresado de revestimento asfáltico em misturas com cascalho de base rodoviária**. 34º Reunião Anual de Pavimentação. Campinas, SP. 14 p. 2003.

ARAÚJO, L. M. D., de FARIAS, M. M., de CRAVALHO, J. C. **Análise comparativa de alternativas de restauração de bases com incorporação de asfalto fresado.** 35º Reunião Anual de Pavimentação. Rio de Janeiro, RJ. **Anais...**Rio de Janeiro. 2004.

ASPHALT ACADEMY. **Technical Guideline: Bitumen Stabilised Materials.** Second edition, 2009.

ASPHALT INSTITUTE. **A basic Asphalt Emulsion Manual.** Manual Series, No. 19. March 1979.

ASPHALT RECYCLING & RECLAIMING ASSOCIATION - ARRA. **An overview of recycling and reclamation methods for asphalt pavements rehabilitation.** Anapolis, MD, 1992.

____ARRA. **Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments Participant's Reference Book.** U.S. Department of Transportation, FHWA-SA-98-042, Washington, D.C. Dezembro, 1997.

____ARRA. **Cold recycling. Asphalt Recycling & Reclaiming Association.** Disponível em http://www.arra.org/hot_in_place_recycling.html.

____ARRA. **Hot in place recycling. Asphalt Recycling & Reclaiming Association.** Disponível em http://www.arra.org/hot_in_place_recycling.html.

____ARRA. **Hot recycling. Asphalt Recycling & Reclaiming Association.** Disponível em http://www.arra.org/hot_in_place_recycling.html.

AZAMBUJA, E. Notas de aula da disciplina, **Geologia aplicada.** Curso de Engenharia Civil. PUCRS – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

BAHIA, H.; ZHAI, H.; BONNETTI, K.; KOSE, S. **Nonlinear viscoelastic and fatigue properties of asphalt binders.** J. Assoc. Asphalt Paving Tech, v. 68, p.1-34. 1999.

BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica : materiais, projetos e restauração.** São Paulo, ed. Oficina de textos, 2007.

BEJARANO, M. **Evaluation of recycled asphalt concrete materials as aggregate base.** University of California. Pavement Research Center, Berkeley, 2001. (Technical Memorandum TM-UCB-PRC-2001-4)

BERNUCCI, L. B. et al. **Pavimentação Asfáltica – Formação básica para engenheiros.** Rio de Janeiro: Imprinta, 2008. 501 p.

BASUENY, A.; CARTER, A.; PERRATON, D.; VAILLANCOURT, M. **Laboratory Evaluation of Complex Modulus and Fatigue Resistance of Asphalt Mixtures with RAP.** 8th RILEM International Symposium on Testing and Characterization of Sustainable and Innovative Bituminous Materials. Volume 11. RILEM 2015.

BESSA, I. S.; et. al. **Caracterização mecânica de misturas asfálticas recicladas à frio**. In: 21ª ENCONTRO DO ASFALTO, 2014, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2014.

BOEIRA, F. K. **Estudo do comportamento de concretos asfálticos com diferentes tipos de agregados e cales**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2014.

BONFIM, V. **Fresagem de Pavimentos Asfálticos**. 2. Ed., São Paulo, Fazendo Arte Editorial, 71-78p., 2001.

BONFIM, V. **Fresagem de Pavimentos Asfálticos**. 3. ed. rev. e atual. São Paulo, 2007.

BONFIM, V. **Fresagem de Pavimentos Asfálticos**. 3. ed. rev. e atual. Ed. Execução Editorial. São Paulo, 2010.

BRONW, S. F. AND D. NEEDHAM **A Study of cement modified Bitumen Emulsion Mixtures**. Annual Meeting of the Association of Asphalt Paving Technologists, Reno, NV, 2000.

BROWN BROWN.Brown BrownBrasil.Disponível em:
<<http://www.brownbrown.com.br>> . Acesso em: 13 de Junho de 2015.

BRUXEL, D. F. **Estudo do comportamento viscoelástico de concretos asfálticos convencionais e modificados através de ensaios laboratoriais e de análise de desempenho**. 2015. 129 p. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Santa Maria, RS, 2015.

CARVALHO, K. Agora é lei. **Construção Mercado**. São Paulo, PINI, n44, p.26-31, mar. 2005.

CENTOFANTE, R. **Estudo laboratorial da utilização de material fresado em misturas asfálticas recicladas a quente**.2016. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Santa Maria, RS, 2016.

CHO,Y. H; YEO, S. H. **Application of recycled waste aggregate to lean concrete subbase in highway pavement**.*Canadian Journal of Civil Engineering*,Ottawa, CA, v. 31, n. 6, p.p. 1101–1108, dec. 2004.

COMISSÃO NACIONAL DO PETRÓLEO – **CNP nº 07/88** – Sessão ordinária de 06/09/88.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução 258**. Brasília, 27 de Agosto de 1999. CONAMA. Disponível em: <http://www.lei.adv.br/258-99.htm>. Acessado em: Junho de 2015.

_____. **Resolução 307**. Diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Brasília. CONAMA (2002).

DIAS, J. F. **Avaliação de resíduos da fabricação de telhas cerâmicas como contribuição para seu emprego em camadas de pavimento de baixo custo**. 2004. 204 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DAER/RS - EL 210/01** – DETERMINAÇÃO DO RESÍDUO POR EVAPORAÇÃO. 2001

_____. **DAER/RS - EL 202/01** - DETERMINAÇÃO DA VISCOSIDADE SAYBOLT-FUROL. 2001

_____. **DAER/RS - EL 207/01** – ENSAIO DE PENEIRAMENTO DA EMULSÃO. 2001

DAVID, D. **Misturas Asfálticas Recicladas a Frio: Estudo em Laboratório utilizando Emulsão e Agente de Reciclagem Emulsionado**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

DAVIDSON, J. K.; BLAIS, C.; CROTEAU, J.A review of in-place cold recycling/reclamation in Canada. In: **Transportation Association of Canada Fall 2004 Meeting**. Canadá, 2004.

DAMA, M. A. et al. **Aplicação de reciclagem a frio com espuma de asfalto na restauração da BR-1-290 no trecho entre Eldorado do Sul e Porto Alegre**. 33ª Reunião Anual de Pavimentação. Florianópolis. 2001.

DELLABIANCA, L. M. A. **Estudo do Comportamento de Material Fresado de Revestimento Asfáltico Visando sua Aplicação em Reciclagem de Pavimentos**. 2004, 110p. Tese de Doutorado – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER – ME 002/94**: Emulsão Asfáltica – carga da partícula. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **DNER – ME 003/94**: Materiais betuminosos – determinação de penetração. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **DNER – ME 005/94**: Emulsão asfáltica – determinação da peneiração. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **DNER – ME 006/94**: Emulsões asfálticas – determinação da sedimentação. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **DNER – ME 007/94**: Emulsão asfáltica – determinação da ruptura – método com cimento. Rio de Janeiro, 1994.

_____ **DNER – ME 008/94:** Emulsão asfáltica – determinação da ruptura – método com filer silícico. Rio de Janeiro, 1994.

_____ **DNER – ME 010/94:** Cimentos asfálticos de petróleo – determinação do teor de betume. Rio de Janeiro, 1994.

_____ **DNER – ME 053/94:** Misturas betuminosas – Porcentagem de betume – Método de ensaio. Rio de Janeiro: IPR, 1994.

_____ **DNER – ME 049/94:** Solos – determinação do Índice de Suporte California utilizando amostras não trabalhadas. Rio de Janeiro, 1994.

_____ **DNER – ME 054/97:** Equivalente de areia. Rio de Janeiro, RJ, 1997.

_____ **DNER – ME 059/94:** Emulsões asfálticas – determinação da resistência à água (adesividade). Rio de Janeiro, 1994.

_____ **DNER – ME 063/94:** Emulsões asfálticas catiônicas – determinação da desemulsibilidade. Rio de Janeiro, 1994.

_____ **DNER – ME 081/98:** Agregados – determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo. Rio de Janeiro, RJ, 1998.

_____ **DNER- ME 083/98:** Agregados – análise granulométrica. Rio de Janeiro, RJ, 1998.

_____ **DNER – ME 133/94:** Misturas betuminosas – determinação do módulo de resiliência. Rio de Janeiro, 1994.

_____ **DNER – ME 138/94:** Pavimentos flexíveis – Misturas betuminosas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1994.

_____ **DNER – ME 149/94:** Emulsões Asfálticas – determinação do pH. Rio de Janeiro, 1994.

_____ **DNER – ME 162/94:** Solos – ensaio de compactação utilizando amostras trabalhadas. Rio de Janeiro, 1994.

_____ **DNER – ME 163/94:** Materiais Betuminosos – determinação da ductibilidade. Rio de Janeiro, 1994.

_____ **DNER – ME 180/94:** Solos estabilizados com cinza volante e cal hidratada – Determinação da resistência à compressão simples. Rio de Janeiro, RJ, 1994.

_____ **DNER – ES 301/97:** Pavimentação – sub-base estabilizada granulometricamente. Rio de Janeiro, RJ, 1997.

_____ **DNER – ES 303/97:** Base Estabilizada Granulometricamente. Rio de Janeiro, RJ, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT – Manual de pavimentação. 3. ed. Rio de Janeiro, 2006.**

_____**DNIT 135/2010-ME:** Misturas Asfálticas – Determinação do módulo de resiliência – Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, RJ, 2010.

_____**DNIT 136/2010-ME:** Misturas Asfálticas – Determinação de resistência à tração por compressão diametral – Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, RJ, 2010.

_____**DNIT 141/2010 – ES:** Pavimentação – Base Estabilizada granulometricamente – Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, RJ, 2010.

_____**DNIT 164/2013-ME:** Solos – Compactação utilizando amostras não trabalhadas – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 2013.

DI BENEDETTO, H. et. al. ***Linear Viscoelastic Behavior of Bituminous Materials: from binders to mixes roads.*** *Road Materials and Pavements Design. Departement Génie Civil et Bâtiment, Ecole Nationale des TPE (ENTPE), 2004. 41p.*

DU, S. ***Interaction Mechanism of Cement and Asphalt Emulsion in Asphalt Emulsion Mixtures.*** *Materials and Structures, Vol. 47, p. 1149-1159. (2014).*

FRANCO, F. A. C. de P. **Método de dimensionamento mecânico-empírico de pavimentos asfálticos – SisPav.** 2007. 294 f. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, 2007.

FEDRIGO, W. **Efeito da energia de compactação e do teor de fresado no comportamento mecânico de misturas recicladas com cimento.** VIII Seminário de Engenharia Geotécnica do Rio Grande do Sul. São Leopoldo/RS. (2015).

FHWA - U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration Federal ***Highway Cost Allocation - Study Summary Report.*** August, 1997.

FILHO, J.D.P. ***Reconstruction of the airport of the city of Poso Alegre/MG, for recycling the cold in situ – A economic measure and ecologic.*** International Symposium Pavement Recycling. São Paulo/SP, 2005.

FLORIDA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. ***Developing specifications for using recycled asphalt pavement as base, subbase or general fill materials.*** Flórida. 2001. (Summary of Final Report, BB-892).

GUTHRIE, S. W., BROWN, V. A., EGGETT, D. L. Cement stabilization of aggregate base material blended with reclaimed asphalt pavement. ***Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board,*** nº2026, p 47-53. 2007

GUTHRIE, S. W., COOLEY D., EGGETT, D. L. Effects of reclaimed asphalt pavement on mechanical properties of base materials. ***Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board,*** nº2005, p 44-52. 2007

GUYER, J. P.; P. E.; R. A. ***Introduction to soil stabilization in pavements.*** 2011. 28 f. Continuing Education and Development, New York. Nova Iorque, Estados Unidos, 2011. Notas de aula.

HALL, K.T. et. al. **Rehabilitation strategies for highway pavements. National Cooperative Highway Research Program.** Web document 35 (Project C1-38). Transportation Research Board, Washington, 136p., 2001.

HOLTZ, K.; EIGHMY, T. T. **Scanning European Advances in the Use of Recycled Materials in Highway Construction.** FHWA PublicRoads. Vol. 64 n. 1. 2000. Disponível em <http://www.tfhre.gov/pubrds/julaug00/recycscan.htm> Acesso em 12.06.14.

HU, S. G.; T. WANG; F.Z. WANG e Z. C. LIU **Adsorption Behavior Between Cement and Asphalt Emulsion in Cement-Asphalt Mortar.** (2009).

INGLES, O. G.; METCALF, J. B. **Soil Stabilization: Principles and Practice.** Butterworths, Melbourne, 1972. 374p.

ISAIA, G. C. **Concreto: Ciência e Tecnologia.** 1.ed. São Paulo, IBRACON, 2011. 1v.

ISAIA, G. C. **Concreto: Ciência e Tecnologia.** 1.ed. São Paulo, IBRACON, 2011. 2v.

ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** 2.ed. São Paulo, IBRACON, 2010. 1v.

ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** 2.ed. São Paulo, IBRACON, 2010. 2v.

JENSEN, M. O. **Recycling in road construction has been upgraded. Swedish National and Transport Research Institute– Nordic Road & Transport Research.** Number 03. 03 p. 2004.

JORGE, F. D. S. **Estudo do Comportamento mecânico de pavimentos flexíveis reciclados com adição de diferentes agentes estabilizadores–** Dissertação (Mestrado em Engenharia) Universidade de Passo Fundo (UPF). 2014.

KANDHAL, P. S.; MALLICK, R. B. **FHWA Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments.** Federal Highway Administration, U. S. Department of Transportation. FHWA-SA-98-042. Washington, 1997.

KAVUSSI, A. e A. MODARRES (2010) **A model for Resilient Modulus Determination of Recycled Mixes with Bitumen Emulsion and Cement from ITS Testing Results.** Construction and Building Materials, Vol. 24, p.2252-2259.

LORENA, M. P. (2009) **Avaliação do Desempenho da Reciclagem a frio de Pavimentos com adição de cimento na Rodovia 303, trecho BR-282 – Capinzal.** Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC.

MCGARRAH, E. J. **Evaluation of Current Practices of Reclaimed Asphalt Pavement/Virgin Aggregate as Base Course Material.**2007. 33 f. Relatório – Department of Civil and Environmental Engineering, University of Washington, Seattle, Dezembro de 2007.

MOTTA, L. M. et. al. **Trecho de reciclagem a frio na BR-393 – Avaliação após 8 anos da implantação.** In: 16º Encontro de asfalto do Instituto Brasileiro de Petróleo. IBP03102. **Anais...** Rio de Janeiro, 2002.

MEDINA, J.; MOTTA, L. **Geotecnia Rodoviária – Pavimentação: Compilação e atualização de notas de aulas antigas de Medina.** 2004. 20 f. Notas de aula.

MIRANDA Jr, J. E DA SILVA, C. A. R. **Reciclagem de camada betuminosa como sub-base estabilizada com cimento na BR 381: uma experiência.** 2000. 32º Reunião Anual de Pavimentação. Brasília, DF, Volumell, p. 488-497.

MOREIRA, J. P. V.; PEREIRA, P.; CORREIA, A. G. **Reutilização de material fresado em camadas estruturais de pavimento.** 2006. IV Congresso Rodoviário Português – Centro de Congressos do Estoril.

MOTA, E. P. F.; BUENO, B. S. **Panorama da melhoria de solos no Brasil.** In: IV Congresso Brasileiro de Geossintéticos e V Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental, 2003, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 2003.

NASCIMENTO, L.A. **Nova abordagem da dosagem de misturas asfálticas densas com uso do compactador giratório e foco na deformação permanente.** Rio de Janeiro, 2008, 204 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM. **NCHRP Report 614 – Refinig the Simple Performance Tester for Use in Routine Practice.**Washington, D. C., 2008.

NUNN, M., CARSWEL L. I., MERRIL, D. **Sustainable maintenance of roads using cold recycling techniques (smart project).**International Symposium Pavement Recycling. São Paulo/SP, 2005.

OLIVEIRA, S. A. et al. **Caracterização mecânica de materiais recicláveis para base de pavimento.** 1º Simpósio Internacional de Pavimentos de Rodovias de Baixo Volume de Tráfego. Rio de Janeiro, RJ, Volume 2, p695-699. 1997.

OLIVEIRA, A.; BARAN, K. R.; SCHMIDT, F. S. **Reciclagem de pavimento para restauração da BR 282 em Santa Catarina – estudo de caso.** In: 40ª RAPV: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 2010, Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro, 2014.

ORUC, S.; F. CELIK e M. V. AKPINAR **Effect of Cement on Emulsified Asphalt Mixtures.**Journal of Materials Engineering and Performance, Vol. 16, p. 578-583. 2006.

ORLAND, F.; Di Benedetto, H. General “2S2P1D” ***Model and Relation Between the Linear Viscoelastic Behaviours of Bituminous Binders and Mixes***. Road Materials and Pavement Design, 4:2, 185-224, 2003.

PAIVA, C. E. L. de; OLIVEIRA, P. C. A. **Impacto da atividade do CAP e do percentual de asfalto fresado na resistência à fadiga de uma base reciclada com cimento**. In: 21ª ENCONTRO DO ASFALTO, 2014, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2014.

PCA (2013). *Portland Cement Association*. Site: <http://www.cement.org/>. Acessado em 10/05/14.

PEREIRA, P. F. **Desempenho técnico de pavimentos rodoviários flexíveis usinados a quente com adição de pavimentos fresados**. 88 p. Trabalho apresentado à Universidade de Uberaba, como parte das exigências à Conclusão da disciplina de Projeto de Graduação do 10º semestre do Curso de Engenharia Civil. Uberlândia/MG, 2011.

PERRET, J. **Déformations des Couches Bitumineuses au Passage D'une Charge de Trafic**. 2003. 263 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, 2003.

PINTO, M. M.; CERVO T. C.; PEREIRA, D. S. **Reutilização de material fresado em acostamentos como agente regularizador e nivelador**. Revista Pavimentação. V.6, p.18-25, 2012.

PIRES, G. M. **Estudo da estabilização granulométrica e química de material fresado com adição de cimento Portland e cinza de casca de arroz para aplicação em camadas de pavimentos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2014.

PORCHER, LOPES. **Geodiversidades do Rio Grande do Sul**. 2000– p.18.

PORTO, E. R.; RICHETTI, L.; ROSA, F. D. R. **Caracterização de fresados para utilização como material alternativo em camadas de reforço do subleito em vias com baixo volume de tráfego**. In: REUNIÃO DE PAVIMENTAÇÃO URBANA, 17, 2011, Porto Alegre.

QUEIROZ, F. A. **Utilização de material fresado para aplicação em camadas estabilizadas de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Campina Grande. 2011.

ROGGE, D. F. et. al. **Use of asphalt emulsions in-place recycling: Oregon experience**. *Transportation Research Record*. Washington, n.1342, p. 1-8. 1993.

ROSA, P.; LORENZO, C.; PACHECO, A. **Material Fresado – De problema à solução econômica em obras de pavimentação**. 38ª Reunião de Pavimentação / 12º Encontro Nacional de conservação Rodoviária. Manaus, AM. 2007.

ROWE, G. M.; BARRY, J.; CRAWFORD, K. **Evaluation of a 100% Rap Recycling Project in Fort Wayne, Indiana**. 8th RILEM International Symposium on Testing and Characterization of Sustainable and Innovative Bituminous Materials. Volume 11. RILEM 2015.

SACHET, T.; GONÇALVES, F. P. **Reciclagem de bases granulares para pavimentos asfálticos**. In: 39ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 2008, Recife. **Anais...** Recife, 2008.

SANTANA, H. **Manual de pré-misturados a frio**. Instituto Brasileiro de Petróleo. Rio de Janeiro, 1993, 298p.

SANTOS, T. A. **Avaliação da resistência e da deformabilidade de quatro solos empregados em subleitos rodoviários no Estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

SCHENDEL, C.; et. al. **Novas alternativas de materiais em vias de pavimentação**. In: SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 2012, Bagé. **Anais...** Unipampa, Bagé, 1012.

SHELL BITUMEN. **The Shell bitumen handbook**. London: Thomas Telford Publishing, 2003, 460p.

SPECHT, L. P. **Avaliação de Misturas Asfálticas com Incorporação de Borracha Reciclada de Pneus**. 2004. 279f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

SILVA, C. F. S. C. **Reutilização do resíduo oriundo dos serviços de restauração asfáltica como material alternativo em camadas de pavimentos flexíveis**. 2012. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2012.

SUFIAN, Z., AZIZ, A. N., HUSSAIN, M. Z. **Cold in-place pavement recycling in Malaysia**. 2005. International Symposium Pavement Recycling. São Paulo/SP.

TAHA, R. **Evaluation of cement klin dust-stabilized reclaimed asphalt pavement aggregate system in road bases**. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, nº1819, p.11-179. 2003

TAN, Y.; J. OUYANG; J. LV e Y LI (2013) **Effect of Emulsifier on Cement Hydration in Cement Asphalt Mortar**

TRICHÊS, G., CARDOSO, A. B. **Avaliação da Capacidade de Aterros e Subleito de Rodovias utilizando o Penetrômetro de cone e a Viga Benkelman**. Transporte em transformação IV. Trabalhos vencedores do prêmio CNT produção acadêmica 1999. Ed. Makron Books. p. 35-49. São Paulo. 1999.

TRICHÊS, G.; LORENA, M.; SANTOS, A. **Reciclagem de pavimento com adição de cimento: estudo do desempenho da rodovia SC 303, trecho BR 282 – Capinzal (SC)**. 40ª RAPV: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 2010, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2010.

TRICHÊS, G.; SANTOS, A. **Avaliação do Desempenho da Reciclagem do Pavimento da Rodovia SC 303**. 7º CBR&C: Congresso Brasileiro de Rodovias & Concessões e 7ª Exposição Internacional de Produtos para Rodovias, Foz do Iguaçu, 2011.

TRICHÊS, G.; SANTOS, A. **Desempenho da reciclagem com a adição de cimento da rodovia SC 150**. 42ª RAPV: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 2013, Gramado. **Anais...** Gramado, 2013.

USACE. **Cold mix recycling**. United States Army Corps of Engineers, UFGS 02965. Washington, 19p, 2005.

VARGAS, M. **Introdução à Mecânica dos Solos**. 1Ed. São Paulo: Mcgraw – Hill do Brasil, São Paulo, 1977.

VAN IMPE, W. F. **Soil Improvement: Techniques and their Evolution**. Rotterdam: A. A. Balkema Publishers, 1989. 125 p.

WIRTGEN GmbH. **Misturas de materiais a frio: preparação e processos**. Windhagen, 18p., 2004.

WIRTGEN GmbH. **Wirtgen Cold Recycling Manual**. Windhagen, p31-65, 2012

WITCZAK, M. W.; KALOUSH, K.; PELLINEN, T. et al., 2002, **Simple performance test for Superpave mix design, National Cooperative Highway Research Program** – NCHRP Report 465, Washington, D. C., EUA.

WOLDEKIDAN, M. F. (2011) **Response modelling of bitumen, bituminous mastic and mortar**. Tese de Doutorado. Delft University of Technology, Delft, Holanda.

YAN, J.; NI, F.; JIA, J.; TAO, Z. **Investigation on the Bulk Performance and Microstructure of Emulsion-Based, Cold In-place Recycling Mixtures**. Journal of Testing and Evaluation, Vol. 37, No. 5, Paper ID JTE000344. Jun, 2008.

YODER, E. J.; WITCZACK, M. W. **Principles of pavement Design**. New York: John Wiley & Sons Inc., ed. 2, 1975. 711p.

ZHANG, Y.; X. KONG; S. HOU; Y. LIU e S. HAN (2012) **Study of Rheological Properties of Fresh Cement Asphalt Paste**.

ZUBARAN, M.; MOTTA, L. M. G. **Avaliação de misturas asfálticas recicladas mornas em laboratório e usina de asfalto**. In: 42ª RAPV: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 2015, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** 2015.

APÊNDICES

Apêndice A – Dados gerais da análise estrutural deformação horizontal e tensão horizontal

Coordenada Z (cm)	Deformação específica horizontal ao longo de 5 cm de revestimento e 10 cm de base reciclada																	
	2% 0%		3% 0%		4% 0%		5% 0%		2% 1%		3% 1%		4% 1%		5% 1%			
	Aderido (ε _H)	Não aderido (ε _H)	Aderido (ε _H)	Não aderido (ε _H)	Aderido (ε _H)	Não aderido (ε _H)	Aderido (ε _H)	Não aderido (ε _H)	Aderido (ε _H)	Não aderido (ε _H)	Aderido (ε _H)	Não aderido (ε _H)	Aderido (ε _H)	Não aderido (ε _H)	Aderido (ε _H)	Não aderido (ε _H)		
-0,001	309	416	376	407	429	451	416	277	287	287	157	118	171	150	171	151	170	149
-1	121	104	131	123	141	137	138	138	133	133	113	51	115	67	67	67	115	66
-2	41	-90	-51	-100	-77	-108	-71	-106	-75	-106	75	-60	59	-69	59	-69	60	-68
-3	-113	-234	-190	-268	-243	-293	-230	-286	58	-136	58	-167	58	-167	58	-167	58	-165
-4	-218	-384	-334	-443	-417	-486	-396	-475	53	-215	-48	-267	-50	-268	-45	-264	-45	-264
-4,999	-218	-431	-334	-385	-416	-495	-396	-475	323	298	53	298	-48	361	-50	362	-45	358
-5,001	-249	291	-376	223	-474	112	-449	147	-24	222	-74	264	-73	264	-74	265	-70	262
-6	-279	172	-416	87	-525	-51	-496	-28	-45	155	-96	181	-97	181	-93	180	-93	180
-7	-309	66	-454	-58	-576	-186	-543	-147	-65	93	-118	103	-120	103	-115	103	-115	103
-8	-341	-57	-498	-170	-633	-306	-596	-265	-86	37	-141	43	-143	44	-138	44	-138	43
-9	-380	-151	-548	-274	-690	-418	-652	-375	-108	-31	-167	-51	-169	-52	-164	-50	-164	-50
-10	-422	-242	-600	-374	-752	-527	-711	-482	-132	-86	-196	-119	-198	-120	-192	-117	-192	-117
-11	-470	-335	-659	-477	-819	-634	-776	-587	-157	-144	-227	-189	-229	-190	-223	-186	-223	-186
-12	-524	-435	-725	-583	-892	-741	-847	-695	-185	-204	-261	-261	-263	-263	-257	-263	-257	-260
-13	-586	-540	-800	-694	-974	-852	-927	-806	-216	-269	-300	-300	-302	-302	-295	-302	-295	-300
-14	-656	-654	-885	-813	-1066	-969	-1018	-924	-251	-339	-343	-343	-346	-346	-338	-346	-338	-342

Coordenada Z(cm)	Deformação específica horizontal ao longo de 5 cm de revestimento e 20 cm de base reciclada																			
	2% 0%		3% 0%		4% 0%		5% 0%		2% 1%		3% 1%		4% 1%		5% 1%					
	Aderido (€/)	Não aderido (€/)	Aderido (€/)	Não aderido (€/)	Aderido (€/)	Não aderido (€/)	Aderido (€/)	Não aderido (€/)	Aderido (€/)	Não aderido (€/)	Aderido (€/)	Não aderido (€/)	Aderido (€/)	Não aderido (€/)	Aderido (€/)	Não aderido (€/)				
-0,001	246	253	330	353	404	430	384	410	127	77	153	114	154	115	151	112				
-1	174	162	225	229	271	280	258	267	98	43	115	69	116	70	114	68				
-2	101	72	120	104	137	130	133	123	71	13	79	27	79	27	79	26				
-3	56	-72	-31	-90	-59	-104	-52	-100	56	-40	59	-48	59	-48	59	-47				
-4	-73	-180	-148	-227	-211	-281	-194	-269	62	-76	71	-100	71	-101	71	-98				
-4,999	-152	-291	-270	-390	-369	-466	-343	-446	67	-111	84	-152	85	-154	83	-150				
-5,001	-152	408	-270	493	-369	519	-343	516	67	163	84	227	85	229	83	223				
-6	-167	312	-291	359	-399	354	-370	360	61	132	76	181	76	183	75	178				
-7	-178	235	-306	251	-420	220	-389	233	54	107	-39	145	-40	146	-37	143				
-8	-186	177	-316	186	-434	162	-402	172	46	85	-47	113	-48	114	-45	112				
-9	-191	166	-323	172	-447	140	-412	155	-22	79	-53	106	-54	107	-51	105				
-10	-195	148	-329	149	-456	-114	-421	-89	-27	71	-58	96	-59	96	-56	94				
-11	-199	125	-334	-89	-468	-184	-429	-155	-32	61	-62	82	-63	83	-60	81				
-12	-203	-55	-339	-138	-480	-242	-440	-211	-36	50	-66	67	-67	67	-64	66				
-13	-207	-88	-348	-181	-493	-294	-452	-260	-40	38	-71	51	-72	51	-69	50				
-14	-212	-117	-358	-219	-505	-339	-464	-304	-44	-20	-75	-36	-76	-36	-73	-35				
-15	-221	-144	-369	-255	-519	-388	-476	-348	-49	-31	-80	-51	-81	-51	-78	-49				
-16	-230	-170	-381	-292	-534	-434	-490	-392	-53	-42	-85	-65	-86	-66	-83	-64				
-17	-241	-198	-395	-331	-552	-478	-507	-435	-59	-53	-92	-80	-94	-81	-90	-78				
-18	-253	-230	-411	-371	-572	-522	-526	-478	-65	-64	-100	-96	-101	-97	-98	-94				
-19	-268	-262	-430	-411	-594	-568	-548	-523	-72	-77	-109	-114	-110	-115	-106	-112				
-20	-284	-296	-452	-454	-620	-616	-573	-570	-79	-91	-118	-133	-119	-134	-116	-131				
-21	-303	-334	-477	-501	-650	-667	-601	-620	-88	-106	-129	-154	-130	-155	-126	-151				
-22	-325	-375	-506	-551	-684	-722	-634	-673	-97	-122	-141	-176	-142	-178	-138	-173				
-23	-349	-419	-539	-606	-722	-781	-671	-732	-107	-140	-154	-201	-155	-202	-151	-197				
-24	-378	-469	-578	-666	-767	-846	-714	-796	-118	-159	-169	-228	-170	-230	-166	-224				
-24,999	-410	-524	-621	-734	-817	-919	-763	-868	-130	-180	-186	-258	-187	-260	-182	-253				

Coordenada Z(cm)	Deformação específica horizontal ao longo de 5 cm de revestimento e 30 cm de base reciclada															
	2%:0%		3%:0%		4%:0%		5%:0%		2%:1%		3%:1%		4%:1%		5%:1%	
	Adenido (EU)	Não adenido (EU)	Adenido (EU)	Não adenido (EU)	Adenido (EU)	Não adenido (EU)	Adenido (EU)	Não adenido (EU)	Adenido (EU)	Não adenido (EU)	Adenido (EU)	Não adenido (EU)	Adenido (EU)	Não adenido (EU)	Adenido (EU)	Não adenido (EU)
-0,001	218	211	306	317	385	405	363	382	97	52	122	82	123	83	120	80
-1	154	134	208	204	259	263	245	247	73	26	26	30	31	49	89	47
-2	89	56	111	91	132	121	126	113	51	5	5	15	62	16	61	15
-3	57	-64	-27	-83	-53	-99	-46	-95	45	-36	51	-42	51	-42	51	-42
-4	-85	-165	-135	-215	-196	-266	-180	-252	55	-62	67	-82	67	-82	66	-81
-4,999	-135	-249	-247	-353	-346	-441	-319	-417	63	-88	84	-122	85	-123	83	-120
-5,001	-136	-320	-247	443	-346	528	-319	508	63	104	84	152	85	154	83	149
-6	-148	242	-264	325	-371	375	-342	364	81	325	79	118	79	119	78	115
-7	-156	182	-275	232	-386	253	-355	250	55	66	71	93	-36	94	70	92
-8	-160	172	-280	208	-394	215	-362	216	49	68	-40	95	-40	96	-38	93
-9	-162	171	-282	203	-399	199	-366	207	44	68	-42	95	-43	96	-41	94
-10	-161	163	-282	190	-400	180	-367	194	-20	65	-44	92	-45	92	-43	90
-11	-160	150	-280	166	-399	-107	-366	-89	-22	61	-45	85	-46	86	-44	84
-12	-158	134	-277	-85	-400	-154	-364	-133	-23	55	-46	77	-47	78	-44	76
-13	-156	115	-273	-113	-400	-191	-364	-168	-24	49	-46	69	-47	69	-45	68
-14	-154	-67	-272	-137	-400	-222	-363	-197	-25	43	-47	60	-48	60	-45	59
-15	-152	-79	-271	-156	-399	-249	-362	-222	-26	36	-47	50	-48	51	-46	49
-16	-150	-90	-270	-173	-398	-271	-361	-241	-26	29	-47	-26	-48	-27	-46	-25
-17	-150	-99	-269	-186	-397	-293	-360	-261	-27	-18	-48	-31	-49	-31	-47	-30
-18	-150	-108	-268	-199	-396	-313	-359	-280	-28	-21	-49	-35	-49	-35	-47	-34
-19	-151	-115	-267	-214	-396	-331	-359	-297	-29	-23	-49	-39	-50	-39	-48	-38
-20	-152	-123	-268	-227	-396	-348	-359	-312	-30	-26	-51	-42	-51	-43	-49	-41
-21	-153	-132	-269	-239	-397	-364	-360	-327	-32	-29	-52	-46	-53	-47	-51	-45
-22	-155	-141	-271	-252	-399	-380	-362	-342	-34	-32	-54	-50	-55	-51	-53	-49
-23	-157	-151	-274	-265	-402	-395	-365	-357	-35	-35	-56	-55	-57	-55	-55	-54
-24	-161	-160	-278	-278	-407	-411	-369	-372	-37	-39	-59	-60	-59	-61	-57	-59
-25	-165	-171	-282	-292	-412	-427	-374	-388	-40	-42	-61	-65	-62	-66	-60	-64
-26	-169	-182	-288	-307	-419	-445	-381	-405	-42	-46	-64	-71	-65	-72	-63	-69
-27	-175	-194	-296	-323	-428	-464	-389	-423	-45	-51	-68	-77	-69	-78	-66	-76
-28	-181	-208	-305	-341	-438	-484	-400	-442	-48	-56	-72	-84	-72	-85	-70	-82
-29	-189	-222	-315	-360	-451	-506	-412	-464	-51	-61	-76	-91	-77	-92	-74	-89
-30	-198	-238	-327	-382	-466	-531	-426	-488	-54	-66	-81	-99	-81	-100	-79	-97
-31	-208	-256	-341	-406	-483	-559	-442	-515	-58	-72	-86	-108	-87	-109	-84	-106
-32	-220	-276	-358	-433	-502	-589	-461	-545	-63	-79	-92	-118	-93	-119	-90	-115
-33	-233	-299	-377	-463	-525	-624	-483	-578	-67	-86	-98	-128	-99	-130	-96	-126
-34	-248	-324	-398	-496	-551	-663	-508	-616	-73	-94	-106	-140	-107	-142	-104	-137
-34,999	-266	-352	-423	-534	-581	-706	-536	-658	-79	-103	-114	-153	-115	-155	-112	-150

Coordenad a Z(cm)	Deformação específica horizontal ao longo de 10 cm de revestimento e 10 cm de base reciclada																							
	2% 0%		3% 0%		4% 0%		5% 0%		2% 1%		3% 1%		4% 1%		5% 1%									
	Aderido (EU)	Não aderido (EU)	Aderido (EU)	Não aderido (EU)	Aderido (EU)	Não aderido (EU)	Aderido (EU)	Não aderido (EU)	Aderido (EU)	Não aderido (EU)	Aderido (EU)	Não aderido (EU)	Aderido (EU)	Não aderido (EU)	Aderido (EU)	Não aderido (EU)								
-0,001	226	262	254	274	272	283	268	281	151	206	171	229	172	229	170	228								
-1	166	191	187	200	200	207	197	206	114	147	128	165	128	165	127	164								
-2	121	134	134	141	143	146	141	145	89	102	98	115	98	115	97	114								
-3	82	84	88	88	92	92	91	91	70	62	73	71	73	71	73	70								
-4	44	35	43	38	42	39	42	39	53	31	49	31	49	31	49	31								
-5	27	-16	20	-16	-9	-15	-8	-16	47	-18	41	-17	41	-17	41	-18								
-6	-32	-63	-47	-65	-56	-66	-54	-66	39	-55	32	-58	31	-59	32	-58								
-7	-67	-111	-91	-115	-104	-118	-101	-117	31	-93	-22	-100	-22	-100	-21	-100								
-8	-104	-160	-136	-167	-154	-171	-150	-170	-20	-132	-43	-143	-44	-143	-42	-143								
-9	-143	-213	-183	-222	-206	-228	-201	-226	-35	-172	-65	-189	-65	-189	-63	-188								
-9,999	-185	-269	-234	-281	-263	-290	-266	-287	-50	-216	-87	-238	-88	-238	-85	-237								
-10,001	-185	182	-234	140	-263	86	-256	102	-50	178	-87	191	-88	192	-85	191								
-11	-194	126	-247	82	-280	25	-272	42	-57	134	-94	143	-95	143	-92	143								
-12	-205	75	-261	29	-297	-31	-288	-19	-65	95	-102	99	-103	99	-100	99								
-13	-218	28	-277	-24	-316	-81	-306	-64	-74	57	-112	57	-113	57	-110	57								
-14	-233	-22	-294	-69	-336	-127	-325	-109	-84	21	-123	19	-125	19	-121	19								
-15	-249	-63	-313	-112	-358	-172	-347	-154	-95	-17	-136	-24	-137	-25	-134	-24								
-16	-268	-105	-336	-155	-382	-215	-370	-197	-107	-50	-150	-62	-151	-62	-147	-61								
-17	-290	-148	-360	-198	-409	-257	-396	-239	-120	-86	-165	-101	-167	-101	-163	-100								
-18	-315	-192	-388	-242	-438	-299	-425	-282	-135	-122	-183	-141	-184	-141	-180	-140								
-19	-342	-238	-419	-287	-470	-342	-457	-326	-151	-161	-202	-183	-204	-184	-199	-182								
-19,999	-374	-287	-454	-335	-505	-387	-492	-372	-169	-202	-224	-229	-226	-221	-221	-227								

Coordenada Z(cm)	Deformação específica horizontal ao longo de 10 cm de revestimento e 20 cm de base reciclada																															
	2% 0%				3% 0%				4% 0%				5% 0%				2% 1%				3% 1%				4% 1%				5% 1%			
	Adenrido (eu)	Não adenrido (eu)	Adenrido (eu)	Não adenrido (eu)	Adenrido (eu)	Não adenrido (eu)	Adenrido (eu)	Não adenrido (eu)	Adenrido (eu)	Não adenrido (eu)	Adenrido (eu)	Não adenrido (eu)	Adenrido (eu)	Não adenrido (eu)	Adenrido (eu)	Não adenrido (eu)	Adenrido (eu)	Não adenrido (eu)	Adenrido (eu)	Não adenrido (eu)	Adenrido (eu)	Não adenrido (eu)	Adenrido (eu)	Não adenrido (eu)	Adenrido (eu)	Não adenrido (eu)	Adenrido (eu)	Não adenrido (eu)				
-0,001	187	222	229	257	258	279	251	273	114	125	147	125	147	125	147	125	147	125	147	125	147	125	147	125	147	124	145					
-1	137	159	168	187	190	204	184	200	76	74	91	100	100	91	100	100	91	100	100	91	100	100	91	100	90	90	89					
-2	100	110	121	131	136	144	132	141	48	53	67	70	67	70	67	70	67	70	67	70	67	70	67	69	66	66	66					
-3	69	68	80	81	89	90	88	88	25	25	38	38	38	25	25	38	38	38	25	25	38	38	38	53	37	37	37					
-4	40	27	41	34	43	38	43	37	46	46	21	44	23	44	23	44	23	44	23	44	23	44	23	44	44	23	23					
-5	32	-17	25	20	-16	21	-16	21	-16	45	-21	42	-19	42	-19	42	-19	42	-19	42	-19	42	-19	42	-20	-20	-20					
-6	-20	-57	-37	-62	-49	-65	-46	-65	42	42	-42	39	-46	39	-46	39	-46	39	-46	39	-46	39	-46	39	-46	-46	-46					
-7	-48	-97	-74	-109	-93	-116	-88	-114	39	39	-73	35	-73	35	-73	35	-73	35	-73	35	-73	35	-73	35	-72	-72	-72					
-8	-77	-138	-113	-157	-139	-169	-132	-166	35	35	-84	-23	-100	-23	-100	-23	-100	-23	-100	-23	-100	-23	-100	-22	-22	-100	-100					
-9	-108	-183	-154	-209	-188	-225	-179	-221	32	32	-107	-37	-130	-37	-130	-37	-130	-37	-130	-37	-130	-37	-130	-36	-36	-129	-129					
-9,999	-141	-231	-200	-264	-241	-285	-230	-280	-24	-24	-132	-51	-162	-51	-162	-51	-162	-51	-162	-51	-162	-51	-162	-50	-50	-161	-161					
-10,001	-141	233	-200	233	-240	208	-230	217	-24	-24	133	-51	170	-51	170	-51	170	-51	170	-51	170	-51	170	-50	-50	168	168					
-11	-141	187	-200	180	-244	150	-233	160	-26	-26	110	-53	140	-53	140	-53	140	-53	140	-53	140	-53	141	-51	-51	139	139					
-12	-140	147	-202	133	-248	99	-236	110	-28	-28	91	-54	114	-54	114	-54	114	-54	114	-54	114	-54	115	-52	-52	113	113					
-13	-140	111	-204	91	-252	57	-239	66	-30	-30	73	-55	91	-55	91	-55	91	-55	91	-55	91	-55	92	-53	-53	90	90					
-14	-141	84	-206	68	-256	38	-243	48	-32	-32	58	-56	71	-56	71	-56	71	-56	71	-56	71	-56	71	-54	-54	70	70					
-15	-143	68	-208	50	-260	-31	-246	-19	-33	-33	50	-57	60	-57	60	-57	60	-57	60	-57	60	-57	61	-56	-56	60	60					
-16	-145	51	-212	-19	-264	-61	-250	-48	-35	-35	41	-59	49	-59	49	-59	49	-59	49	-59	49	-59	49	-57	-57	49	49					
-17	-148	34	-215	-44	-270	-89	-255	-76	-37	-37	31	-61	37	-61	37	-61	37	-61	37	-61	37	-61	37	-59	-59	37	37					
-18	-151	-30	-220	-68	-276	-116	-261	-102	-39	-39	22	-63	25	-63	25	-63	25	-63	25	-63	25	-63	25	-62	-62	25	25					
-19	-155	-50	-225	-92	-283	-142	-267	-127	-42	-42	-10	-66	-17	-66	-17	-66	-17	-66	-17	-66	-17	-66	-17	-65	-65	-16	-16					
-20	-160	-69	-231	-115	-290	-167	-274	-152	-45	-45	-20	-70	-30	-70	-30	-70	-30	-70	-30	-70	-30	-70	-30	-68	-68	-29	-29					
-21	-165	-90	-238	-138	-298	-192	-282	-176	-48	-48	-30	-73	-43	-73	-43	-73	-43	-73	-43	-73	-43	-73	-43	-72	-72	-42	-42					
-22	-172	-111	-246	-162	-308	-216	-291	-200	-52	-52	-41	-77	-57	-77	-57	-77	-57	-77	-57	-77	-57	-77	-57	-76	-76	-56	-56					
-23	-179	-132	-255	-185	-318	-240	-301	-224	-56	-56	-52	-82	-71	-82	-71	-82	-71	-82	-71	-82	-71	-82	-71	-81	-81	-70	-70					
-24	-187	-153	-266	-209	-330	-264	-313	-248	-60	-60	-63	-87	-86	-86	-86	-86	-86	-86	-86	-86	-86	-86	-86	-86	-86	-84	-84					
-25	-197	-176	-277	-233	-343	-289	-325	-273	-65	-65	-75	-93	-101	-93	-101	-93	-101	-93	-101	-93	-101	-93	-102	-92	-92	-100	-100					
-26	-208	-199	-291	-258	-358	-314	-340	-298	-70	-70	-88	-100	-118	-100	-118	-100	-118	-100	-118	-100	-118	-101	-98	-98	-116	-116						
-27	-220	-224	-306	-285	-374	-341	-356	-325	-75	-75	-102	-107	-136	-107	-136	-107	-136	-107	-136	-107	-136	-108	-98	-98	-105	-105						
-28	-234	-251	-323	-314	-392	-369	-374	-354	-82	-82	-116	-115	-154	-115	-154	-115	-154	-115	-154	-115	-154	-108	-105	-105	-113	-113						
-29	-249	-280	-341	-345	-413	-400	-394	-384	-89	-89	-132	-124	-174	-124	-174	-124	-174	-124	-174	-124	-174	-125	-122	-122	-172	-172						
-29,999	-266	-312	-363	-378	-435	-432	-417	-417	-97	-97	-149	-135	-196	-135	-196	-135	-196	-135	-196	-135	-196	-136	-132	-132	-194	-194						

Condição Z(cm)	2% 0%		3% 0%		4% 0%		5% 0%		2% 1%		3% 1%		4% 1%		5% 1%	
	Aderida	Não aderida	Aderida	Não aderida	Aderida	Não aderida	Aderida	Não aderida	Aderida	Não aderida	Aderida	Não aderida	Aderida	Não aderida	Aderida	Não aderida
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
-0,001	166	188	212	236	247	268	288	260	85	79	104	107	105	107	103	105
-1	120	132	155	170	181	195	174	189	59	48	74	70	74	70	73	69
-2	88	90	111	118	130	137	155	132	45	29	56	45	56	45	55	44
-3	61	54	74	73	85	86	82	83	35	14	42	22	42	22	41	21
-4	35	22	39	29	42	36	41	34	39	16	38	17	38	17	38	17
-5	32	18	26	16	22	16	23	16	39	21	38	20	38	20	38	20
-6	17	51	33	58	45	64	41	62	38	36	37	37	37	40	37	39
-7	42	84	67	101	86	112	81	109	37	51	35	59	35	59	35	59
-8	67	120	102	145	130	163	122	158	35	66	20	80	21	80	20	79
-9	84	158	140	192	176	216	166	210	32	82	32	102	32	102	31	101
-9,999	124	200	182	244	228	275	215	267	21	100	44	126	45	127	42	125
-10,001	124	208	182	240	225	243	214	244	21	89	44	122	45	123	42	120
-11	122	169	160	191	226	188	214	191	22	73	44	101	44	102	42	99
-12	119	136	178	149	227	140	214	144	23	61	43	83	44	84	42	82
-13	117	108	177	113	227	100	214	105	23	53	43	70	44	70	42	69
-14	115	88	176	99	227	84	213	89	23	50	42	66	43	66	41	65
-15	114	87	175	84	226	66	213	73	23	47	42	60	42	61	41	60
-16	113	75	174	69	226	49	212	56	23	42	41	54	42	55	40	54
-17	112	63	173	54	225	32	211	42	23	37	41	48	42	48	40	47
-18	111	51	172	39	225	16	211	42	24	33	41	41	41	41	40	41
-19	111	40	172	26	226	7	211	40	24	28	41	35	41	35	40	34
-20	110	22	171	11	226	89	211	77	24	23	41	28	42	28	40	28
-21	110	32	171	65	226	106	211	93	25	18	42	21	42	21	41	21
-22	110	42	172	78	227	121	212	108	25	9	42	14	43	14	41	14
-23	111	52	172	91	228	136	213	122	26	12	43	19	43	19	42	19
-24	111	61	173	103	230	149	214	136	27	15	43	24	44	24	42	23
-25	112	70	174	114	231	163	216	149	28	19	44	29	45	29	43	28
-26	114	79	176	126	234	175	218	161	29	22	46	34	46	34	45	23
-27	115	88	178	137	237	188	221	173	30	26	47	38	47	39	46	28
-28	117	97	181	148	240	200	224	185	31	30	48	44	49	44	47	43
-29	120	106	185	159	244	212	228	197	33	33	50	49	50	49	49	48
-30	123	116	188	171	249	225	232	209	34	37	52	54	52	55	51	52
-31	126	125	193	182	254	238	237	222	36	41	54	60	54	60	53	59
-32	135	147	204	208	267	245	250	249	40	50	59	72	59	73	58	71
-33	145	170	217	235	282	264	264	279	42	55	62	79	62	79	61	77
-34	146	184	227	253	294	276	295	295	47	66	69	94	69	94	67	82
-35	160	199	237	270	305	288	320	288	50	72	73	102	73	103	71	100
-36	168	215	248	289	317	349	298	333	54	78	77	111	78	112	76	109
-37	178	233	260	309	331	370	312	354	58	86	82	121	83	122	81	119
-39,999	188	252	274	331	346	393	327	376	62	94	88	132	88	133	86	130

Deformação ergo-eficaz horizontal em função da taxa de ressecamento a 30 cm de base ressecada

Coordenada Z(cm)	Tensão horizontal ao longo de 5 cm de revestimento e 10 cm de base reciclada																							
	2% 0%		3% 0%		4% 0%		5% 0%		2% 1%		3% 1%		4% 1%		5% 1%									
	Aderido	MPs	Aderido	MPs	Aderido	MPs	Aderido	MPs	Aderido	MPs	Aderido	MPs	Aderido	MPs	Aderido	MPs	Aderido	MPs						
-0,001	2,50	2,77	2,99	3,22	3,37	3,53	3,27	3,45	1,61	1,51	1,82	1,90	1,83	1,91	1,81	1,88								
-1	1,99	2,13	2,34	2,47	2,61	2,71	2,54	2,64	1,38	1,18	1,53	1,48	1,53	1,48	1,52	1,46								
-2	1,48	1,49	1,68	1,72	1,85	1,88	1,80	1,84	1,15	0,85	1,23	1,05	1,23	1,06	1,23	1,04								
-3	0,28	-0,47	-0,21	-0,57	-0,41	-0,63	-0,36	-0,61	0,71	-0,27	0,58	-0,32	0,57	-0,32	0,58	-0,32								
-4	-0,68	-1,55	-1,26	-1,82	-1,66	-2,01	-1,56	-1,96	0,44	-0,78	0,40	-1,02	0,40	-1,02	0,40	-1,01								
-4,999	-1,46	-2,66	-2,33	-3,12	-2,94	-3,44	-2,79	-3,36	0,36	-1,36	-0,19	-1,76	-0,20	-1,77	0,34	-1,74								
-5,001	0,08	0,52	0,08	0,31	0,08	0,21	0,08	0,23	0,22	1,52	0,14	1,15	0,14	1,14	0,14	1,17								
-6	-0,07	0,41	0,06	0,24	0,06	0,16	0,06	0,18	0,14	1,19	0,08	0,90	0,08	0,89	0,08	0,91								
-7	-0,10	0,30	-0,05	0,18	0,05	0,12	0,05	0,14	-0,07	0,87	-0,12	0,66	-0,13	0,65	-0,12	0,67								
-8	-0,13	0,20	-0,07	0,12	-0,03	0,09	-0,04	0,10	-0,17	0,58	-0,19	0,44	-0,19	0,44	-0,19	0,45								
-9	-0,16	0,12	-0,09	0,08	-0,05	0,07	-0,06	0,07	-0,27	0,30	-0,27	0,23	-0,27	0,23	-0,27	0,24								
-10	-0,20	0,06	-0,11	0,06	-0,06	0,05	-0,07	0,05	-0,38	0,07	-0,34	0,07	-0,34	0,07	-0,34	0,07								
-11	-0,24	-0,07	-0,14	-0,03	-0,08	0,04	-0,09	0,04	-0,49	-0,25	-0,42	-0,18	-0,42	-0,18	-0,42	-0,18								
-12	-0,28	-0,14	-0,16	-0,07	-0,10	-0,04	-0,11	-0,05	-0,61	-0,50	-0,50	-0,36	-0,50	-0,36	-0,51	-0,37								
-13	-0,32	-0,22	-0,19	-0,11	-0,11	-0,06	-0,13	-0,07	-0,73	-0,77	-0,59	-0,56	-0,59	-0,56	-0,60	-0,57								
-14	-0,37	-0,30	-0,22	-0,15	-0,13	-0,09	-0,15	-0,10	-0,87	-1,06	-0,70	-0,78	-0,70	-0,77	-0,71	-0,79								
-14,999	-0,42	-0,39	-0,25	-0,20	-0,15	-0,11	-0,17	-0,13	-1,03	-1,37	-0,82	-1,01	-0,81	-1,00	-0,83	-1,02								

		Tensão horizontal ao longo de 5 cm de revestimento e 20 cm de base reciclada																							
		2% 0%		3% 0%		4% 0%		5% 0%		2% 1%		3% 1%		4% 1%		5% 1%									
Coordenada Z(cm)	MPs	Não aderido	MPs	Não aderido	MPs	Aderido	MPs	Não aderido	MPs	Aderido	MPs	Não aderido	MPs	Aderido	MPs	Não aderido	MPs								
		MPs	MPs	MPs	MPs	MPs	MPs	MPs	MPs	MPs	MPs	MPs	MPs	MPs	MPs	MPs	MPs								
-0,001	2,06	2,12	2,68	2,84	3,20	3,39	3,06	3,25	1,10	0,77	1,32	1,08	1,33	1,09	1,31	1,06									
-1	1,66	1,63	2,11	2,18	2,49	2,60	2,39	2,49	0,96	0,60	1,13	0,84	1,13	0,85	1,12	0,83									
-2	1,26	1,14	1,54	1,52	1,78	1,80	1,71	1,73	0,82	0,44	0,93	0,61	0,93	0,61	0,92	0,60									
-3	0,40	-0,34	0,31	-0,49	-0,28	-0,60	-0,22	-0,57	0,58	-0,14	0,53	-0,17	0,53	-0,17	0,53	-0,16									
-4	-0,37	-1,15	-0,95	-1,59	-1,42	-1,93	-1,30	-1,84	0,46	-0,33	0,50	-0,52	0,50	-0,53	0,50	-0,51									
-4,999	-0,98	-1,99	-1,87	-2,74	-2,61	-3,30	-2,41	-3,15	0,47	-0,60	0,54	-0,92	0,54	-0,93	0,54	-0,90									
-5,001	0,12	0,53	0,10	0,36	0,09	0,26	0,09	0,29	0,30	1,00	0,22	0,86	0,22	0,86	0,22	0,87									
-6	0,11	0,44	0,09	0,30	0,08	0,22	0,08	0,24	0,27	0,85	0,20	0,73	0,20	0,72	0,20	0,73									
-7	0,09	0,37	0,08	0,25	0,07	0,18	0,07	0,20	0,24	0,71	0,17	0,61	0,17	0,60	0,18	0,61									
-8	0,08	0,30	0,06	0,20	0,06	0,15	0,06	0,16	0,20	0,59	0,14	0,50	0,14	0,50	0,15	0,51									
-9	0,06	0,24	0,05	0,17	0,05	0,12	0,05	0,13	0,17	0,48	0,12	0,41	0,11	0,41	0,12	0,41									
-10	-0,04	0,19	0,04	0,14	0,04	0,11	0,04	0,11	0,13	0,38	0,09	0,32	0,08	0,32	0,09	0,33									
-11	-0,05	0,16	-0,04	0,12	0,03	0,09	-0,02	0,10	0,09	0,31	-0,04	0,26	-0,04	0,26	-0,04	0,26									
-12	-0,07	0,14	-0,04	0,10	-0,03	0,08	-0,03	0,09	-0,04	0,25	-0,06	0,21	-0,06	0,21	-0,06	0,22									
-13	-0,08	0,11	-0,05	0,08	-0,03	0,07	-0,04	0,07	-0,07	0,19	-0,09	0,17	-0,09	0,16	-0,09	0,17									
-14	-0,09	0,08	-0,06	0,07	-0,04	0,06	-0,05	0,06	-0,11	0,13	-0,11	0,12	-0,11	0,12	-0,11	0,12									
-15	-0,10	0,05	-0,07	0,05	-0,05	0,04	-0,05	0,04	-0,14	0,07	-0,14	0,07	-0,14	0,07	-0,14	0,07									
-16	-0,12	-0,04	-0,08	0,03	-0,05	0,03	-0,06	0,03	-0,17	-0,08	-0,16	-0,07	-0,16	-0,07	-0,16	-0,07									
-17	-0,13	-0,07	-0,09	-0,04	-0,06	-0,02	-0,07	-0,03	-0,21	-0,15	-0,19	-0,12	-0,19	-0,12	-0,19	-0,12									
-18	-0,14	-0,10	-0,10	-0,06	-0,07	-0,04	-0,08	-0,04	-0,24	-0,21	-0,21	-0,17	-0,21	-0,17	-0,22	-0,18									
-19	-0,16	-0,13	-0,11	-0,08	-0,08	-0,05	-0,08	-0,06	-0,28	-0,28	-0,24	-0,23	-0,24	-0,23	-0,24	-0,23									
-20	-0,18	-0,16	-0,12	-0,10	-0,08	-0,06	-0,09	-0,07	-0,32	-0,34	-0,27	-0,28	-0,27	-0,28	-0,27	-0,29									
-21	-0,19	-0,19	-0,13	-0,12	-0,09	-0,08	-0,10	-0,09	-0,36	-0,41	-0,30	-0,34	-0,30	-0,34	-0,31	-0,35									
-22	-0,21	-0,22	-0,15	-0,14	-0,10	-0,09	-0,11	-0,10	-0,40	-0,49	-0,34	-0,40	-0,33	-0,40	-0,34	-0,41									
-23	-0,23	-0,26	-0,16	-0,16	-0,11	-0,11	-0,13	-0,12	-0,44	-0,56	-0,37	-0,47	-0,37	-0,47	-0,38	-0,47									
-24	-0,26	-0,30	-0,18	-0,18	-0,12	-0,12	-0,14	-0,14	-0,49	-0,65	-0,41	-0,54	-0,41	-0,53	-0,41	-0,54									
-24,999	-0,28	-0,34	-0,19	-0,21	-0,14	-0,14	-0,15	-0,15	-0,54	-0,74	-0,45	-0,61	-0,45	-0,61	-0,46	-0,62									

Coordenada y (cm)	Tensão horizontal ao longo de 5 cm de revestimento e 30 cm de base reciclada																	
	2% 0%		3% 0%		4% 0%		5% 0%		2% 1%		3% 1%		4% 1%		5% 1%			
	Aderido	Mfso aderido	HP,	HP,	Aderido	Mfso aderido	HP,	HP,	Aderido	Mfso aderido	HP,	HP,	Aderido	Mfso aderido	HP,	HP,	Aderido	Mfso aderido
-0,001	1,87	1,82	2,51	2,53	3,07	3,07	3,22	3,22	3,05	3,05	0,60	0,60	1,12	0,86	1,13	0,87	1,11	0,85
-1	1,51	1,40	1,37	1,38	2,39	2,46	2,28	2,33	0,78	0,47	0,95	0,67	0,95	0,67	0,96	0,68	0,94	0,66
-2	1,14	0,98	1,44	1,37	1,71	1,71	1,71	1,71	1,62	0,66	0,35	0,78	0,48	0,78	0,48	0,77	0,47	0,47
-3	0,40	-0,28	0,34	-0,44	-0,23	-0,57	-0,17	-0,53	0,47	-0,20	0,45	-0,12	0,45	-0,12	0,45	-0,12	0,45	-0,12
-4	0,55	-0,98	-0,85	-1,44	-1,32	-1,19	-1,19	-1,19	-1,72	0,40	-0,23	0,47	-0,39	0,47	-0,40	0,46	-0,38	0,38
-4,999	-0,66	-1,69	-1,70	-2,48	-2,44	-3,12	-2,24	-2,95	0,43	-0,43	0,54	-0,70	0,54	-0,70	0,54	-0,71	0,54	-0,68
-5,001	0,14	0,48	0,11	0,35	0,10	0,27	0,10	0,29	0,28	0,77	0,22	0,63	0,22	0,63	0,23	0,70	0,23	0,70
-6	0,13	0,40	0,10	0,30	0,09	0,23	0,09	0,25	0,26	0,66	0,21	0,53	0,21	0,53	0,21	0,53	0,21	0,53
-7	0,12	0,34	0,09	0,25	0,08	0,19	0,08	0,21	0,25	0,56	0,20	0,50	0,20	0,50	0,20	0,50	0,20	0,50
-8	0,11	0,29	0,08	0,21	0,07	0,16	0,08	0,18	0,23	0,47	0,18	0,42	0,18	0,42	0,18	0,42	0,18	0,42
-9	0,09	0,24	0,07	0,18	0,06	0,14	0,07	0,15	0,21	0,40	0,16	0,35	0,16	0,35	0,16	0,35	0,16	0,36
-10	0,08	0,20	0,06	0,16	0,06	0,13	0,06	0,13	0,18	0,34	0,14	0,30	0,14	0,30	0,14	0,30	0,14	0,30
-11	0,07	0,19	0,06	0,15	0,05	0,12	0,05	0,12	0,16	0,31	0,12	0,27	0,12	0,27	0,12	0,27	0,13	0,27
-12	0,06	0,17	0,05	0,13	0,04	0,11	0,04	0,11	0,14	0,28	0,11	0,25	0,11	0,25	0,10	0,25	0,11	0,25
-13	0,05	0,16	0,04	0,12	0,03	0,10	0,04	0,10	0,12	0,25	0,09	0,22	0,09	0,22	0,09	0,22	0,09	0,23
-14	-0,03	0,14	0,03	0,11	0,03	0,09	0,03	0,09	0,10	0,22	0,07	0,20	0,07	0,20	0,07	0,20	0,07	0,20
-15	-0,03	0,12	-0,02	0,09	0,02	0,08	-0,02	0,08	0,08	0,19	0,05	0,17	0,05	0,17	0,05	0,17	0,05	0,17
-16	-0,04	0,10	-0,03	0,08	-0,02	0,07	-0,02	0,07	0,06	0,16	-0,03	0,15	-0,03	0,15	-0,03	0,15	-0,03	0,15
-17	-0,04	0,09	-0,03	0,07	-0,02	0,06	-0,02	0,06	0,06	0,15	-0,04	0,12	-0,04	0,12	-0,04	0,12	-0,04	0,12
-18	-0,05	0,07	-0,04	0,06	-0,03	0,05	-0,03	0,05	0,05	0,11	-0,05	0,10	-0,05	0,10	-0,05	0,10	-0,05	0,10
-19	-0,05	0,06	-0,04	0,05	-0,03	0,04	-0,03	0,04	-0,05	0,08	-0,06	0,07	-0,06	0,07	-0,06	0,07	-0,06	0,07
-20	-0,06	0,04	-0,04	0,03	-0,03	0,03	-0,04	0,03	-0,07	0,05	-0,07	0,05	-0,07	0,05	-0,07	0,05	-0,07	0,05
-21	-0,06	-0,02	-0,05	0,02	-0,04	0,02	-0,04	0,02	-0,08	-0,04	-0,08	-0,04	-0,08	-0,04	-0,08	-0,04	-0,08	-0,04
-22	-0,07	-0,03	-0,05	-0,02	-0,04	-0,01	-0,04	-0,02	-0,10	-0,06	-0,09	-0,06	-0,09	-0,06	-0,09	-0,06	-0,09	-0,06
-23	-0,08	-0,05	-0,06	-0,03	-0,04	-0,02	-0,05	-0,02	-0,11	-0,09	-0,10	-0,08	-0,10	-0,08	-0,10	-0,08	-0,10	-0,08
-24	-0,08	-0,06	-0,06	-0,04	-0,05	-0,03	-0,05	-0,03	-0,13	-0,11	-0,11	-0,10	-0,11	-0,10	-0,11	-0,10	-0,11	-0,10
-25	-0,09	-0,07	-0,07	-0,05	-0,05	-0,04	-0,05	-0,04	-0,14	-0,14	-0,14	-0,13	-0,14	-0,13	-0,14	-0,13	-0,14	-0,14
-26	-0,10	-0,09	-0,07	-0,06	-0,05	-0,04	-0,06	-0,05	-0,16	-0,16	-0,16	-0,14	-0,16	-0,14	-0,16	-0,14	-0,16	-0,14
-27	-0,11	-0,10	-0,08	-0,07	-0,06	-0,05	-0,06	-0,05	-0,17	-0,19	-0,19	-0,15	-0,19	-0,15	-0,19	-0,15	-0,19	-0,16
-28	-0,11	-0,12	-0,08	-0,08	-0,06	-0,06	-0,07	-0,06	-0,19	-0,21	-0,21	-0,17	-0,21	-0,17	-0,21	-0,17	-0,21	-0,19
-29	-0,12	-0,13	-0,09	-0,09	-0,07	-0,06	-0,07	-0,07	-0,21	-0,24	-0,24	-0,18	-0,24	-0,18	-0,24	-0,18	-0,24	-0,21
-30	-0,13	-0,15	-0,10	-0,10	-0,07	-0,07	-0,08	-0,08	-0,23	-0,27	-0,27	-0,19	-0,27	-0,19	-0,27	-0,19	-0,27	-0,23
-31	-0,14	-0,16	-0,10	-0,11	-0,08	-0,08	-0,08	-0,08	-0,25	-0,30	-0,30	-0,21	-0,30	-0,21	-0,30	-0,21	-0,30	-0,26
-32	-0,15	-0,18	-0,11	-0,12	-0,08	-0,09	-0,09	-0,09	-0,10	-0,27	-0,33	-0,23	-0,33	-0,23	-0,33	-0,23	-0,33	-0,29
-33	-0,16	-0,20	-0,12	-0,14	-0,09	-0,10	-0,10	-0,11	-0,29	-0,36	-0,36	-0,25	-0,36	-0,25	-0,36	-0,25	-0,36	-0,32
-34	-0,18	-0,22	-0,13	-0,15	-0,10	-0,11	-0,10	-0,12	-0,31	-0,40	-0,40	-0,27	-0,40	-0,27	-0,40	-0,27	-0,40	-0,35
-34,999	-0,19	-0,24	-0,14	-0,17	-0,10	-0,12	-0,11	-0,13	-0,34	-0,44	-0,44	-0,29	-0,44	-0,29	-0,44	-0,29	-0,44	-0,38

Coordenada Z(cm)	Tensão horizontal ao longo de 10 cm de revestimento e 10 cm de base reciclada																								
	2% 0%		3% 0%		4% 0%		5% 0%		2% 1%		3% 1%		4% 1%		5% 1%										
	Aderido	MPs	Não aderido	MPs	Aderido	MPs	Não aderido	MPs	Aderido	MPs	Não aderido	MPs	Aderido	MPs	Não aderido	MPs	Aderido	MPs	Não aderido	MPs	Aderido	MPs	Não aderido	MPs	
-0,001	1,76	1,99	1,99	1,95	2,08	2,07	2,14	2,04	2,12	1,23	1,61	1,38	1,76	1,38	1,77	1,37	1,76	1,37	1,76	1,37	1,76	1,37	1,76	1,37	1,76
-1	1,41	1,56	1,54	1,54	1,63	1,63	1,68	1,61	1,66	1,04	1,26	1,14	1,38	1,15	1,39	1,14	1,38	1,14	1,38	1,14	1,38	1,14	1,38	1,14	1,38
-2	1,08	1,16	1,16	1,16	1,21	1,22	1,24	1,20	1,23	0,86	0,94	0,92	1,03	0,92	1,03	0,92	1,03	0,92	1,03	0,92	1,03	0,92	1,03	0,92	1,02
-3	0,77	0,77	0,80	0,80	0,80	0,83	0,83	0,82	0,82	0,70	0,63	0,72	0,69	0,72	0,69	0,72	0,69	0,72	0,69	0,72	0,69	0,72	0,69	0,69	
-4	0,47	0,40	0,46	0,46	0,42	0,45	0,43	0,45	0,43	0,54	0,33	0,52	0,36	0,52	0,36	0,52	0,36	0,52	0,36	0,52	0,36	0,52	0,36	0,36	
-5	0,19	0,08	0,14	0,14	0,08	0,11	0,07	0,12	0,07	0,40	0,09	0,34	0,08	0,33	0,08	0,34	0,08	0,33	0,08	0,34	0,08	0,33	0,08	0,08	
-6	-0,12	-0,35	-0,24	-0,24	-0,36	-0,30	-0,37	-0,29	-0,37	0,29	-0,29	0,23	-0,31	0,22	-0,31	0,23	-0,31	0,22	-0,31	0,23	-0,31	0,23	-0,31	-0,31	
-7	-0,38	-0,68	-0,55	-0,55	-0,72	-0,65	-0,74	-0,63	-0,74	0,22	-0,55	0,13	-0,60	0,13	-0,60	0,14	-0,60	0,13	-0,60	0,14	-0,60	0,14	-0,60	-0,60	
-8	-0,67	-1,06	-0,90	-0,90	-1,11	-1,03	-1,15	-1,00	-1,14	0,14	-0,82	-0,19	-0,92	-0,19	-0,92	-0,18	-0,92	-0,19	-0,92	-0,18	-0,92	-0,18	-0,92	-0,91	
-9	-0,97	-1,45	-1,26	-1,26	-1,52	-1,42	-1,57	-1,38	-1,56	-0,13	-1,13	-0,37	-1,26	-0,37	-1,26	-0,35	-1,25	-0,37	-1,26	-0,35	-1,25	-0,35	-1,25	-1,25	
-9,999	-1,29	-1,87	-1,64	-1,64	-1,96	-1,85	-2,03	-1,80	-2,01	-0,26	-1,45	-0,55	-1,62	-0,56	-1,62	-0,53	-1,61	-0,56	-1,62	-0,53	-1,61	-0,53	-1,61	-1,61	
-10,001	-0,07	0,21	-0,03	-0,03	0,12	0,02	0,08	-0,01	0,08	-0,10	0,88	-0,13	0,59	-0,13	0,58	-0,13	0,60	-0,13	0,58	-0,13	0,60	-0,13	0,60	0,60	
-11	-0,09	0,17	-0,04	-0,04	0,09	-0,01	0,06	-0,02	0,07	-0,15	0,69	-0,16	0,46	-0,16	0,45	-0,16	0,47	-0,16	0,45	-0,16	0,47	-0,16	0,47	0,47	
-12	-0,10	0,13	-0,05	-0,05	0,07	-0,02	0,05	-0,03	0,05	-0,20	0,51	-0,19	0,34	-0,19	0,34	-0,19	0,35	-0,19	0,34	-0,19	0,35	-0,19	0,35	0,35	
-13	-0,12	0,09	-0,06	-0,06	0,05	-0,03	0,04	-0,03	0,04	-0,26	0,34	-0,23	0,23	-0,23	0,23	-0,23	0,23	-0,23	0,23	-0,23	0,23	-0,23	0,23	0,23	
-14	-0,13	0,05	-0,07	-0,07	0,04	-0,03	0,03	-0,04	0,03	-0,31	0,18	-0,26	0,12	-0,26	0,12	-0,27	0,12	-0,26	0,12	-0,27	0,12	-0,27	0,12	0,12	
-15	-0,15	0,03	-0,08	-0,08	0,02	-0,04	0,02	-0,05	0,02	-0,36	0,04	-0,30	0,03	-0,30	0,03	-0,31	0,03	-0,30	0,03	-0,31	0,03	-0,31	0,03	0,03	
-16	-0,17	-0,03	-0,09	-0,09	0,01	-0,04	0,01	-0,05	0,01	-0,42	-0,15	-0,35	-0,09	-0,34	-0,09	-0,35	-0,10	-0,34	-0,09	-0,35	-0,10	-0,35	-0,10	-0,10	
-17	-0,19	-0,06	-0,10	-0,10	-0,02	-0,05	-0,01	-0,06	-0,01	-0,48	-0,30	-0,39	-0,19	-0,39	-0,19	-0,39	-0,20	-0,39	-0,19	-0,39	-0,20	-0,39	-0,20	-0,20	
-18	-0,21	-0,09	-0,11	-0,11	-0,04	-0,06	-0,02	-0,07	-0,02	-0,55	-0,46	-0,44	-0,30	-0,43	-0,29	-0,44	-0,30	-0,43	-0,29	-0,44	-0,30	-0,44	-0,30	-0,30	
-19	-0,23	-0,13	-0,12	-0,12	-0,06	-0,07	-0,03	-0,08	-0,04	-0,62	-0,62	-0,49	-0,40	-0,48	-0,40	-0,49	-0,41	-0,48	-0,40	-0,49	-0,41	-0,49	-0,41	-0,41	
-19,999	-0,25	-0,16	-0,14	-0,14	-0,08	-0,08	-0,04	-0,09	-0,05	-0,70	-0,80	-0,54	-0,52	-0,54	-0,51	-0,55	-0,49	-0,54	-0,51	-0,55	-0,49	-0,55	-0,49	-0,49	

Coordenada Z(cm)	Tensão horizontal ao longo de 10 cm de revestimento e 20 cm de base reciclada																			
	2% 0%		3% 0%		4% 0%		5% 0%		2% 1%		3% 1%		4% 1%		5% 1%					
	Aderido	Não aderido	Aderido	Não aderido	Aderido	Não aderido	Aderido	Não aderido	Aderido	Não aderido	Aderido	Não aderido	Aderido	Não aderido	Aderido	Não aderido				
0,001	MP _a	1,74	1,78	1,97	1,98	2,11	1,93	2,08	0,93	1,00	1,08	1,23	1,08	1,23	1,07	1,22				
1	MP _a	1,21	1,36	1,54	1,57	1,65	1,63	1,63	0,80	0,78	0,90	0,96	0,91	0,97	0,90	0,95				
2	MP _a	0,95	1,01	1,08	1,18	1,22	1,15	1,20	0,67	0,59	0,74	0,72	0,75	0,72	0,74	0,71				
3	MP _a	0,69	0,67	0,76	0,81	0,82	0,80	0,80	0,56	0,40	0,60	0,48	0,60	0,49	0,59	0,48				
4	MP _a	0,46	0,35	0,45	0,46	0,42	0,46	0,42	0,45	0,22	0,46	0,26	0,46	0,26	0,46	0,26				
5	MP _a	0,24	0,08	0,18	0,14	0,07	0,15	0,08	0,36	0,10	0,33	0,09	0,33	0,09	0,33	0,09				
6	MP _a	0,15	-0,29	-0,15	-0,34	-0,24	-0,37	-0,22	0,32	-0,17	0,29	-0,20	0,28	-0,20	0,29	-0,20				
7	MP _a	-0,23	-0,58	-0,43	-0,67	-0,73	-0,54	-0,72	0,29	-0,30	0,24	-0,38	0,24	-0,38	0,25	-0,38				
8	MP _a	-0,46	-0,91	-0,74	-1,04	-0,92	-1,13	-0,88	-1,11	0,25	-0,46	0,20	-0,60	0,20	-0,60	0,21				
9	MP _a	-0,70	-1,25	-1,06	-1,43	-1,30	-1,55	-1,24	-1,52	0,22	-0,64	-0,14	-0,83	-0,15	-0,83	-0,82				
9,999	MP _a	-0,96	-1,61	-1,40	-1,85	-2,00	-1,83	-2,00	-1,96	0,20	-0,82	-0,26	-1,07	-0,27	-1,08	-1,06				
10,001	MP _a	0,04	0,27	0,03	0,16	0,03	0,11	0,03	0,12	0,14	0,75	0,09	0,58	0,09	0,58	0,09				
11	MP _a	-0,03	0,23	0,02	0,14	0,02	0,09	0,02	0,10	0,12	0,64	0,07	0,50	0,07	0,50	0,07				
12	MP _a	-0,03	0,20	-0,02	0,12	0,02	0,08	0,02	0,09	0,09	0,55	0,05	0,42	0,05	0,42	0,05				
13	MP _a	-0,04	0,17	-0,02	0,10	0,01	0,07	-0,01	0,07	0,07	0,46	-0,04	0,36	-0,04	0,35	-0,04				
14	MP _a	-0,05	0,14	-0,03	0,08	-0,01	0,06	-0,01	0,06	-0,04	0,38	-0,06	0,29	-0,06	0,29	-0,06				
15	MP _a	-0,05	0,12	-0,03	0,07	-0,01	0,05	-0,02	0,06	-0,05	0,31	-0,07	0,24	-0,07	0,24	-0,07				
16	MP _a	-0,06	0,10	-0,03	0,06	-0,02	0,04	-0,02	0,05	-0,07	0,25	-0,08	0,20	-0,08	0,20	-0,08				
17	MP _a	-0,07	0,08	-0,04	0,05	-0,02	0,04	-0,03	0,04	-0,09	0,20	-0,10	0,16	-0,10	0,16	-0,10				
18	MP _a	-0,07	0,06	-0,04	0,04	-0,02	0,03	-0,03	0,03	-0,11	0,15	-0,11	0,12	-0,11	0,12	-0,11				
19	MP _a	-0,08	0,04	-0,05	0,03	-0,03	0,02	-0,03	0,03	-0,13	0,09	-0,12	0,08	-0,12	0,08	-0,12				
20	MP _a	-0,09	0,03	-0,05	0,02	-0,03	0,02	-0,04	0,02	-0,15	0,04	-0,14	0,04	-0,14	0,04	-0,14				
21	MP _a	-0,09	-0,01	-0,06	0,01	-0,03	0,01	-0,04	0,01	-0,17	-0,06	-0,15	-0,05	-0,15	-0,04	-0,16				
22	MP _a	-0,10	-0,03	-0,06	-0,02	-0,04	-0,01	-0,04	-0,01	-0,19	-0,12	-0,17	-0,09	-0,17	-0,09	-0,17				
23	MP _a	-0,11	-0,05	-0,07	-0,03	-0,04	-0,01	-0,05	-0,02	-0,22	-0,17	-0,19	-0,13	-0,19	-0,13	-0,19				
24	MP _a	-0,12	-0,07	-0,07	-0,04	-0,05	-0,02	-0,05	-0,02	-0,24	-0,23	-0,20	-0,18	-0,20	-0,17	-0,21				
25	MP _a	-0,13	-0,09	-0,08	-0,05	-0,03	-0,03	-0,06	-0,03	-0,26	-0,29	-0,22	-0,22	-0,22	-0,23	-0,22				
26	MP _a	-0,14	-0,11	-0,09	-0,06	-0,05	-0,03	-0,06	-0,04	-0,29	-0,35	-0,24	-0,27	-0,24	-0,26	-0,27				
27	MP _a	-0,15	-0,14	-0,09	-0,07	-0,06	-0,04	-0,07	-0,05	-0,32	-0,41	-0,26	-0,32	-0,26	-0,31	-0,32				
28	MP _a	-0,16	-0,16	-0,10	-0,08	-0,06	-0,05	-0,07	-0,06	-0,35	-0,48	-0,29	-0,37	-0,29	-0,36	-0,37				
29	MP _a	-0,18	-0,18	-0,11	-0,10	-0,07	-0,06	-0,08	-0,06	-0,38	-0,55	-0,31	-0,42	-0,31	-0,42	-0,31				
29,999	MP _a	-0,19	-0,21	-0,12	-0,11	-0,07	-0,06	-0,09	-0,07	-0,41	-0,62	-0,34	-0,47	-0,34	-0,47	-0,34				

Coordenada Z(cm)	Tonelada horizontal sal encaje de 10 cm de revestimiento a 30 cm de la zona reciclada															
	22:0%		33:0%		47:0%		52:0%		57:1%		64:1%		57:1%			
	Adorida	HP.	Adorida	HP.	Adorida	HP.	Adorida	HP.	Adorida	HP.	Adorida	HP.	Adorida	HP.		
-0,001	1,37	1,51	1,57	1,83	1,90	2,04	1,99	1,99	0,80	0,76	0,94	0,96	0,94	0,97	0,93	0,95
-1	1,11	1,18	1,33	1,43	1,51	1,60	1,56	1,56	0,63	0,60	0,79	0,75	0,79	0,76	0,78	0,75
-2	0,86	0,88	1,02	1,06	1,11	1,18	1,11	1,15	0,57	0,45	0,65	0,56	0,65	0,56	0,64	0,55
-3	0,64	0,59	0,72	0,71	0,79	0,79	0,77	0,77	0,48	0,31	0,52	0,38	0,52	0,38	0,52	0,38
-4	0,43	0,31	0,44	0,37	0,45	0,41	0,45	0,40	0,39	0,18	0,41	0,21	0,41	0,21	0,41	0,21
-5	0,24	0,08	0,19	0,08	0,15	0,08	0,16	0,08	0,31	0,10	0,30	0,09	0,30	0,09	0,30	0,09
-6	-0,17	-0,49	-0,37	-0,62	-0,52	-0,70	-0,48	-0,68	0,27	-0,20	0,25	-0,28	0,25	-0,28	0,25	-0,27
-8	-0,38	-0,77	-0,65	-0,96	-0,86	-1,09	-0,80	-1,06	0,26	-0,32	0,23	-0,44	0,23	-0,44	0,23	-0,43
-9	-0,59	-1,07	-0,85	-1,32	-1,21	-1,49	-1,14	-1,45	0,24	-0,45	0,22	-0,61	0,21	-0,62	0,22	-0,61
-9,999	-0,82	-1,38	-1,26	-1,71	-1,59	-1,93	-1,50	-1,87	0,23	-0,59	-0,20	-0,80	-0,20	-0,81	-0,19	-0,79
-10,001	0,06	0,27	0,04	0,17	0,03	0,12	0,03	0,13	0,17	0,59	0,12	0,49	0,12	0,49	0,12	0,49
-11	0,05	0,23	0,03	0,15	0,03	0,10	0,03	0,11	0,15	0,51	0,11	0,42	0,11	0,42	0,11	0,43
-12	0,04	0,20	0,03	0,13	0,02	0,09	0,03	0,10	0,13	0,44	0,09	0,37	0,09	0,36	0,09	0,37
-13	0,03	0,16	0,02	0,11	0,02	0,08	0,02	0,09	0,12	0,38	0,08	0,32	0,08	0,32	0,08	0,32
-14	0,03	0,16	0,02	0,10	0,02	0,07	0,02	0,08	0,10	0,33	0,06	0,28	0,06	0,27	0,07	0,28
-15	-0,02	0,14	-0,01	0,09	0,01	0,07	0,01	0,07	0,08	0,29	0,05	0,24	0,05	0,24	0,05	0,25
-16	-0,02	0,12	-0,01	0,09	0,01	0,06	0,01	0,07	0,07	0,26	0,04	0,22	0,04	0,22	0,04	0,22
-17	-0,03	0,12	-0,02	0,08	-0,01	0,06	-0,01	0,06	0,05	0,24	-0,02	0,20	-0,02	0,20	-0,02	0,20
-18	-0,03	0,10	-0,02	0,07	-0,01	0,05	-0,01	0,05	0,04	0,21	-0,03	0,18	-0,03	0,18	-0,03	0,18
-19	-0,03	0,09	-0,02	0,06	-0,01	0,04	-0,01	0,05	-0,02	0,19	-0,04	0,16	-0,04	0,16	-0,04	0,16
-20	-0,04	0,08	-0,02	0,05	-0,01	0,04	-0,02	0,04	-0,03	0,16	-0,04	0,13	-0,04	0,13	-0,04	0,14
-21	-0,04	0,07	-0,02	0,05	-0,01	0,03	-0,02	0,04	-0,04	0,13	-0,05	0,11	-0,05	0,11	-0,05	0,11
-22	-0,04	0,05	-0,03	0,04	-0,02	0,03	-0,02	0,03	-0,05	0,11	-0,05	0,09	-0,05	0,09	-0,05	0,09
-23	-0,05	0,04	-0,03	0,03	-0,02	0,02	-0,02	0,03	-0,06	0,08	-0,06	0,07	-0,06	0,07	-0,06	0,07
-24	-0,05	0,03	-0,03	0,02	-0,02	0,02	-0,02	0,02	-0,07	0,06	-0,07	0,05	-0,07	0,05	-0,07	0,05
-25	-0,05	0,02	-0,03	0,02	-0,02	0,01	-0,03	0,01	-0,08	0,03	-0,08	0,03	-0,08	0,03	-0,08	0,03
-26	-0,06	-0,01	-0,04	0,01	-0,02	0,01	-0,03	0,01	-0,09	-0,03	-0,08	-0,02	-0,08	-0,02	-0,08	-0,02
-27	-0,06	-0,02	-0,04	-0,01	-0,03	0,01	-0,03	0,00	-0,10	-0,05	-0,09	-0,04	-0,09	-0,04	-0,09	-0,04
-28	-0,07	-0,03	-0,04	-0,02	-0,03	-0,01	-0,03	-0,01	-0,11	-0,08	-0,10	-0,06	-0,10	-0,06	-0,10	-0,06
-29	-0,07	-0,04	-0,05	-0,02	-0,03	-0,02	-0,03	-0,01	-0,12	-0,10	-0,11	-0,08	-0,10	-0,08	-0,11	-0,08
-30	-0,07	-0,05	-0,05	-0,03	-0,03	-0,02	-0,04	-0,02	-0,13	-0,12	-0,11	-0,10	-0,11	-0,10	-0,11	-0,08
-31	-0,08	-0,06	-0,05	-0,03	-0,04	-0,02	-0,04	-0,02	-0,14	-0,15	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12
-32	-0,08	-0,07	-0,06	-0,04	-0,04	-0,02	-0,04	-0,03	-0,13	-0,17	-0,13	-0,14	-0,13	-0,14	-0,13	-0,14
-33	-0,09	-0,08	-0,06	-0,05	-0,04	-0,03	-0,05	-0,03	-0,16	-0,19	-0,14	-0,16	-0,14	-0,16	-0,14	-0,16
-34	-0,10	-0,10	-0,06	-0,06	-0,04	-0,03	-0,05	-0,04	-0,18	-0,22	-0,15	-0,18	-0,15	-0,18	-0,15	-0,18
-35	-0,10	-0,11	-0,07	-0,06	-0,05	-0,04	-0,05	-0,04	-0,19	-0,25	-0,16	-0,21	-0,16	-0,20	-0,16	-0,20
-36	-0,11	-0,12	-0,07	-0,06	-0,05	-0,04	-0,05	-0,05	-0,20	-0,28	-0,17	-0,23	-0,17	-0,22	-0,17	-0,22
-37	-0,11	-0,13	-0,08	-0,08	-0,05	-0,05	-0,06	-0,06	-0,22	-0,30	-0,18	-0,25	-0,18	-0,25	-0,19	-0,25
-38	-0,12	-0,15	-0,09	-0,09	-0,06	-0,05	-0,06	-0,06	-0,23	-0,34	-0,20	-0,28	-0,20	-0,28	-0,20	-0,28
-39	-0,13	-0,16	-0,09	-0,09	-0,06	-0,06	-0,07	-0,07	-0,25	-0,37	-0,21	-0,30	-0,21	-0,30	-0,21	-0,31
-39,999	-0,14	-0,18	-0,09	-0,10	-0,06	-0,06	-0,07	-0,07	-0,27	-0,40	-0,22	-0,33	-0,22	-0,33	-0,22	-0,34

Apêndice B – Dados gerais dos ensaios de modulo complexo

(Continua)

Mistura	Temp. (°C)	Freq. (Hz)	Média (MPa) IE*I	DP (MPa) IE*I	CV (%) IE*I	Média ϕ (°)	DP ϕ (°)	CV (%) ϕ (°)
2% 1%	-10	25	5537	181	3,27	5,06	0,54	10,62
	-10	20	5473	202	3,69	5,14	0,47	9,08
	-10	10	5297	220	4,15	5,37	0,57	10,68
	-10	5	5100	235,5	4,62	5,63	0,58	10,30
	-10	2	4848	250	5,16	6,04	0,64	10,66
	-10	1	4653	263	5,65	6,39	0,73	11,41
	-10	0,5	4467	266	5,97	6,70	0,75	11,19
	-10	0,2	4218	268	6,36	7,21	0,81	11,18
	-10	0,1	4034	270	6,70	7,62	0,82	10,76
	-10	0,01	3467	250	7,21	9,03	1,00	11,05
	4	25	4076	137	3,36	7,14	0,69	9,71
	4	20	4028	161	4,00	7,62	0,37	4,83
	4	10	3802	111	2,92	8,05	0,42	5,27
	4	5	3588	95	2,66	8,48	0,37	4,34
	4	2	3312	144	4,35	9,14	0,61	6,65
	4	1	3105	197	6,36	9,70	0,92	9,48
	4	0,5	2912	269	9,24	10,22	0,55	5,40
	4	0,2	2658	171	6,43	10,93	1,46	13,39
	4	0,1	2468	166	6,73	11,53	0,69	5,95
	4	0,01	1882	209	11,11	13,35	0,46	3,44
	21	25	2655	136	5,12	12,22	0,75	6,13
	21	20	2475	240	9,72	12,87	1,51	11,71
	21	10	2263	238	10,52	13,50	1,68	12,47
	21	5	2048	235	11,47	14,20	1,87	13,20
	21	2	1777	224	12,63	15,16	2,07	13,67
	21	1	1583	219	13,83	15,94	2,20	13,80

(Conclusão)

Mistura	Temp. (°C)	Freq. (Hz)	Média (MPa) IE*I	DP (MPa) IE*I	CV (%) IE*I	Média φ (°)	DP φ (°)	CV (%) φ (°)
2% 1%	21	0,5	1426	208	14,62	16,59	1,99	12,02
	21	0,2	1229	190	15,49	17,39	1,89	10,86
	21	0,1	1101	176	16,00	17,74	1,83	10,33
	21	0,01	749	137	18,22	18,61	1,12	6,00
	37	25	1224	121	9,87	19,38	0,54	2,77
	37	20	1130	162	14,35	19,98	1,46	7,33
	37	10	979	144	14,76	20,44	1,43	6,99
	37	5	829	133	16,12	20,88	1,39	6,64
	37	2	662	118	17,81	21,39	1,67	7,80
	37	1	564	105	18,56	21,39	1,64	7,67
	37	0,5	494	91	18,48	20,97	1,26	6,00
	37	0,2	415	77	18,50	20,12	1,03	5,13
	37	0,1	368	68	18,53	19,34	0,95	4,90
	37	0,01	267	49	18,46	16,38	0,73	4,45
	54	25	649	140	21,58	22,59	1,88	8,33
	54	20	628	134	21,26	22,03	1,61	7,32
	54	10	536	116,1	21,66	21,53	1,28	5,95
	54	5	444,7	103,9	23,36	21,47	1,45	6,75
	54	2	349,95	87,95	25,13	20,71	1,80	8,71
	54	1	302,1	76,4	25,29	19,29	1,75	9,09
	54	0,5	274,2	66,4	24,22	18,05	1,27	7,05
	54	0,2	243,05	56,25	23,14	16,19	1,10	6,81
	54	0,1	224,55	49,35	21,98	14,80	1,05	7,12
	54	0,01	186,75	36,35	19,46	12,63	0,67	5,32

(Continua)

Mistura	Temp. (°C)	Freq. (Hz)	Média (MPa) IE*I	DP (MPa) IE*I	CV (%) IE*I	Média ϕ (°)	DP ϕ (°)	CV (%) ϕ (°)
3% 1%	-10	25	7506,50	528,50	7,04	6,01	0,03	0,47
	-10	20	7393,50	513,50	6,95	6,18	0,04	0,69
	-10	10	6981,50	395,50	5,66	6,80	0,38	5,62
	-10	5	6630,00	347,00	5,23	7,25	0,42	5,85
	-10	2	6191,00	305,00	4,93	7,92	0,52	6,61
	-10	1	5857,50	273,50	4,67	8,48	0,65	7,67
	-10	0,5	5539,50	252,50	4,56	8,99	0,74	8,18
	-10	0,2	5138,50	227,50	4,43	9,68	0,84	8,70
	-10	0,1	4842,00	202,00	4,17	10,18	0,81	7,92
	-10	0,01	3920,00	148,00	3,78	11,95	0,59	4,97
	4	25	4238,00	96,00	2,27	10,79	1,48	13,76
	4	20	4153,00	93,00	2,24	10,88	1,48	13,65
	4	10	3853,00	112,00	2,91	11,40	1,66	14,58
	4	5	3554,00	133,00	3,74	11,95	1,75	14,62
	4	2	3187,00	148,00	4,64	12,73	1,83	14,39
	4	1	2926,00	151,00	5,16	13,28	1,82	13,69
	4	0,5	2694,50	146,50	5,44	13,83	1,77	12,84
	4	0,2	2397,50	142,50	5,94	14,57	1,74	11,94
	4	0,1	2196,50	135,50	6,17	15,04	1,70	11,28
	4	0,01	1614,50	120,50	7,46	16,80	2,17	12,93
	21	25	2711,00	66,00	2,43	13,90	0,69	4,99
	21	20	2643,00	52,00	1,97	14,04	0,76	5,44
	21	10	2369,00	58,00	2,45	14,77	0,98	6,61
	21	5	2097,00	73,00	3,48	15,46	1,15	7,46
	21	2	1778,50	84,50	4,75	16,13	1,20	7,41
	21	1	1556,50	95,50	6,14	16,60	1,11	6,69
	21	0,5	1392,50	87,50	6,28	16,94	0,87	5,14
	21	0,2	1182,50	83,50	7,06	17,16	0,83	4,82
21	0,1	1045,70	77,30	7,39	16,89	0,49	2,89	

(Conclusão)

Mistura	Temp. (°C)	Freq. (Hz)	Média (MPa) IE*I	DP (MPa) IE*I	CV (%) IE*I	Média φ (°)	DP φ (°)	CV (%) φ (°)
3% 1%	21	0,01	707,40	65,80	9,30	16,04	1,33	8,29
	37	25	1283,00	18,00	1,40	19,22	1,74	9,05
	37	20	1210,50	41,50	3,43	19,40	2,14	11,05
	37	10	1028,85	47,15	4,58	19,52	2,33	11,92
	37	5	864,20	49,40	5,72	19,63	2,47	12,57
	37	2	680,10	53,00	7,79	19,85	2,75	13,86
	37	1	583,20	49,90	8,56	19,52	2,50	12,79
	37	0,5	513,50	41,00	7,98	18,81	2,34	12,45
	37	0,2	436,85	31,45	7,20	17,69	2,13	12,04
	37	0,1	393,00	26,30	6,69	16,59	1,89	11,38
	37	0,01	299,35	11,25	3,76	13,34	1,60	11,98
	54	25	716,60	46,00	6,42	20,57	3,15	15,30
	54	20	654,00	11,60	1,77	20,32	2,43	11,94
	54	10	552,95	11,65	2,11	19,52	2,47	12,65
	54	5	458,50	14,00	3,05	18,79	2,55	13,55
	54	2	364,05	13,85	3,80	17,67	2,44	13,81
	54	1	324,45	13,85	4,27	16,23	2,06	12,68
	54	0,5	301,30	10,20	3,39	15,11	1,55	10,25
	54	0,2	276,60	6,30	2,28	13,71	0,80	5,83
	54	0,1	263,45	5,25	1,99	12,86	0,32	2,48
54	0,01	237,30	4,10	1,73	10,90	0,00	0,00	

(Continua)

Mistura	Temp. (°C)	Freq. (Hz)	Média (MPa) IE*I	DP (MPa) IE*I	CV (%) IE*I	Média ϕ (°)	DP ϕ (°)	CV (%) ϕ (°)
4% 1%	-10	25	5848,50	240,50	4,11	7,80	0,28	3,63
	-10	20	5769,50	240,50	4,17	7,95	0,23	2,94
	-10	10	5497,00	223,00	4,06	8,38	0,34	4,05
	-10	5	5212,00	205,00	3,93	8,81	0,39	4,42
	-10	2	4836,00	183,00	3,78	9,39	0,41	4,37
	-10	1	4551,50	163,50	3,59	9,85	0,40	4,02
	-10	0,5	4286,50	148,50	3,46	10,33	0,41	3,97
	-10	0,2	3929,50	122,50	3,12	11,07	0,49	4,41
	-10	0,1	3675,50	100,50	2,73	11,69	0,62	5,32
	-10	0,01	2912,50	43,50	1,49	13,36	0,98	7,36
	4	25	3444,00	60,00	1,74	13,46	2,26	16,76
	4	20	3342,00	80,00	2,39	13,82	2,44	17,66
	4	10	3048,00	90,00	2,95	14,13	2,53	17,92
	4	5	2770,50	103,50	3,74	14,67	2,49	16,97
	4	2	2426,00	119,00	4,91	15,37	2,29	14,91
	4	1	2191,00	122,00	5,57	15,85	2,16	13,65
	4	0,5	1984,50	122,50	6,17	16,30	2,10	12,89
	4	0,2	1724,00	123,00	7,13	16,89	2,07	12,27
	4	0,1	1551,00	118,00	7,61	17,24	1,94	11,28
	4	0,01	1077,15	86,85	8,06	17,99	1,86	10,34
	21	25	2073,50	5,50	0,27	15,29	3,81	24,93
	21	20	1969,50	11,50	0,58	15,38	3,78	24,61
	21	10	1740,50	11,50	0,66	15,77	3,98	25,25
	21	5	1519,00	9,00	0,59	16,29	4,01	24,62
	21	2	1259,50	8,50	0,67	16,92	4,00	23,65
	21	1	1100,00	1,00	0,09	17,37	3,73	21,46
	21	0,5	970,95	1,45	0,15	17,49	3,46	19,81
	21	0,2	818,35	6,65	0,81	17,67	3,24	18,33
21	0,1	722,45	10,25	1,42	17,62	2,97	16,85	

(Conclusão)

Mistura	Temp. (°C)	Freq. (Hz)	Média (MPa) IE*I	DP (MPa) IE*I	CV (%) IE*I	Média φ (°)	DP φ (°)	CV (%) φ (°)
4% 1%	21	0,01	482,70	13,30	2,76	17,33	1,82	10,53
	37	25	918,40	85,60	9,32	20,90	0,88	4,20
	37	20	886,45	68,35	7,71	20,75	0,69	3,34
	37	10	748,65	57,55	7,69	25,60	6,02	23,53
	37	5	618,70	49,70	8,03	20,46	1,29	6,33
	37	2	480,60	35,70	7,43	20,09	1,82	9,08
	37	1	416,45	28,25	6,78	19,20	1,79	9,32
	37	0,5	369,40	23,50	6,36	18,30	1,54	8,42
	37	0,2	318,70	19,40	6,09	16,87	1,64	9,72
	37	0,1	289,20	17,20	5,95	15,52	1,68	10,84
	37	0,01	231,80	13,20	5,69	11,86	2,08	17,53
	54	25	532,55	26,45	4,97	22,19	3,49	15,74
	54	20	521,30	11,20	2,15	14,20	6,99	49,20
	54	10	437,65	12,65	2,89	24,73	8,95	36,20
	54	5	352,55	13,65	3,87	14,78	4,36	29,47
	54	2	271,65	14,65	5,39	14,26	3,91	27,43
	54	1	243,00	14,00	5,76	20,61	7,17	34,79
	54	0,5	228,40	13,60	5,95	19,74	8,14	41,24
	54	0,2	212,95	14,05	6,60	18,13	8,25	45,53
	54	0,1	205,70	14,50	7,05	7,59	4,74	62,55
54	0,01	189,75	12,15	6,40	16,68	8,45	50,67	

(Continua)

Mistura	Temp. (°C)	Freq. (Hz)	Média (MPa) IE*I	DP (MPa) IE*I	CV (%) IE*I	Média ϕ (°)	DP ϕ (°)	CV (%) ϕ (°)
5% 1%	-10	25	6771,00	541,00	7,99	7,69	0,13	1,75
	-10	20	6675,50	603,50	9,04	8,09	0,08	1,05
	-10	10	6309,00	543,00	8,61	8,44	0,27	3,18
	-10	5	5916,00	458,00	7,74	9,06	0,12	1,33
	-10	2	5421,00	380,00	7,01	9,79	0,16	1,59
	-10	1	5053,50	318,50	6,30	10,34	0,09	0,89
	-10	0,5	4696,50	272,50	5,80	10,91	0,18	1,69
	-10	0,2	4236,50	226,50	5,35	11,66	0,24	2,06
	-10	0,1	3905,50	201,50	5,16	12,23	0,30	2,43
	-10	0,01	2974,00	119,00	4,00	14,30	0,46	3,22
	4	25	4313,50	140,50	3,26	12,67	0,44	3,46
	4	20	4184,50	121,50	2,90	12,90	0,64	4,93
	4	10	3802,00	84,00	2,21	13,53	0,74	5,49
	4	5	3429,50	45,50	1,33	14,19	0,71	4,98
	4	2	2979,00	13,00	0,44	15,04	0,72	4,80
	4	1	2664,50	5,50	0,21	15,75	0,73	4,63
	4	0,5	2389,50	13,50	0,56	16,37	0,76	4,62
	4	0,2	2051,00	23,00	1,12	17,11	0,74	4,30
	4	0,1	1824,50	28,50	1,56	17,65	0,63	3,57
	4	0,01	1197,00	21,00	1,75	19,16	0,48	2,51
	21	25	2394,00	112,00	4,68	17,06	0,68	3,98
	21	20	2270,00	142,00	6,26	17,97	0,30	1,65
	21	10	1985,00	120,00	6,05	18,69	0,34	1,82
	21	5	1723,00	99,00	5,75	19,39	0,33	1,68
	21	2	1415,50	77,50	5,48	20,26	0,26	1,29
	21	1	1218,50	63,50	5,21	20,73	0,36	1,74
	21	0,5	1056,00	55,00	5,21	20,85	0,47	2,24
	21	0,2	864,65	41,95	4,85	21,03	0,49	2,35
21	0,1	741,70	31,30	4,22	20,81	0,62	2,99	

(Conclusão)

Mistura	Temp. (°C)	Freq. (Hz)	Média (MPa) IE*I	DP (MPa) IE*I	CV (%) IE*I	Média φ (°)	DP φ (°)	CV (%) φ (°)
5% 1%	21	0,01	454,35	1,85	0,41	19,75	1,00	5,05
	37	25	950,25	26,25	2,76	21,63	1,67	7,72
	37	20	886,30	5,10	0,58	21,19	1,72	8,11
	37	10	739,20	1,90	0,26	20,65	2,33	11,30
	37	5	600,50	5,00	0,83	19,80	3,63	18,33
	37	2	454,20	14,90	3,28	15,95	8,88	55,68
	37	1	384,10	18,30	4,76	16,49	7,13	43,28
	37	0,5	335,90	14,90	4,44	15,99	6,22	38,88
	37	0,2	286,35	12,95	4,52	13,53	7,13	52,68
	37	0,1	258,20	12,30	4,76	10,86	9,08	83,60
	37	0,01	205,45	9,75	4,75	14,40	1,22	8,50
	54	25	483,75	5,45	1,13	21,61	1,98	9,16
	54	20	473,50	6,50	1,37	21,08	1,80	8,56
	54	10	395,60	3,20	0,81	20,16	1,61	7,96
	54	5	315,90	6,40	2,03	19,46	1,74	8,94
	54	2	254,10	1,50	0,59	18,47	1,44	7,77
	54	1	224,25	3,65	1,63	17,15	0,28	1,61
	54	0,5	199,95	12,05	6,03	15,15	0,74	4,90
	54	0,2	184,50	11,50	6,23	13,34	0,40	3,02
	54	0,1	178,25	10,15	5,69	11,24	1,58	14,09
54	0,01	162,60	12,70	7,81	10,00	0,24	2,40	

(Continua)

Mistura	Temp. (°C)	Freq. (Hz)	Média (MPa) IE*I	DP (MPa) IE*I	CV (%) IE*I	Média ϕ (°)	DP ϕ (°)	CV (%) ϕ (°)
2% 0%	-10	25	7,69	0,13	1,75	7,32	0,44	5,99
	-10	20	8,09	0,08	1,05	7,47	0,21	2,84
	-10	10	8,44	0,27	3,18	8,06	0,34	4,21
	-10	5	9,06	0,12	1,33	8,68	0,43	4,97
	-10	2	9,79	0,16	1,59	9,60	0,40	4,12
	-10	1	10,34	0,09	0,89	10,41	0,33	3,12
	-10	0,5	10,91	0,18	1,69	11,11	0,28	2,48
	-10	0,2	11,66	0,24	2,06	12,09	0,25	2,05
	-10	0,1	12,23	0,30	2,43	12,83	0,24	1,87
	-10	0,01	14,30	0,46	3,22	15,43	0,25	1,60
	4	25	12,67	0,44	3,46	13,50	0,99	7,33
	4	20	12,90	0,64	4,93	13,82	0,90	6,50
	4	10	13,53	0,74	5,49	14,51	0,44	3,02
	4	5	14,19	0,71	4,98	15,51	0,47	3,01
	4	2	15,04	0,72	4,80	16,85	0,61	3,61
	4	1	15,75	0,73	4,63	17,75	0,69	3,87
	4	0,5	16,37	0,76	4,62	18,45	0,72	3,91
	4	0,2	17,11	0,74	4,30	19,34	0,61	3,14
	4	0,1	17,65	0,63	3,57	19,91	0,66	3,34
	4	0,01	19,16	0,48	2,51	21,74	0,11	0,52
	21	25	17,06	0,68	3,98	19,37	1,03	5,29
	21	20	17,97	0,30	1,65	19,12	1,28	6,70
	21	10	18,69	0,34	1,82	19,99	1,55	7,75
	21	5	19,39	0,33	1,68	20,79	1,76	8,47
	21	2	20,26	0,26	1,29	21,68	2,21	10,18
	21	1	20,73	0,36	1,74	22,17	2,15	9,70
	21	0,5	20,85	0,47	2,24	22,96	1,58	6,90
	21	0,2	21,03	0,49	2,35	23,38	1,59	6,81
21	0,1	20,81	0,62	2,99	23,35	1,31	5,60	

(Conclusão)

Mistura	Temp. (°C)	Freq. (Hz)	Média (MPa) IE*1	DP (MPa) IE*1	CV (%) IE*1	Média φ (°)	DP φ (°)	CV (%) φ (°)
2% 0%	21	0,01	19,75	1,00	5,05	22,97	1,70	7,39
	37	25	21,63	1,67	7,72	29,18	0,49	1,67
	37	20	21,19	1,72	8,11	27,13	0,19	0,70
	37	10	20,65	2,33	11,30	26,72	0,32	1,19
	37	5	19,80	3,63	18,33	26,66	0,18	0,66
	37	2	15,95	8,88	55,68	27,58	0,45	1,62
	37	1	16,49	7,13	43,28	26,08	0,53	2,03
	37	0,5	15,99	6,22	38,88	24,88	0,81	3,24
	37	0,2	13,53	7,13	52,68	22,33	0,49	2,19
	37	0,1	10,86	9,08	83,60	19,94	0,27	1,35
	37	0,01	14,40	1,22	8,50	17,07	0,87	5,10
	54	25	21,61	1,98	9,16	27,28	0,36	1,32
	54	20	21,08	1,80	8,56	25,66	0,26	1,02
	54	10	20,16	1,61	7,96	23,63	0,04	0,15
	54	5	19,46	1,74	8,94	23,00	0,09	0,40
	54	2	18,47	1,44	7,77	22,73	0,08	0,34
	54	1	17,15	0,28	1,61	20,25	0,18	0,87
	54	0,5	15,15	0,74	4,90	19,12	0,09	0,48
	54	0,2	13,34	0,40	3,02	17,24	0,04	0,21
	54	0,1	11,24	1,58	14,09	14,63	1,73	11,85
54	0,01	10,00	0,24	2,40	14,81	2,62	17,67	

(Continua)

Mistura	Temp. (°C)	Freq. (Hz)	Média (MPa) IE*I	DP (MPa) IE*I	CV (%) IE*I	Média ϕ (°)	DP ϕ (°)	CV (%) ϕ (°)
3% 0%	-10	25	6173,50	102,50	1,66	8,14	0,41	5,04
	-10	20	6012,50	81,50	1,36	8,40	0,45	5,31
	-10	10	5645,50	63,50	1,12	9,11	0,42	4,66
	-10	5	5264,50	48,50	0,92	9,91	0,47	4,71
	-10	2	4766,00	30,00	0,63	10,99	0,49	4,44
	-10	1	4370,50	0,50	0,01	11,94	0,68	5,69
	-10	0,5	4014,50	7,50	0,19	12,75	0,66	5,21
	-10	0,2	3558,50	12,50	0,35	13,92	0,66	4,73
	-10	0,1	3235,50	13,50	0,42	14,82	0,59	3,96
	-10	0,01	2305,00	1,00	0,04	17,63	0,40	2,25
	4	25	3331,00	177,00	5,31	16,18	1,56	9,66
	4	20	3238,00	189,00	5,84	16,40	1,42	8,67
	4	10	2874,00	184,00	6,40	17,46	1,53	8,75
	4	5	2530,00	173,00	6,84	18,56	1,53	8,23
	4	2	2117,00	165,00	7,79	19,86	1,53	7,69
	4	1	1837,50	147,50	8,03	20,71	1,34	6,49
	4	0,5	1609,50	139,50	8,67	21,30	1,26	5,91
	4	0,2	1333,00	125,00	9,38	22,08	1,15	5,22
	4	0,1	1158,50	109,50	9,45	22,42	0,90	4,01
	4	0,01	714,05	64,85	9,08	23,49	0,76	3,25
	21	25	1674,50	210,50	12,57	23,53	2,00	8,51
	21	20	1608,50	195,50	12,15	23,41	1,86	7,95
	21	10	1367,50	172,50	12,61	24,12	1,57	6,51
	21	5	1144,75	152,25	13,30	24,89	1,43	5,74
	21	2	887,45	129,55	14,60	25,81	1,32	5,10
	21	1	740,80	112,20	15,15	25,96	1,15	4,41
	21	0,5	620,30	94,80	15,28	25,89	0,91	3,52
	21	0,2	487,35	73,85	15,15	25,63	0,72	2,81
21	0,1	407,95	61,15	14,99	25,30	0,64	2,52	

(Conclusão)

Mistura	Temp. (°C)	Freq. (Hz)	Média (MPa) IE*I	DP (MPa) IE*I	CV (%) IE*I	Média φ (°)	DP φ (°)	CV (%) φ (°)
3% 0%	21	0,01	235,60	24,10	10,23	23,44	0,23	0,97
	37	25	458,05	9,35	2,04	29,08	0,36	1,24
	37	20	437,05	7,45	1,70	27,94	0,58	2,08
	37	10	349,60	4,70	1,34	27,19	0,82	3,02
	37	5	269,20	2,50	0,93	27,06	0,88	3,24
	37	2	188,40	2,80	1,49	27,24	0,57	2,10
	37	1	160,10	1,90	1,19	25,25	0,45	1,79
	37	0,5	141,10	0,80	0,57	23,36	0,54	2,33
	37	0,2	121,40	0,20	0,16	21,17	0,20	0,94
	37	0,1	111,90	1,00	0,89	19,52	0,33	1,70
	37	0,01	91,45	1,45	1,59	16,36	0,28	1,73
	54	25	289,40	69,60	24,05	21,55	7,33	33,99
	54	20	279,60	66,10	23,64	16,50	12,20	73,97
	54	10	230,60	53,40	23,16	26,32	5,52	20,99
	54	5	183,15	37,35	20,39	18,42	4,23	22,96
	54	2	130,25	28,15	21,61	17,42	6,35	36,45
	54	1	116,15	23,15	19,93	17,56	2,77	15,79
	54	0,5	110,40	21,50	19,47	22,46	6,79	30,22
	54	0,2	108,25	23,65	21,85	20,95	7,07	33,75
	54	0,1	104,00	21,90	21,06	19,96	6,97	34,93
54	0,01	95,55	18,55	19,41	25,95	17,78	68,50	

(Continua)

Mistura	Temp. (°C)	Freq. (Hz)	Média (MPa) IE*I	DP (MPa) IE*I	CV (%) IE*I	Média ϕ (°)	DP ϕ (°)	CV (%) ϕ (°)
4% 0%	-10	25	5697,00	88,00	1,54	10,20	0,94	9,22
	-10	20	5541,50	130,50	2,35	10,64	0,92	8,64
	-10	10	5111,50	145,50	2,85	11,50	1,00	8,67
	-10	5	4666,50	153,50	3,29	12,48	1,08	8,67
	-10	2	4103,00	159,00	3,88	13,75	1,20	8,74
	-10	1	3692,00	162,00	4,39	14,79	1,24	8,37
	-10	0,5	3312,00	162,00	4,89	15,77	1,22	7,71
	-10	0,2	2840,00	156,00	5,49	16,99	1,26	7,41
	-10	0,1	2517,50	144,50	5,74	17,94	1,14	6,35
	-10	0,01	1662,00	104,00	6,26	20,23	1,16	5,73
	4	25	3081,50	7,50	0,24	17,74	0,58	3,27
	4	20	2920,00	62,00	2,12	18,37	0,51	2,77
	4	10	2552,00	55,00	2,16	19,40	0,74	3,83
	4	5	2196,50	48,50	2,21	20,66	0,69	3,35
	4	2	1785,50	41,50	2,32	22,11	0,71	3,23
	4	1	1521,00	35,00	2,30	23,00	0,68	2,95
	4	0,5	1303,00	37,00	2,84	23,55	0,74	3,12
	4	0,2	1050,50	35,50	3,38	24,12	0,86	3,55
	4	0,1	889,45	31,15	3,50	24,57	0,72	2,94
	4	0,01	494,70	33,40	6,75	24,74	0,88	3,57
	21	25	1333,50	111,50	8,36	21,82	5,04	23,11
	21	20	1479,50	70,50	4,77	26,52	1,97	7,44
	21	10	1058,60	121,40	11,47	26,89	1,63	6,05
	21	5	861,10	105,90	12,30	27,34	1,28	4,68
	21	2	641,00	82,60	12,89	27,83	0,81	2,90
	21	1	523,45	68,05	13,00	27,45	0,50	1,83
	21	0,5	431,15	56,45	13,09	26,85	0,19	0,71
	21	0,2	335,50	42,50	12,67	25,95	0,04	0,16
21	0,1	280,85	31,95	11,38	25,15	0,32	1,27	

(Conclusão)

Mistura	Temp. (°C)	Freq. (Hz)	Média (MPa) IE*I	DP (MPa) IE*I	CV (%) IE*I	Média φ (°)	DP φ (°)	CV (%) φ (°)
4% 0%	21	0,01	172,90	6,40	3,70	21,60	2,28	10,54
	37	25	329,35	24,15	7,33	29,95	0,96	3,21
	37	20	319,55	28,25	8,84	28,70	0,72	2,51
	37	10	253,30	23,10	9,12	27,18	0,56	2,06
	37	5	196,80	17,80	9,04	26,40	0,79	3,00
	37	2	137,70	10,80	7,84	25,73	0,76	2,97
	37	1	116,40	8,40	7,22	23,15	0,56	2,41
	37	0,5	104,40	6,80	6,51	21,29	0,19	0,90
	37	0,2	92,25	5,65	6,12	18,99	0,03	0,15
	37	0,1	85,20	5,00	5,87	17,29	0,19	1,10
	37	0,01	72,05	2,55	3,54	14,03	0,98	6,96
	54	25	159,03	4,08	2,56	15,77	9,89	62,68
	54	20	154,25	3,96	2,56	4,56	0,17	3,72
	54	10	136,89	3,51	2,56	15,43	8,75	56,73
	54	5	111,45	2,86	2,56	9,52	0,35	3,64
	54	2	77,71	1,99	2,56	14,88	0,48	3,23
	54	1	68,35	1,75	2,56	24,94	0,90	3,63
	54	0,5	66,21	1,70	2,56	13,06	0,47	3,63
	54	0,2	61,33	1,57	2,56	13,76	12,30	89,42
	54	0,1	54,31	1,39	2,56	21,43	3,15	14,69
54	0,01	44,49	1,14	2,56	12,51	10,90	87,14	

(Continua)

Mistura	Temp. (°C)	Freq. (Hz)	Média (MPa) IE*I	DP (MPa) IE*I	CV (%) IE*I	Média ϕ (°)	DP ϕ (°)	CV (%) ϕ (°)
5% 0%	-10	25	6080,00	85,00	1,40	11,25	0,06	0,50
	-10	20	5910,50	82,50	1,40	11,33	0,23	2,00
	-10	10	5414,00	69,00	1,27	12,27	0,30	2,48
	-10	5	4913,00	56,00	1,14	13,28	0,37	2,77
	-10	2	4273,50	40,50	0,95	14,68	0,35	2,36
	-10	1	3809,00	30,00	0,79	15,76	0,30	1,88
	-10	0,5	3377,50	19,50	0,58	16,85	0,22	1,30
	-10	0,2	2851,50	8,50	0,30	18,16	0,14	0,78
	-10	0,1	2494,00	1,00	0,04	19,13	0,06	0,30
	-10	0,01	1537,50	11,50	0,75	21,02	0,76	3,63
	4	25	2882,00	34,00	1,18	19,01	2,31	12,13
	4	20	2682,00	159,00	5,93	19,42	2,46	12,67
	4	10	2339,00	158,00	6,76	20,57	2,47	12,03
	4	5	2007,00	150,00	7,47	21,79	2,45	11,26
	4	2	1610,50	140,50	8,72	23,29	2,35	10,11
	4	1	1357,50	126,50	9,32	24,13	2,26	9,38
	4	0,5	1149,50	116,50	10,13	24,71	2,16	8,73
	4	0,2	907,90	100,10	11,03	25,39	1,97	7,77
	4	0,1	764,05	87,05	11,39	25,58	1,80	7,02
	4	0,01	431,75	51,75	11,99	25,58	1,62	6,33
	21	25	1143,50	60,50	5,29	25,18	0,57	2,28
	21	20	1159,00	71,00	6,13	26,06	1,39	5,32
	21	10	945,20	66,80	7,07	26,33	1,35	5,13
	21	5	748,80	55,50	7,41	26,82	1,32	4,93
	21	2	535,10	42,60	7,96	27,41	1,10	4,00
	21	1	429,15	32,65	7,61	27,32	0,68	2,48
	21	0,5	351,10	27,60	7,86	26,72	0,11	0,42
	21	0,2	270,90	20,40	7,53	25,79	0,27	1,04
21	0,1	224,20	19,00	8,47	24,79	0,59	2,37	

(Conclusão)

Mistura	Temp. (°C)	Freq. (Hz)	Média (MPa) IE*I	DP (MPa) IE*I	CV (%) IE*I	Média φ (°)	DP φ (°)	CV (%) φ (°)
5% 0%	21	0,01	133,85	17,45	13,04	20,87	1,65	7,93
	37	25	325,50	25,70	7,90	30,54	1,86	6,09
	37	20	310,00	30,80	9,94	29,18	2,37	8,12
	37	10	247,70	27,60	11,14	27,30	2,06	7,54
	37	5	187,30	20,20	10,78	26,46	1,73	6,55
	37	2	125,85	12,65	10,05	26,35	1,37	5,21
	37	1	107,55	7,95	7,39	23,98	0,71	2,98
	37	0,5	96,45	6,85	7,10	21,89	0,42	1,94
	37	0,2	86,10	6,10	7,08	19,42	0,06	0,29
	37	0,1	80,85	5,35	6,62	17,99	0,14	0,79
	37	0,01	68,55	4,95	7,22	16,05	0,59	3,66
	54	25	180,96	4,64	2,56	13,68	17,95	131,29
	54	20	188,67	4,83	2,56	3,59	3,60	100,40
	54	10	168,58	4,32	2,56	15,76	13,15	83,43
	54	5	136,11	3,49	2,56	27,36	1,00	3,64
	54	2	89,80	2,30	2,56	12,30	0,45	3,62
	54	1	70,20	1,80	2,56	42,68	1,55	3,63
	54	0,5	73,13	1,88	2,56	17,62	0,64	3,65
	54	0,2	67,28	1,73	2,56	8,73	10,61	121,50
	54	0,1	68,25	1,75	2,56	3,57	3,40	95,40
54	0,01	59,48	1,53	2,56	11,37	8,10	71,24	