

PEC – 8650



**Estudo comparativo do comportamento de
fadiga de misturas betuminosas com diferentes
teores de asfalto**

RELATÓRIO FINAL

Cliente:



MAIO, 2010

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E SIGLAS	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	8
3. ENSAIOS REALIZADOS NA COPPE/UFRJ	12
3.1. AGREGADOS	12
3.1.1. Análise Granulométrica	12
3.1.2. Resistência Mecânica	13
3.1.3. Massa Específica, Densidade e Absorção	14
3.2. MISTURA ASFÁLTICA	15
3.2.1. Determinação da Densidade Máxima da Mistura (Gmm)	15
3.2.2. Módulo de Resiliência, MR	16
3.2.3. Resistência à Tração, RT	17
3.2.4. Fadiga	18
3.2.5. Creep	20
4. MISTURA ASFÁLTICA	22
5. CONCRETO ASFÁLTICO, CA	24
5.1. MATERIAIS	26
5.2. DOSAGEM DE MISTURAS DENSAS	27
5.3. RESUMO DAS DOSAGENS	29
5.4. RESULTADOS DOS ENSAIOS VOLUMÉTRICOS E MECÂNICOS	31
5.4.1. Vazios do Agregado Mineral - VAM	33
5.4.2. Relação Betume-Vazios - RBV	35
5.4.3. Módulo de Resiliência - MR	38
5.4.4. Resistência à Tração - RT	40
5.4.5. Creep Estático	42
5.5. VIDA DE FADIGA - ANÁLISE MECANÍSTICA	45
5.5.1. Resultados dos Ensaios de Vida de Fadiga	47
5.5.2. Análise da Vida de Fadiga - Estrutura 1	56
5.5.3. Análise da Vida de Fadiga - Estrutura 2	60
5.5.4. Análise da Vida de Fadiga - Estrutura 3	64
5.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE MISTURAS DO TIPO CA	65
6. STONE MATRIX ASPHALT, SMA	67
6.1. MATERIAIS	67
6.2. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA - MÉTODO BAILEY	69
6.3. DOSAGEM DE SMA - AASHTO	75
6.3.1. SMA, Faixa 12,5mm AASHTO, com CAP 30-45	75
6.3.2. SMA, Faixa 12,5mm AASHTO, com CAP 50-70	79
6.4. RESUMO DAS DOSAGENS	81
6.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE MISTURAS DO TIPO SMA	82

7. GAP GRADED, GG	83
7.1. MATERIAIS	83
7.2. DOSAGEM DE MISTURAS ASFÁLTICAS DO TIPO GAP GRADED	85
7.2.1. GAP GRADED, Faixa 19,0 mm CALTRANS, com Stylink 60/85	86
7.2.2. GAP GRADED, Faixa 19,0 mm CALTRANS, com Ecoflex Pave B	87
7.3. RESUMO DAS DOSAGENS	87
7.4. RESULTADOS DOS ENSAIOS VOLUMÉTRICOS	88
7.4.1. GAP GRADED, Faixa 19,0 mm CALTRANS, com Stylink 60/85	88
7.4.2. GAP GRADED, Faixa 19,0mm CALTRANS, com Ecoflex Pave B	90
7.5. RESULTADOS DOS ENSAIOS MECÂNICOS	91
7.6. RESULTADOS DOS ENSAIOS DE FADIGA - ANÁLISE MECANÍSTICA PARA MISTURA GG	95
7.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE MISTURAS DO TIPO GAP GRADED	97
8. CAMADA POROSA DE ATRITO, CPA	98
8.1. MOLDAGEM DE CORPOS DE PROVA DE CPA	101
8.2. MATERIAIS	103
8.3. DOSAGEM DE CPA	106
8.3.1. CPA, Faixa 9,5 mm ARIZONA, com Ecoflex Pave B	108
8.3.2. CPA, Faixa 9,5 mm ARIZONA, com FlexPave 65/90	110
8.3.3. Ensaio de Desgaste Cantabro	112
8.3.4. Ensaio de Escorrimento	113
8.4. ANÁLISE PRELIMINAR DOS RESULTADOS OBTIDOS NA DOSAGEM	115
8.5. RESUMO DAS DOSAGENS DE CPA	121
8.6. RESULTADOS DOS ENSAIOS VOLUMÉTRICOS	122
8.6.1. CPA, Faixa 9,5 mm ARIZONA, com CAP Ecoflex Pave B	122
8.6.2. CPA, Faixa 9,5 mm ARIZONA, com CAP FlexPave 65/90	123
8.7. RESULTADOS DOS ENSAIOS MECÂNICOS	124
8.8. RESULTADOS DOS ENSAIOS DE FADIGA DE CPA - ANÁLISE MECANÍSTICA	124
8.9. CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE MISTURAS CPA	126
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	128
REFERÊNCIAS	130
ANEXO 1 - CA: Dosagem e Resultados dos Ensaio Volumétricos e Mecânicos	134
A1.1. Dosagem de CA	134
A1.2. Resultados dos Ensaio Volumétricos	146
A1.3. Resultados dos Ensaio Mecânicos	192
A1.4. Resultados dos Ensaio de Fadiga	216
ANEXO 2 - GAP GRADED: Dosagem e Resultados dos Ensaio Volumétricos e Mecânicos	245
A2.1. Dosagem de GAP GRADED	245
A2.2. Resultados dos Ensaio Volumétricos	247
A2.2. Resultados dos Ensaio Mecânicos	254
A2.3. Resultados dos Ensaio de Fadiga	257

ANEXO 3 - CPA: Dosagem e Resultados dos Ensaios Volumétricos e Mecânicos.....	262
A3.1. Dosagem de CPA.....	262
A3.2. Resultados dos Ensaios Volumétricos.....	265
A3.3. Resultados dos Ensaios Mecânicos	272
A3.3. Resultados dos Ensaios de Fadiga	275
 ANEXO 4 - PROTOCOLOS.....	 280

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Compactador Giratório - COPPE/UFRJ.	3
Figura 2: Faixas granulométricas avaliadas nesta pesquisa.	8
Figura 3: Exemplos de corpos de prova de CA moldados com compactadores Marshall e giratório.	9
Figura 4: Exemplos de corpos de prova de SMA moldados com compactadores Marshall e giratório.	10
Figura 5: Exemplos de corpos de prova de GG moldados com compactadores Marshall e giratório.	10
Figura 6: Exemplos de corpos de prova de CPA moldados com compactadores Marshall e giratório.	11
Figura 7: Ensaio de desgaste por abrasão Los Angeles.	13
Figura 8: Ensaio de massa específica de agregados miúdos - método ASTM C 128.	14
Figura 9: Ensaio Rice de determinação da densidade máxima de misturas não compactadas.	16
Figura 10: Esquema do ensaio de compressão diametral.	17
Figura 11: Equipamento para ensaio de fadiga por compressão diametral.	18
Figura 12: Equipamento para realização dos ensaios de Creep - COPPE/UFRJ.	20
Figura 13: Moldagem de CPs com compactador giratório.	27
Figura 14: Curvas granulométricas das misturas de CA avaliadas nesta pesquisa.	28
Figura 15: Misturador francês usado para produzir as misturas em batelada.	30
Figura 16: Variação do VAM em função do tipo e teor de ligante - Faixa 9,5 mm Superpave.	33
Figura 17: Variação do VAM em função do tipo e teor de ligante - Faixa 12,5 mm DNIT.	34
Figura 18: Variação do VAM em função do tipo e teor de ligante - Faixa 19,0 mm Superpave.	34
Figura 19: Variação do VAM em função do tipo e teor de ligante de todas as misturas analisadas.	35
Figura 20: Variação do RBV em função do tipo e teor de ligante - Faixa 9,5 mm Superpave.	36
Figura 21: Variação do RBV em função do tipo e teor de ligante - Faixa 12,5 mm DNIT.	36
Figura 22: Variação do RBV em função do tipo e teor de ligante - Faixa 19,0 mm Superpave.	37
Figura 23: Variação do RBV em função do tipo e teor de ligante.	37
Figura 24: Variação do MR em função do tipo e teor de ligante - Faixa 9,5 mm Superpave.	38
Figura 25: Variação do MR em função do tipo e teor de ligante - Faixa 12,5 mm DNIT.	38
Figura 26: Variação do MR em função do tipo e teor de ligante - Faixa 19,0 mm Superpave.	39
Figura 27: Variação do MR em função do tipo e teor de ligante de todas as misturas analisadas.	39
Figura 28: Variação da RT em função do tipo e teor de ligante - Faixa 9,5 mm Superpave.	40
Figura 29: Variação da RT em função do tipo e teor de ligante - Faixa 12,5 mm DNIT.	40

Figura 30: Variação da RT em função do tipo e teor de ligante - Faixa 19,0 mm Superpave.	41
Figura 31: Variação da RT em função do tipo e teor de ligante de todas as misturas analisadas.	41
Figura 32: Variação do <i>creep</i> em função do tipo e teor de ligante de todas as misturas analisadas.	42
Figura 33: Variação do <i>creep</i> em função do tipo e teor de ligante - Faixa 9,5 mm Superpave.	43
Figura 34: Variação do <i>creep</i> em função do tipo e teor de ligante - Faixa 12,5 mm DNIT.	43
Figura 35: Variação do <i>creep</i> em função do tipo e teor de ligante - Faixa 19,0 mm Superpave.	44
Figura 36: Resultados da análise de vida de fadiga das misturas de CA - Estrutura 1.	48
Figura 37: Resultados da análise de vida de fadiga das misturas de CA - Estrutura 2.	48
Figura 38: Resultados da análise de vida de fadiga das misturas de CA - Estrutura 3.	49
Figura 39: Vida de fadiga em função do tipo e teor de ligante - Estrutura 1 - Faixa 9,5 mm Superpave.	50
Figura 40: Vida de fadiga em função do tipo e teor de ligante - Estrutura 1 - Faixa 12,5 mm DNIT.	51
Figura 41: Vida de fadiga em função do tipo e teor de ligante - Estrutura 1 - Faixa 19,0 mm Superpave.	52
Figura 42: Vida de fadiga em função do tipo e teor de ligante - Estrutura 2 - Faixa 9,5 mm Superpave.	53
Figura 43: Vida de fadiga em função do tipo e teor de ligante - Estrutura 2 - Faixa 12,5 mm DNIT.	54
Figura 44: Vida de fadiga em função do tipo e teor de ligante - Estrutura 2 - Faixa 19,0 mm Superpave.	55
Figura 45: Curvas granulométricas dos agregados da mistura SMA avaliada nesta pesquisa.	68
Figura 46: Limites da faixa 12,5 mm AASHTO e curva granulométrica do SMA desta pesquisa.	68
Figura 47: Vv x Teor de ligante de SMA com CAP 30-45, faixa 12,5 mm, 75 giros.	76
Figura 48: Forno utilizado para realizar a extração do ligante.	77
Figura 49: Mistura de SMA antes e após a extração do ligante.	77
Figura 50: Curvas granulométricas da mistura SMA antes e após a compactação e extração do ligante.	78
Figura 51: Vv x Teor de ligante de SMA com CAP 30-45, faixa 12,5 mm, 50 giros.	79
Figura 52: Vv x Teor de ligante de SMA com CAP 50-70, faixa 12,5 mm, 75 giros.	80
Figura 53: Vv x Teor de ligante de SMA com CAP 50-70, faixa 12,5 mm, 50 giros.	81
Figura 54: Curvas granulométricas dos materiais usados nesta pesquisa para mistura <i>gap graded</i> .	84
Figura 55: Curva granulométrica do GG desta pesquisa e limites da faixa 19,0 mm CALTRANS.	84
Figura 56: Variação Vv x teor de ligante Stylink 60/85.	86
Figura 57: Variação Vv x teor de ligante Ecoflex Pave B.	87
Figura 58: Determinação do teor de projeto da mistura com Stylink 60/85 moldadas com compactador Marshall, em função do Vv.	89
Figura 59: Determinação do teor de projeto da mistura com Ecoflex Pave B moldadas com compactador Marshall, em função do Vv.	91

Figura 60: Variação de VAM em função do tipo e teor de ligante das misturas <i>gap graded</i>	92
Figura 61: Variação de RBV em função do tipo e teor de ligante das misturas <i>gap graded</i>	92
Figura 62: Variação de MR em função do tipo e teor de ligante das misturas <i>gap graded</i>	93
Figura 63: Variação de RT em função do tipo e teor de ligante das misturas <i>gap graded</i>	93
Figura 64: Variação de <i>creep</i> em função do tipo e teor de ligante das misturas <i>gap graded</i>	94
Figura 65: Resultados da análise de vida de fadiga das misturas GG desta pesquisa para a Estrutura 1.....	96
Figura 66: Resultados da análise de vida de fadiga das misturas GG desta pesquisa para a Estrutura 2.....	96
Figura 67: Curvas granulométricas dos materiais usados nesta pesquisa para CPA.....	104
Figura 68: Faixa de trabalho de CPA desta pesquisa e limites da faixa 9,5 mm do ARIZONA.....	105
Figura 69: Fibra de celulose usada nesta pesquisa de CPA.....	106
Figura 70: Máquina Los Angeles.....	108
Figura 71: Variação do Vv da mistura com Ecoflex moldada com compactador giratório a 50 giros, nesta pesquisa.....	109
Figura 72: Variação do Vv da mistura com Ecoflex Pave B moldada com 50 golpes Marshall nesta pesquisa.....	110
Figura 73: Variação do Vv das misturas CPA com FlexPave moldadas com 50 giros nesta pesquisa.....	111
Figura 74: Variação do Vv da mistura CPA com FlexPave moldada com 50 golpes Marshall nesta pesquisa.....	111
Figura 75: Corpos de prova de CPA antes de realizar o ensaio de desgaste Cantabro nesta pesquisa.....	113
Figura 76: Corpos de prova de CPA após a realização do ensaio de desgaste Cantabro nesta pesquisa.....	113
Figura 77: Exemplo da preparação da mistura asfáltica CPA com adição da fibra de celulose nesta pesquisa.....	113
Figura 78: Mistura asfáltica sendo colocada dentro da cesta de arame para ensaio de escorrimento nesta pesquisa.....	114
Figura 79: Cestas de arame suspensas sobre os papéis dentro da estufa para ensaio de escorrimento nesta pesquisa.....	114
Figura 80: Ensaio de escorrimento da mistura CPA com 6,0% de ligante e 0,0% e 0,4% de fibras.....	115
Figura 81: Variação do Vv das misturas CPA com Ecoflex Pave B - moldadas com 50 giros nesta pesquisa.....	118
Figura 82: Variação do Vv das misturas CPA com FlexPave 65/90 - moldadas com 50 giros nesta pesquisa.....	118
Figura 83: Variação do Vv das misturas CPA com Ecoflex B moldadas com 100 giros nesta pesquisa.....	119
Figura 84: Variação do Vv das misturas CPA com FlexPave 65/90 moldadas com 100 giros nesta pesquisa.....	120
Figura 85: Resultados da análise de vida de fadiga das misturas CPA - Estrutura 1.....	125
Figura 86: Resultados da análise de vida de fadiga das misturas CPA - Estrutura 2.....	126

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Número de giros especificados na norma de dosagem Superpave.....	3
Tabela 2: Número de CPs moldados com compactador Marshall e quantidade de massa produzida no CPR para as misturas desta pesquisa.	6
Tabela 3: Número de CPs moldados com compactador giratório e quantidade de massa produzida para as misturas desta pesquisa.....	7
Tabela 4: Características dos materiais pétreos usados nas misturas densas desta pesquisa.	26
Tabela 5: Características dos ligantes asfálticos usados nesta pesquisa nas misturas densas.	27
Tabela 6: Curvas granulométricas das misturas de CA avaliadas nesta pesquisa.	28
Tabela 7: Temperaturas dos agregados, de mistura e compactação e densidades dos ligantes.....	29
Tabela 8: Resumo dos teores de ligante de projeto das misturas estudadas nesta pesquisa.	29
Tabela 9: Teores de ligante das misturas estudadas nesta pesquisa.	31
Tabela 10: Resumo dos resultados dos ensaios volumétricos e mecânicos das misturas estudadas.....	32
Tabela 11: Estruturas de pavimentos usadas nas comparações das misturas deste estudo.....	46
Tabela 12: Deflexões após reconstrução para Estrutura 3.....	46
Tabela 13: Deflexões obtidas usando as misturas de CA Faixa 12,5 mm como capa - Estrutura 3.	47
Tabela 14: Resumo dos resultados de fadiga das misturas de CA - Estrutura 1.	47
Tabela 15: Resumo dos resultados de fadiga das misturas de CA - Estrutura 2.	47
Tabela 16: Resumo dos resultados de fadiga das misturas de CA - Estrutura 3.	49
Tabela 17: Resultados de fadiga das misturas de CA Faixa 9,5 mm - Estrutura 1.	50
Tabela 18: Resultados de fadiga das misturas de CA Faixa 12,5 mm - Estrutura 1.	51
Tabela 19: Resultados de fadiga das misturas de CA Faixa 19,0 mm - Estrutura 1.	52
Tabela 20: Resultados de fadiga das misturas de CA Faixa 9,5 mm - Estrutura 2.	53
Tabela 21: Resultados de fadiga das misturas de CA Faixa 12,5 mm - Estrutura 2.	54
Tabela 22: Resultados de fadiga das misturas de CA Faixa 19,0 mm - Estrutura 2.	55
Tabela 23: Comparação da vida de fadiga das misturas densas.....	65
Tabela 24: Proposta de novos teores de ligante para as misturas densas avaliadas.	66
Tabela 25: Granulometria e densidades dos agregados e curva granulométrica do SMA desta pesquisa.	67
Tabela 26: Características dos ligantes asfálticos usados nesta pesquisa para o SMA.	69
Tabela 27: Temperaturas dos agregados, de mistura e de compactação do SMA.....	69
Tabela 28: Peneiras de controle para misturas do tipo SMA.	70
Tabela 29: Porcentagem passante das peneiras de controle do método Bailey do SMA deste estudo.	72
Tabela 30: Faixas recomendadas para proporções de agregados de SMA deste estudo.	72
Tabela 31: Resultado das proporções AG, GAF e FAF obtidos após peneiramento.	72
Tabela 32: Definição da fração graúda de agregado da mistura SMA.....	73
Tabela 33: Parâmetros volumétricos da mistura SMA com CAP 30-45, faixa 12,5 mm.	76
Tabela 34: Análise granulométrica dos agregados do SMA após a extração do ligante.....	77

Tabela 35: Parâmetros volumétricos do SMA com CAP 30-45 moldados com 50 giros.	79
Tabela 36: Parâmetros volumétricos da mistura SMA com CAP 50-70 preparados com 75 giros.	80
Tabela 37: Parâmetros volumétricos da mistura SMA com CAP 50-70 preparado com 50 giros.	81
Tabela 38: Resumo dos teores de ligante das misturas SMA estudadas nesta pesquisa.	82
Tabela 39: Características dos materiais pétreos usados nesta pesquisa para mistura <i>gap graded</i>	83
Tabela 40: Curva granulométrica do GG desta pesquisa e limites da faixa 19,0 mm CALTRANS.	84
Tabela 41: Características dos ligantes asfálticos utilizados nesta pesquisa para mistura GG.	85
Tabela 42: Temperaturas de mistura, compactação e dos agregados.	85
Tabela 43: Parâmetros volumétricos e mecânicos de <i>gap graded</i> com Stylink 60/85 desta pesquisa.	86
Tabela 44: Parâmetros volumétricos e mecânicos de <i>gap graded</i> com Ecoflex Pave B desta pesquisa.	87
Tabela 45: Resumo dos teores de ligante das misturas GG estudadas nesta pesquisa.	88
Tabela 46: Valores de Gmm das misturas com ligante Stylink 60/85.	88
Tabela 47: Valores de Gmm das misturas com ligante Ecoflex Pave B.	88
Tabela 48: Resumo dos parâmetros volumétricos das misturas com Stylink 60/85 desta pesquisa.	89
Tabela 49: Resumo dos parâmetros volumétricos das misturas com Ecoflex Pave B.	90
Tabela 50: Resultados dos ensaios mecânicos do <i>gap-graded</i> com Stylink 60/85 desta pesquisa.	91
Tabela 51: Resultados dos ensaios mecânicos do <i>gap-graded</i> com Ecoflex Pave B desta pesquisa.	91
Tabela 52: Resumo dos resultados de fadiga das misturas GG desta pesquisa aplicados à Estrutura 1.	95
Tabela 53: Resumo dos resultados de fadiga das misturas GG desta pesquisa para a Estrutura 2.	96
Tabela 54: Comparação da vida de fadiga para as duas misturas GG desta pesquisa.	97
Tabela 55: Faixas granulométricas de CPA - DNER ES 386/99.	99
Tabela 56: Especificação OGFC/PFC - Faixas granulométricas de CPA - NCHRP 09-33.	99
Tabela 57: Faixa 9,5 mm ARIZONA de CPA.	99
Tabela 58: Teor de ligante mínimo em função da densidade aparente dos agregados.	100
Tabela 59: Limites para misturas de CPA - DNER ES 386/99.	100
Tabela 60: Limites para misturas OGFC/PFC moldadas com compactador giratório.	101
Tabela 61: Resumo de trabalhos de CPA moldados com compactadores Marshall e giratório, de referências comparadas a resultados desta pesquisa*.	102
Tabela 62: Características dos materiais pétreos usados nesta pesquisa para CPA.	104
Tabela 63: Curva granulométrica da mistura CPA desta pesquisa e os limites da faixa 9,5 mm do ARIZONA para CPA.	104
Tabela 64: Características dos ligantes asfálticos usados nesta pesquisa para CPA.	105
Tabela 65: Temperaturas de mistura, de compactação e dos agregados, em oC, usadas nesta pesquisa para CPA.	105

Tabela 66: Parâmetros volumétricos e mecânicos das misturas com Ecoflex Pave B - moldadas com 50 giros nesta pesquisa.	108
Tabela 67: Parâmetros volumétricos das misturas com Ecoflex Pave B - moldadas com 50 golpes Marshall nesta pesquisa.	109
Tabela 68: Parâmetros volumétricos e mecânicos das misturas de CPA com FlexPave moldadas com 50 giros nesta pesquisa.	110
Tabela 69: Parâmetros volumétricos e mecânicos das misturas de CPA com FlexPave 65/90 moldadas com 50 golpes Marshall nesta pesquisa.	111
Tabela 70: Valores de desgaste Cantabro das misturas CPA moldadas com Ecoflex Pave B nesta pesquisa.	112
Tabela 71: Valores de desgaste Cantabro das misturas CPA moldadas com FlexPave 65/90 nesta pesquisa.	112
Tabela 72: Resultados do ensaio de escorrimento da CPA desta pesquisa.	115
Tabela 73: Nova faixa de trabalho desta pesquisa e os limites da faixa 9,5 mm ARIZONA para CPA.	117
Tabela 74: Parâmetros volumétricos de CPA com Ecoflex Pave B - moldado com 50 giros nesta pesquisa.	117
Tabela 75: Parâmetros volumétricos de CPA com FlexPave 65/90 - moldado com 50 giros nesta pesquisa.	117
Tabela 76: Parâmetros volumétricos de CPA com Ecoflex B moldado com 100 giros nesta pesquisa.	119
Tabela 77: Parâmetros volumétricos de CPA com FlexPave - moldado com 100 giros nesta pesquisa.	120
Tabela 78: Parâmetros volumétricos de CPA com Ecoflex Pave B - moldado com 100 giros nesta pesquisa.	121
Tabela 79: Parâmetros volumétricos de CPA com FlexPave 65/90 - moldado com 100 giros nesta pesquisa.	121
Tabela 80: Resumo dos teores de ligante das misturas de CPA desta pesquisa.	122
Tabela 81: Valores de Gmm das misturas com Ecoflex Pave B moldadas com compactador Marshall desta pesquisa.	122
Tabela 82: Valores de Gmm das misturas com FlexPave 65/90 moldadas com compactador Marshall desta pesquisa.	122
Tabela 83: Resumo dos parâmetros volumétricos das misturas CPA com Ecoflex Pave B deste estudo.	123
Tabela 84: Resumo dos parâmetros volumétricos das misturas CPA com FlexPave 65/90.	124
Tabela 85: Resumo dos parâmetros mecânicos das misturas de CPA desta pesquisa.	124
Tabela 86: Resumo dos resultados de fadiga das misturas CPA - Estrutura 1.	125
Tabela 87: Resumo dos resultados de fadiga das misturas CPA - Estrutura 2.	125
Tabela 88: Comparação da vida de fadiga das misturas CPA deste estudo.	126

LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E SIGLAS

AAQ	Areia-Asfalto a Quente
AASTHO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
AG	Proporção de Agregados Graúdos
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CA	Concreto Asfáltico
CALTRANS	<i>California Department of Transportation</i>
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
COPPE	Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia da UFRJ
CP	Corpo de Prova
CPA	Camada Porosa de Atrito
CPR	Centro de Pesquisa Rodoviária da Nova Dutra
CPs	Corpos de Prova
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
FAF	Proporção Fina dos Agregados Finos
GAF	Proporção Graúda dos Agregados Finos
GG	<i>Gap-Graded</i>
Gmb	Massa Específica Aparente da Mistura
Gmm	Massa Específica Máxima da Mistura
Gs	Massa Específica da Fração Graúda do Agregado Seco Compactado
Gsa	Massa Específica Real
Gsb	Massa Específica Aparente dos Agregados
Gsb-g	Massa Específica Aparente da Fração Graúda do Agregado
Gse	Massa Específica Efetiva
Gw	Massa Específica da Água
LCPC	<i>Laboratoire Central des Ponts et Chaussées</i>
LVDT	<i>Linear Variable Displacement Transducer</i>
MR	Módulo de Resiliência
N	Vida de Fadiga
Nf	Vida de Fratura
N _{inicial}	Esforço de Compactação Inicial
N _{máximo}	Esforço de Compactação Máximo
N _{projeto}	Esforço de Compactação de Projeto
Ns	Vida de Serviço
OGFC	<i>Open-Graded Friction Courses</i>
PCA	% de Fração Graúda do Agregado em Relação ao Peso Total da Mistura

PCP	Peneira de Controle Primário
PCS	Peneira de Controle Secundário
PCT	Peneira de Controle Terciário
PFC	<i>Permeable Friction Course</i>
PM	Peneira Média
PMF	Pré-Misturado a Frio
RBV	Relação Betume Vazios
RT	Resistência à Tração Indireta (Estática)
SBS	Polímero Estireno-Butadieno-Estireno
SHRP	<i>Strategic Highway Research Pavements</i>
SMA	<i>Stone Matrix Asphalt</i>
SUPERPAVE	<i>SUperior PERformance Asphalt PAVements</i>
TC	Tensão Controlada
TMN	Tamanho Máximo Nominal
TS	Tratamento Superficial
TSD	Tratamento Superficial Duplo
TSS	Tratamento Superficial Simples
TST	Tratamento Superficial Triplo
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
USP	Universidade de São Paulo
VAM	Vazios do Agregado Mineral
VCA	Vazios Cheios de Asfalto
VCA _{DRC}	Vazios da Fração Graúda do Agregado Compactado
VCA _{MIX}	Vazios da Fração Graúda do Agregado na Mistura Compactada
VFA	% de Vazios do Agregado Mineral Preenchido com Asfalto
Vv	Volume de Vazios ou Vazios da Mistura

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, os principais problemas que ocorrem nos pavimentos asfálticos estão relacionados com a **resistência à fadiga** e ao **acúmulo de deformação permanente nas trilhas das rodas**. Algumas rodovias apresentam, precocemente, problemas de afundamento nas trilhas das rodas provenientes exclusivamente do revestimento, mesmo em locais nos quais as misturas asfálticas são usinadas atendendo o **intervalo de teor de ligante aceitável** pelas especificações vigentes. Além disso, outro problema comum está relacionado com a resistência à fadiga, que representa uma das mais importantes características de perda de desempenho das camadas asfálticas nas rodovias brasileiras.

O revestimento ou capa de rolamento pode ser produzido de duas maneiras principais: por penetração ou por mistura. Os revestimentos por penetração são aqueles executados através de uma ou mais aplicações de material asfáltico e de mesmo número de operações de espalhamento e compressão de camadas de agregados com granulometrias apropriadas. O principal tipo de revestimento por penetração é o Tratamento Superficial (TS), que pode ser Simples (TSS), Duplo (TSD) ou Triplo (TST). No revestimento por mistura, o agregado é pré-envolvido com o material asfáltico, antes da compressão, geralmente feito em usina, podendo ser a quente ou a frio, em função do tipo de material asfáltico selecionado. Os principais tipos de revestimento asfáltico usinado são: Concreto asfáltico (CA) ou Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ), Pré-Misturado a Frio (PMF), Areia-Asfalto a Quente (AAQ), *Stone Matrix Asphalt* (SMA), *Gap Graded* (GG) e Camada Porosa de Atrito (CPA).

Neste trabalho foram avaliados quatro tipos de misturas: **CA**, **SMA**, **GG** e **CPA**, onde foi dada ênfase ao problema relacionado com a **resistência à fadiga**. Com o objetivo de evitar o surgimento desses defeitos são empregados os resultados da análise em laboratório do ensaio de vida de fadiga, que têm sido usados como critério de dimensionamento de pavimentos (PINTO, 1991). As cargas usadas nesse ensaio, por sua vez, são determinadas em função de outro ensaio limite, o de resistência à tração estática, comumente obtida de forma indireta devido à maior simplicidade.

Uma das causas desse tipo de problema pode ser o **teor inadequado de asfalto**, que nem sempre atende ao teor determinado em projeto, podendo ocorrer uma redução ou até um aumento no teor de ligante, em função de alguns problemas ocasionados durante a usinagem da mistura asfáltica. Um aspecto que tem sido objeto de várias análises é a definição do teor de projeto ou “teor ótimo” de ligante obtido na dosagem da mistura asfáltica: varia em função dos critérios adotados na sua seleção e também em função de parâmetros como energia e tipo de compactação, tipo de mistura, temperatura a qual o pavimento estará submetido, entre outros.

No Brasil, o método de dosagem de misturas asfálticas mais usado é o **método Marshall**, desenvolvido na década de 1940 e que faz uso da **compactação por impacto**. Durante décadas esse método foi e ainda é muito aplicado. No entanto, na década de 1980, várias rodovias de tráfego pesado nos EUA passaram a apresentar problemas de deformações permanentes prematuras, que foram atribuídas ao excesso de ligante nas misturas. A causa do problema foi atribuída à compactação por impacto das misturas, que, durante a dosagem, produzia corpos de prova (CP) com densidades que não condiziam com os valores encontrados no pavimento em campo. Em função dessa incerteza, foi realizada nos EUA uma grande pesquisa sobre esse assunto e outros aspectos de materiais asfálticos: Programa **SHRP** (*Strategic Highway Research Program*), o que acabou resultando em um novo procedimento de dosagem por amassamento, denominado **SUPERPAVE** (BERNUCCI *et al.*, 2007).

O **método Superpave** propõe uma forma diferente de preparação do corpo de prova de misturas asfálticas, empregando o **compactador giratório** (**Figura 1**). Trata-se de um equipamento prático, com boa repetibilidade e reprodutibilidade, que apresenta as seguintes características básicas: ângulo de rotação de $1,25 \pm 0,02^\circ$; taxa de 30 rotações por minuto; tensão de compressão vertical de 600 kPa; capacidade de produzir corpos de prova com diâmetros de 150,0 mm e 100,0 mm.

Para a realização da compactação de um corpo de prova, CP, devem ser definidos os esforços que serão utilizados para a determinação do volume de vazios da mistura, ou seja, deve ser definido o número de giros que serão aplicados para moldar os CPs.

Esses esforços são: N_{inicial} , esforço de compactação inicial; N_{projeto} , esforço de compactação de projeto que é tal que o volume de vazios (V_v) deve ser igual a 4,0% neste ponto de compactação; e $N_{\text{máximo}}$, esforço de compactação máximo, que representa a condição de compactação da mistura ao fim da vida de serviço da mesma que deve ser sempre $\geq 2,0\%$ de V_v .



Figura 1: Compactador Giratório - COPPE/UFRJ.

Os esforços de compactação N_{inicial} e $N_{\text{máximo}}$ são usados para avaliar a trabalhabilidade da mistura. O N_{projeto} , número de giros de projeto, é usado para selecionar o teor de ligante de projeto. Esses valores variam em função do tráfego (N), conforme apresentados na **Tabela 1** (AASHTO, 2001).

Tabela 1: Número de giros especificados na norma de dosagem Superpave.

Parâmetros de compactação			Tráfego
N_{inicial}	N_{projeto}	$N_{\text{máximo}}$	
	50	75	Muito leve (local)
7	75	115	Médio (rodovias coletoras)
8	100	160	Médio a alto (vias principais, rodovias rurais)
9	125	205	Alto volume de tráfego (interestaduais, muito pesado)

Fonte: AASHTO (2001).

Nesta pesquisa foi definido o **número de giros**, N_{projeto} , em função do volume de tráfego da rodovia, mas principalmente, considerando a especificação de cada mistura avaliada:

- CA = 125 giros
- SMA = 75 giros
- GG = 100 giros
- CPA = 50 e 100 giros.

Com a finalidade de simular em laboratório o desempenho de misturas asfálticas que serão aplicadas em pistas de rolamento, esta pesquisa teve como **objetivo principal** verificar a **influência da variação dos teores de ligante na resistência à fadiga e na deformação permanente** em diferentes tipos de misturas asfálticas. Para isso, esta pesquisa envolve diferentes tipos e granulometrias de agregados e diferentes tipos e teores de ligantes e dois métodos de compactação. Além disso, a pesquisa teve como objetivo realizar uma avaliação complementar, com base, principalmente, em valores de resistência à fadiga para as novas tolerâncias aceitáveis de variação da porcentagem de ligante em relação à ótima, obtida no projeto da mistura.

O desenvolvimento desta pesquisa foi realizado em laboratórios de três instituições: Laboratório de Tecnologia de Pavimentação da Escola Politécnica da USP coordenado pela Prof^a. Liedi Bernucci; Laboratório de Geotecnia da COPPE/UFRJ - Setor de Pavimentação, coordenado Prof^a. Laura Maria Goretti da Motta e do CPR - Centro de Pesquisa Rodoviária da Nova Dutra, coordenado pela Eng^a Valéria de Faria.

Este relatório apresenta as atividades desenvolvidas no Setor de Pavimentos do Laboratório de Geotecnia da COPPE/UFRJ. Foram realizadas **dosagens Superpave** de misturas asfálticas empregando diferentes tipos e teores de ligantes para determinação do teor de projeto (teor ótimo), sendo que os corpos de prova foram moldados com o **compactador giratório** e submetidos aos ensaios de MR e RT. Após a definição do teor de projeto, foram moldados 22 corpos de prova de cada mistura com o compactador giratório para a realização de **ensaios mecânicos dinâmicos** (fadiga, módulo de resiliência, MR, resistência à tração, RT) e **estático** (*creep*).

Paralelamente às dosagens Superpave realizadas no Laboratório da COPPE/UFRJ, foram realizadas **dosagens** com o equipamento **Marshall** no **CPR**. Como parte da avaliação das misturas asfálticas, corpos de prova no teor de projeto ($\pm 0,25\%$ e $\pm 0,50\%$) moldados no CPR com compactador Marshall foram enviados à COPPE para ser submetidos aos ensaios mecânicos dinâmicos (fadiga, MR e RT) e estático (*creep*).

Nesta pesquisa os ensaios de módulo de resiliência, de resistência à tração estática e de fadiga foram realizados a 25°C e os de *creep* a 40°C.

A pesquisa foi dividida em 2 etapas:

- 1ª etapa: avaliação de misturas densas - **CA** (concreto asfáltico);
- 2ª etapa: avaliação de misturas especiais - **SMA** (*Stone Matrix Asphalt*), **GG** (*Gap Graded*) e **CPA** (Camada Porosa de Atrito).

A **Tabela 2** apresenta a quantidade de corpos de prova, CPs, moldados com **compactador Marshall** pela Nova Dutra, considerando o tipo de mistura, tipo de ligante e a finalidade dos CPs (dosagem ou ensaios mecânicos), sendo que para cada tipo de mistura foram moldados, além dos CPs no teor de projeto, CPs $\pm 0,25\%$ e $\pm 0,50\%$ do teor de projeto. Apresenta também a quantidade estimada de massa produzida para moldar os CPs, cerca de 2500kg.

A **Tabela 3** apresenta a quantidade de CPs moldados com **compactador giratório** pela COPPE para realizar as dosagens Superpave e os ensaios mecânicos, assim como a quantidade de massa produzida (cerca de 1150 kg) para moldar os CPs e determinar a densidade máxima da mistura não compactada.

Neste relatório são apresentados os resultados dos seguintes ensaios realizados no Setor de Pavimentos do Laboratório de Geotecnia da COPPE/UFRJ:

- **Granulometria** = 36 ensaios
- Análise granulométrica pelo método **Bailey** = 2 ensaios
- **Massa específica de agregados miúdos** = 18 ensaios
- **Densidade de agregados graúdos** = 27 ensaios
- **Abrasão Los Angeles** = 12 ensaios
- **Densidade máxima da mistura** pelo método **Rice** = 288 ensaios
- **Massa específica aparente** dos corpos de prova compactados = 2718 ensaios
- **Módulo de Resiliência**, MR = 918 ensaios
- **Resistência à Tração**, RT = 1836 ensaios
- **Fadiga** = 1152 ensaios
- **Creep** estático = 288 ensaios
- **Cantabro** = 24 ensaios
- Ensaio de **escorrimento** de ligante = 12 ensaios

Tabela 2: Número de CPs moldados com compactador Marshall e quantidade de massa produzida no CPR para as misturas desta pesquisa.

Mistura	Ligante	Quantidade de mistura	Número de CPs	Quantidade de massa (kg)
Dosagem CA – 9,5 mm	CAP 30-45	1	15	18
Dosagem CA – 12,5 mm	CAP 30-45	1	15	18
Dosagem CA – 19,0 mm	CAP 30-45	1	15	18
Dosagem CA – 9,5 mm	CAP 50-70	1	15	18
Dosagem CA – 12,5 mm	CAP 50-70	1	15	18
Dosagem CA – 19,0 mm	CAP 50-70	1	15	18
Dosagem CA – 9,5 mm	CAP SBS	1	15	18
Dosagem CA – 12,5 mm	CAP SBS	1	15	18
Dosagem CA – 19,0 mm	CAP SBS	1	15	18
Dosagem CA – 9,5 mm	Ecoflex B	1	15	18
Dosagem CA – 12,5 mm	Ecoflex B	1	15	18
Dosagem CA – 19,0 mm	Ecoflex B	1	15	18
Dosagem SMA	CAP 30-45	1	15	18
Dosagem SMA	CAP 50-70	1	15	18
Dosagem GG	Stylink 60/85	1	15	18
Dosagem GG	Ecoflex Pave B	1	15	18
Dosagem CPA	FlexPave 65/90	1	15	18
Dosagem CPA	Ecoflex Pave B	1	15	18
CA – 9,5 mm*	CAP 30-45	5	110	132
CA – 12,5 mm*	CAP 30-45	5	110	132
CA – 19,0 mm*	CAP 30-45	5	110	132
CA – 9,5 mm*	CAP 50-70	5	110	132
CA – 12,5 mm*	CAP 50-70	5	110	132
CA – 19,0 mm*	CAP 50-70	5	110	132
CA – 9,5 mm*	CAP SBS	5	110	132
CA – 12,5 mm*	CAP SBS	5	110	132
CA – 19,0 mm*	CAP SBS	5	110	132
CA – 9,5 mm*	Ecoflex B	5	110	132
CA – 12,5 mm*	Ecoflex B	5	110	132
CA – 19,0 mm*	Ecoflex B	5	110	132
GG*	Stylink 60/85	5	110	132
GG*	Ecoflex Pave B	5	110	132
CPA*	FlexPave 65/90	5	110	132
CPA*	Ecoflex Pave B	5	110	132
Total		98	2030	2436

*Misturas produzidas no teor de projeto $\pm 0,25\%$ e $\pm 0,50\%$ do teor de projeto.

Tabela 3: Número de CPs moldados com compactador giratório e quantidade de massa produzida para as misturas desta pesquisa.

Mistura	Ligante	Quantidade de mistura	Número de CPs	Quantidade de massa (kg)
Dosagem CA – 9,5 mm	CAP 30-45	1	12	15 + 5**
Dosagem CA – 12,5 mm	CAP 30-45	1	12	15 + 5**
Dosagem CA – 19,0 mm	CAP 30-45	1	12	15 + 5**
Dosagem CA – 9,5 mm	CAP 50-70	1	12	15 + 5**
Dosagem CA – 12,5 mm	CAP 50-70	1	12	15 + 5**
Dosagem CA – 19,0 mm	CAP 50-70	1	12	15 + 5**
Dosagem CA – 9,5 mm	CAP SBS	1	12	15 + 5**
Dosagem CA – 12,5 mm	CAP SBS	1	12	15 + 5**
Dosagem CA – 19,0 mm	CAP SBS	1	12	15 + 5**
Dosagem CA – 9,5 mm	Ecoflex B	1	12	15 + 5**
Dosagem CA – 12,5 mm	Ecoflex B	1	12	15 + 5**
Dosagem CA – 19,0 mm	Ecoflex B	1	12	15 + 5**
Dosagem SMA	CAP 30-45	4	48	58 + 4x5**
Dosagem SMA	CAP 50-70	4	48	58 + 4x5**
Dosagem GG	Stylink 60/85	1	12	15 + 5**
Dosagem GG	Ecoflex Pave B	1	12	15 + 5**
Dosagem CPA	FlexPave 65/90	3	48	58 + 3x5**
Dosagem CPA	Ecoflex Pave B	3	48	58 + 3x5**
CA – 9,5 mm	CAP 30-45	1	22	27 + 5**
CA – 12,5 mm	CAP 30-45	1	22	27 + 5**
CA – 19,0 mm	CAP 30-45	1	22	27 + 5**
CA – 9,5 mm	CAP 50-70	1	22	27 + 5**
CA – 12,5 mm	CAP 50-70	1	22	27 + 5**
CA – 19,0 mm	CAP 50-70	1	22	27 + 5**
CA – 9,5 mm	CAP SBS	1	22	27 + 5**
CA – 12,5 mm	CAP SBS	1	22	27 + 5**
CA – 19,0 mm	CAP SBS	1	22	27 + 5**
CA – 9,5 mm	Ecoflex B	1	22	27 + 5**
CA – 12,5 mm	Ecoflex B	1	22	27 + 5**
CA – 19,0 mm	Ecoflex B	1	22	27 + 5**
GG	Stylink 60/85	1	22	27 + 5**
GG	Ecoflex Pave B	1	22	27 + 5**
CPA	FlexPave 65/90	1	22	27 + 5**
CPA	Ecoflex Pave B	1	22	27 + 5**
Total		44	688	1104

**Além da quantidade de massa para moldar os CPs foi produzida cerca de 5kg a mais de cada tipo de mistura para determinar a densidade máxima da mistura não compactada através do método *Rice*.

2. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Conforme mencionado, este relatório apresenta as atividades realizadas nas duas etapas da pesquisa, onde foram analisadas **quatro tipos de misturas asfálticas** (CA, SMA, GG e CPA) de **diferentes faixas granulométricas** preparadas através de **dois métodos de compactação** (Marshall e Superpave) e **sete ligantes asfálticos** (CAP 30-45; CAP 50-70; três asfaltos modificados por polímero e dois asfaltos modificados por borracha). O número de giros para a moldagem dos corpos de prova com o compactador giratório foi determinado para cada tipo de mistura de acordo com a sua respectiva especificação. A seguir são apresentados os parâmetros que foram combinados destas variáveis:

a. Faixas Granulométricas (**Figura 2**):

- CA, Faixa 9,5 mm SUPERPAVE;
- CA, Faixa 12,5 mm DNIT;
- CA, Faixa 19,0 mm SUPERPAVE;
- SMA, Faixa 12,5 mm AASHTO;
- GG, Faixa 19,0 mm CALTRANS;
- CPA, Faixa 9,5 mm ARIZONA.

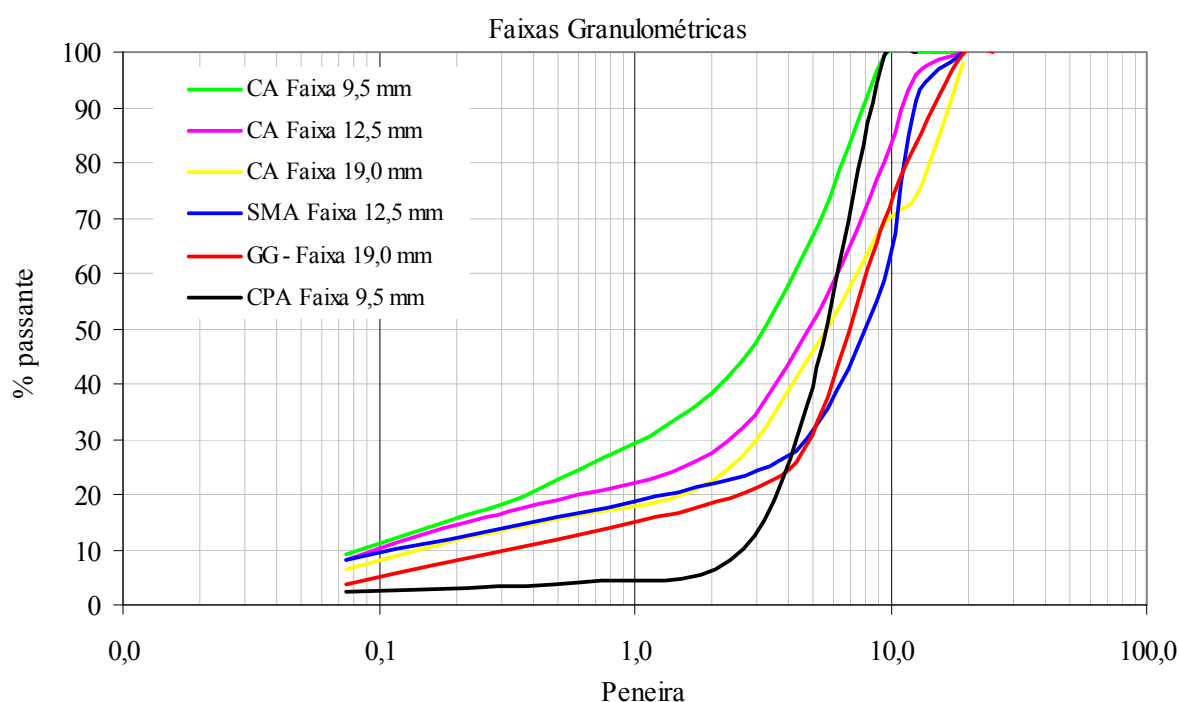


Figura 2: Faixas granulométricas avaliadas nesta pesquisa.

b. Ligantes Asfálticos:

- **CAP 30-45;**
- **CAP 50-70;**
- CAP Modificado por Polímero - **SBS;**
- CAP Modificado por Borracha - **Ecoflex B;**
- CAP Modificado por Polímero - **Stylink 60/85;**
- CAP Modificado por Polímero - **FlexPave 65/90;**
- CAP Modificado por Borracha - **Ecoflex Pave B.**

c. Energias de Compactação:

- **CA (Figura 3):**
 - Marshall 90 golpes;
 - Superpave 125 giros;



Figura 3: Exemplos de corpos de prova de CA moldados com compactadores Marshall e giratório.

- **SMA (Figura 4):**
 - Marshall 50 golpes;
 - Superpave 75 giros;

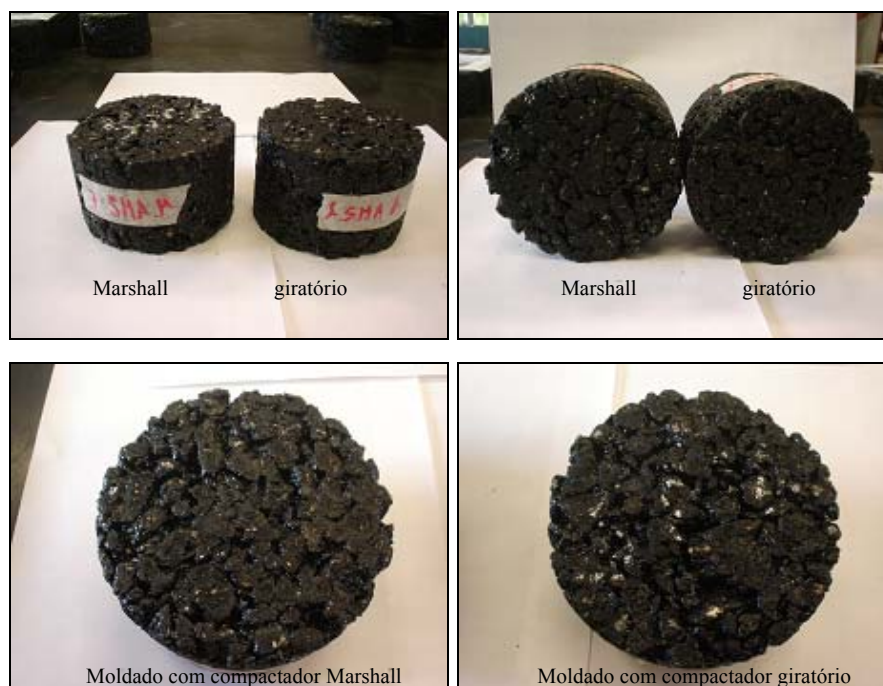


Figura 4: Exemplos de corpos de prova de SMA moldados com compactadores Marshall e giratório.

- **Gap Graded (Figura 5):**

- Marshall 75 golpes;
- Superpave 100 giros;



Figura 5: Exemplos de corpos de prova de GG moldados com compactadores Marshall e giratório.

- **CPA (Figura 6):**

- Marshall 75 golpes;
- Superpave 100 giros.



Figura 6: Exemplos de corpos de prova de CPA moldados com compactadores Marshall e giratório.

d. Teores de Ligante:

➤ Compactador Marshall:

- Teor de Projeto;
- Teor de Projeto -0,50% de ligante;
- Teor de Projeto -0,25% de ligante;
- Teor de Projeto +0,25% de ligante;
- Teor de Projeto +0,50% de ligante.

➤ Compactador Giratório:

- Teor de Projeto.

Paralelamente ao estudo principal foram executadas as seguintes atividades:

- No CPR: ensaios de fadiga com ruptura sob velocidade de deformação constante em três velocidades (0,2; 0,5 e 1,3 mm/s) para serem comparados aos ensaios de fadiga realizados na COPPE com cargas repetidas, realizados em quatro níveis de tensão (por exemplo: 10%; 20%; 30% e 40% da resistência à tração estimada).

3. ENSAIOS REALIZADOS NA COPPE/UFRJ

3.1. AGREGADOS

Para que um pavimento apresente bom desempenho e durabilidade durante sua vida útil, os agregados que compõem a mistura asfáltica devem apresentar resistência e uma boa adesão do ligante asfáltico, pois do contrário poderá causar defeitos como afundamentos, trincas e desagregação. Para evitar problemas de desagregação são utilizados materiais melhoradores de adesividade, como a cal e o dope. Além da composição granulométrica, as principais propriedades dos agregados avaliadas são: resistência mecânica; durabilidade; índice de forma e adesividade a produtos asfálticos (BERNUCCI *et al.*, 2007).

3.1.1. Análise Granulométrica

A distribuição granulométrica do agregado é uma das características que asseguram o intertravamento das partículas, desde as mais graúdas às mais finas. Este intertravamento é o responsável pela estabilidade das misturas. Para avaliar o intertravamento das partículas é empregado o **Método Bailey**, que consiste em uma forma de seleção granulométrica que visa à escolha de uma estrutura adequada de agregados de misturas densas e descontínuas.

O método Bailey permite também ajustes na quantidade de vazios das misturas em função da porcentagem de cada material e considera o intertravamento dos agregados graúdos o principal fator relacionado à resistência à deformação permanente da mistura (NASCIMENTO, 2008). Esta seleção granulométrica está relacionada diretamente com as características de compactação de cada fração de agregado na mistura, com os vazios do agregado mineral (VAM) e com os vazios da mistura (Vv). Possibilita a seleção da estrutura de agregados da mistura visando maior intertravamento dos agregados graúdos, seu uso é compatível com qualquer metodologia de dosagem: Superpave, Marshall, Hveem etc. (CUNHA, 2004).

3.1.2. Resistência Mecânica

O agregado graúdo deve resistir ao impacto e ao desgaste por atrito entre partículas. Usualmente utiliza-se a máquina de abrasão Los Angeles (ASTM C 131-06) para avaliar essas qualidades. O ensaio de abrasão Los Angeles (**Figura 7**) reproduz o impacto na amostra através da queda das esferas de aço sobre os agregados e da queda dos próprios agregados, uns sobre os outros, e simula o desgaste por meio do atrito dos agregados entre si e com as paredes do tambor, enquanto ele gira, a um determinado número de revoluções a uma velocidade que varia de 30 rpm a 33 rpm.

O valor da abrasão Los Angeles é expresso pela porcentagem, em peso, do material que passa, após o ensaio, pela peneira de malhas quadradas de 1,7 mm em relação ao que existia inicialmente nesta peneira. Os resultados podem ser influenciados pela forma das partículas. O valor de Los Angeles em muitas especificações de pavimentação é limitado no máximo a 50,0%.



Figura 7: Ensaio de desgaste por abrasão Los Angeles.

3.1.3. Massa Específica, Densidade e Absorção

- Massa específica e densidade: são dados necessários para a transformação de unidades gravimétricas em volumétricas e vice-versa. As normas utilizadas para a determinação desses parâmetros são: DNER-ME-81/94, ASTM C 127 e AASHTO T85 (para o agregado graúdo) e DNER-ME-84/94, ASTM C 128 e AASHTO T84 (para o agregado miúdo, **Figura 8**) explicados em BERNUCCI *et al.* (2007) e CAVALCANTI (2010).

A **absorção** dos agregados exerce grande efeito nos parâmetros volumétricos e influencia diretamente na quantidade de asfalto efetivo da mistura. Existem três tipos de massa específica ou densidades a serem consideradas: densidade real, densidade aparente e a densidade efetiva.



Figura 8: Ensaio de massa específica de agregados miúdos - método ASTM C 128.

Fonte: BERNUCCI *et al.* (2007).

Para determinação dos parâmetros secundários de relações volumétricas necessárias durante a dosagem de uma mistura (relação betume vazios - RBV, vazios do agregado mineral - VAM e volume de vazios) é necessária utilização correta das densidades a seguir discriminadas, reproduzidos como descrito em CAVALCANTI (2010):

- **Densidade Real, Gsa:** não inclui o volume dos poros permeáveis à água ou ao asfalto, ou seja, só admite o volume dos sólidos:

$$Gsa = \frac{A}{A - C} \quad (1)$$

onde:

A = Massa seca, em gramas

C = Massa imersa, em gramas

- **Densidade Aparente, Gsb:** inclui o volume de poros permeáveis à água e ao asfalto, ou seja, considera o material como um todo e ignora a contribuição individual dos outros componentes:

$$Gsb = \frac{A}{B - C} \quad (2)$$

onde:

A = Massa seca, em gramas

B = Massa na condição de superfície saturada seca, em gramas

C = Massa imersa, em gramas

- **Massa Específica Efetiva:** inclui o volume dos poros permeáveis à água, mas não ao asfalto. A massa específica efetiva não é diretamente calculada e em geral pode ser admitida como sendo a média entre a massa específica real e a massa específica aparente segundo PINTO (1996).

3.2. MISTURA ASFÁLTICA

3.2.1. Determinação da Densidade Máxima da Mistura (Gmm)

Este é o ensaio utilizado para determinação da densidade máxima da mistura, útil para cálculo da densidade efetiva dos agregados e dos outros parâmetros volumétricos das misturas asfálticas. O ensaio *Rice*, como é conhecido, consiste na aplicação de vácuo num kitasato contendo a mistura não compactada (solta) à temperatura de 25°C e água para expulsão de todo o ar contido no recipiente e entre partículas (**Figura 9**). A norma que descreve este ensaio é a ASTM D 2041-00.



Figura 9: Ensaio Rice de determinação da densidade máxima de misturas não compactadas.

3.2.2. Módulo de Resiliência, MR

O ensaio de Módulo de resiliência (MR) em misturas asfálticas é realizado aplicando-se uma carga repetidamente no plano diametral vertical de um corpo de prova cilíndrico regular. Esta carga gera uma tensão de tração transversalmente ao plano de aplicação da carga. Mede-se então o deslocamento diametral recuperável na direção horizontal correspondente à tensão gerada, numa dada temperatura (T).

Os corpos de prova cilíndricos são de aproximadamente 100,0 mm de diâmetro e 60,0 mm de altura, podendo ser moldados nos compactadores Marshall ou giratório, ou de 100,0 mm de diâmetro e altura entre 35,0 mm e 65,0 mm, extraídos de pista ou de amostras de maiores dimensões 150,0 mm de diâmetro e altura de 110,0 mm, no caso de corpos de prova Superpave moldados no compactador giratório.

Este procedimento para a realização do ensaio é o usual do Laboratório de Mecânica dos Pavimentos da COPPE/UFRJ. Geralmente, o módulo de resiliência de uma mistura asfáltica não é muito sensível à variação de teor de ligante. No entanto, como nesta pesquisa os teores serão variados em pequenas proporções é possível que esta situação se apresente.

3.2.3. Resistência à Tração, RT

A configuração do ensaio de resistência à tração, RT, considera a aplicação de duas forças concentradas e diametralmente opostas de compressão em um cilindro que geram, ao longo do diâmetro solicitado, tensões de tração uniformes perpendiculares a este diâmetro. Este ensaio tem sido adotado desde 1972 para a caracterização de misturas asfálticas, porém com a aplicação das forças através de frisos de carga no corpo de prova cilíndrico Marshall convencional, visto que estes apresentam superfície lateral irregular e são bem mais deformáveis.

No ensaio de resistência à compressão diametral em misturas asfálticas, a aplicação das forças se dá através de frisos metálicos de 12,5 mm de largura com curvatura adequada ao corpo de prova cilíndrico (**Figura 10**).

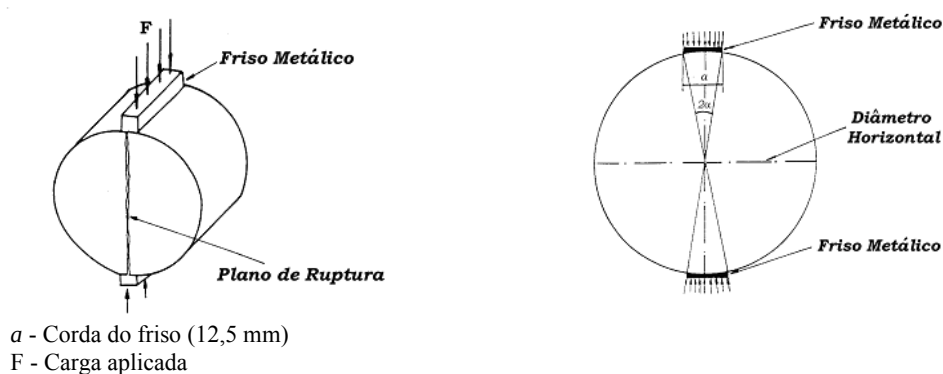


Figura 10: Esquema do ensaio de compressão diametral.

Um cilindro solicitado diametralmente por cargas concentradas de compressão gera uma tensão de tração uniforme por unidade de espessura (σ_{xx}) perpendicularmente ao diâmetro solicitado, que é dada pela expressão:

$$\sigma_{xx} = \frac{2P}{\pi D} = \frac{P}{\pi R} \quad (3)$$

onde:

σ_{xx} = tensão de tração uniforme na direção-x (positiva);

P = força aplicada por unidade de espessura do cilindro;

R = raio do cilindro;

D = diâmetro do cilindro.

3.2.4. Fadiga

A vida de fadiga de uma mistura asfáltica é definida em termos de vida de fratura (N_f) ou vida de serviço (N_s). A primeira se refere ao número total de aplicações de uma determinada carga necessária à fratura completa da amostra e a segunda (N_s) ao número total de aplicações desta mesma carga que reduza o desempenho ou a rigidez inicial da amostra a um nível pré-estabelecido.

O ensaio laboratorial de vida de fadiga tradicionalmente realizado no país para definição do número de repetições de carga admissível de uma mistura é feito por compressão diametral à tensão controlada (TC), através de equipamento pneumático. Os ensaios de fadiga à deformação controlada correspondem a revestimentos mais delgados, uma vez que nestes há maior contribuição das subcamadas na absorção das tensões solicitantes. Para a determinação da vida de fadiga, no Brasil, é utilizado o mesmo equipamento de determinação do módulo de resiliência, como mostrado na **Figura 11**.



Figura 11: Equipamento para ensaio de fadiga por compressão diametral.

Embora ainda não normalizado, o ensaio de fadiga tem sido largamente realizado no país, geralmente à compressão diametral sob tensão e temperatura controladas. Utiliza-se uma frequência de 60 aplicações por minuto com 0,1 segundo de duração do carregamento repetido (1 Hz). Para manter a temperatura controlada utiliza-se uma câmara com sistemas de aquecimento e refrigeração ligados a um termostato.

Para cada mistura ensaiada determinam-se as relações entre o número de repetições à ruptura e o nível de tensões (no caso de ensaio a tensão controlada):

$$N = k_1 \times \left(\frac{1}{\Delta\sigma} \right)^{k_2} \quad (4)$$

$$N = k_3 \times \left(\frac{1}{\varepsilon} \right)^{k_2} \quad (5)$$

onde:

N = número de repetições do carregamento necessário à ruptura completa da amostra (vida de fadiga);

$\Delta\sigma$ = diferença algébrica entre as tensões horizontal (de tração) e vertical (de compressão) no centro da amostra;

k_1 , k_2 e k_3 = constantes obtidas na regressão linear, são parâmetros de caracterização dos materiais.

Existem outras representações de modelagem dos ensaios de fadiga, mas a equação número (4) é a mais usada na COPPE, considerada coerente com o tipo de ensaio realizado: compressão diametral e tensão controlada. Esta expressão pode ser usada em dimensionamento mecanístico, adotando-se um fator campo-laboratório conveniente. Este parâmetro foi estudado pela primeira vez no Brasil intensamente por Salomão Pinto (1991).

A curva de fadiga é o parâmetro principal de um dimensionamento mecanístico, que permite prever quantos ciclos de carga determinada estrutura poderá suportar, o que será comparado com o tráfego real previsto para o segmento. De forma geral, a curva de fadiga de cada material pode ser comparada com a de outras misturas para indicar qual das misturas terá melhor comportamento em um pavimento, comparando-se estruturas iguais e analisando-se as tensões geradas com a substituição do material do revestimento em cada caso, representado pelo seu módulo de resiliência. Caso os módulos de resiliência das misturas ensaiadas a serem comparadas sejam semelhantes, é possível então uma análise imediata somente pelas curvas ou expressões numéricas da modelagem, independente das estruturas. Outro aspecto imediato de comparação entre misturas é a análise dos expoentes das expressões (4) e (5), visto que quanto maior for este expoente mais sensível à mistura será a mudanças da estrutura do pavimento e das espessuras.

3.2.5. Creep

Durante muitos anos, a deformação permanente não era considerada um dos principais defeitos das rodovias brasileiras. No entanto, a mudança do tipo de carga, o volume e o peso das cargas bem maiores do que em décadas passadas vem favorecendo com o aumento da profundidade dos afundamentos de trilha de rodas. Por esses motivos, atualmente, um dos principais mecanismos de ruptura do pavimento está associado ao fenômeno do afundamento de trilha de roda, resultante do acúmulo das deformações plásticas ou permanentes. No caso das deformações permanentes, o afundamento de trilha de roda pode ser resultante de dois somatórios: um é o das contribuições de todas as camadas do pavimento e também do subleito e o segundo resulta somente da contribuição do revestimento.

Na tentativa de quantificar, durante a dosagem de uma mistura, seu potencial para desenvolver deformações permanentes foi desenvolvido um ensaio de compressão axial, também chamado de *Creep*. Este ensaio pode ser realizado de forma estática ou dinâmica. Além disso, vários centros de pesquisa brasileiros e estrangeiros estão realizando os ensaios de compressão uniaxial em corpos de prova. Entretanto, por não existir uma norma para este ensaio o método utilizado é bastante diversificado entre laboratórios, impossibilitando a comparação de resultados.

O equipamento utilizado para a realização dos ensaios de *Creep* é o mesmo empregado na realização dos ensaios de Módulo de Resiliência e Fadiga. A **Figura 12** mostra o equipamento que foi desenvolvido na COPPE/UFRJ.



Figura 12: Equipamento para realização dos ensaios de Creep - COPPE/UFRJ.

Os ensaios de compressão axial ou *creep* são simples de serem realizados, porém o grande problema está na preparação das superfícies do CP. Para diminuir esta influência criou-se uma alternativa técnica para obtenção das deformações, onde as irregularidades das faces não produzem efeitos nas determinações, ficando a preocupação somente na distribuição do carregamento (VIANNA *et al.* 2002).

Atualmente existem duas metodologias para obtenção das deformações: uma na qual os LVDTs são colocados no topo do corpo de prova e outra, desenvolvida pela COPPE, que corresponde a fixar os LVDTs através de braçadeiras no centro dos corpos de prova. Os ensaios de compressão axial foram realizados a 40°C através da aplicação de uma carga estática, com uma tensão aplicada de 0,1 MPa (1 kgf/cm²) durante 1 hora, na seqüência o corpo de prova permanece durante 15 minutos em fase de descarregamento, a fim de verificar o retorno elástico da mistura.

4. MISTURA ASFÁLTICA

As misturas asfálticas são o produto da adição do ligante ao agregado e eventualmente modificadores para lhes conferir propriedades diferenciadas ou melhores em relação à mistura convencional. As misturas são utilizadas nas camadas de revestimento do pavimento e há vários métodos de produção e tipos de misturas. Podem ser usinadas a quente ou a frio e preparadas na própria pista ou em usinas móveis. As misturas asfálticas a quente podem ser subdivididas pela graduação dos agregados e do filer.

São destacados três tipos mais usuais nas misturas a quente:

- graduação densa: curva granulométrica contínua e bem-graduada de forma a proporcionar um esqueleto mineral com poucos vazios, visto que os agregados de dimensões menores preenchem os vazios dos maiores. Exemplo: concreto asfáltico (CA);
- graduação aberta: curva granulométrica uniforme com agregados quase exclusivamente de um mesmo tamanho, de forma a proporcionar um esqueleto mineral com muitos vazios interconectados, com insuficiência de material fino (menor que 0,075 mm) para preencher os vazios entre as partículas maiores, com o objetivo de tornar a mistura com elevado volume de vazios com ar e, portanto, drenante, possibilitando a percolação de água no interior da mistura asfáltica. Exemplo: mistura asfáltica drenante, conhecida no Brasil por camada porosa de atrito (CPA);
- graduação descontínua: curva granulométrica composta por uma maior fração de agregados graúdos britados, completados por certa quantidade de finos, de forma a ter uma curva descontínua em certas peneiras, com o objetivo de tornar o esqueleto mineral mais resistente à deformação permanente com o maior contato entre os agregados graúdos. Exemplos: SMA e *gap-graded*.

No Brasil, a mistura asfáltica mais empregada em revestimentos asfálticos de pavimentos é constituída pelos concretos asfálticos densos, sendo que suas propriedades são muito sensíveis à variação do teor de ligante asfáltico.

Uma variação positiva, às vezes dentro do admissível em usinas, pode gerar problemas de deformação permanente por fluência e/ou exsudação, com fechamento da macrotextura superficial. De outro lado, a falta de ligante gera um enfraquecimento da mistura e de sua resistência à formação de trincas, uma vez que a resistência à tração é bastante afetada e sua vida de fadiga fica muito reduzida. Uma das formas de reduzir a sensibilidade dos concretos asfálticos a pequenas variações de teor de ligante e torná-lo ainda mais resistente e durável em vias de tráfego pesado é substituir o ligante asfáltico convencional por ligante modificado por polímero ou por asfalto-borracha (BERNUCCI *et al.*, 2007).

Conforme mencionado anteriormente, neste trabalho foram avaliadas quatro misturas usinadas a quente, sendo uma mistura convencional densa (concreto asfáltico, CA ou CBUQ) e três misturas especiais (*stone matrix asphalt*, SMA, gap-graded, GG e camada porosa de atrito, CPA).

5. CONCRETO ASFÁLTICO, CA

O concreto asfáltico usinado a quente, mais conhecido como concreto betuminoso usinado a quente, CBUQ, é considerada a mistura densa convencional mais comum empregada nos pavimentos no Brasil. O CA consiste de um produto resultante da mistura a quente, em usina apropriada, de agregado mineral bem graduado, material de enchimento (filer) e cimento asfáltico, espalhado e comprimido a quente, satisfazendo determinadas exigências constantes da especificação. O volume de vazios da mistura varia de 3,0% a 5,0%, no caso de camada de rolamento (camada em contato direto com os pneus dos veículos) e de 4,0% a 6,0% para camadas intermediárias ou de ligação (camada subjacente à de rolamento).

Propriedades fundamentais das misturas de concreto asfáltico:

- durabilidade: resistência à deterioração ou desintegração pela ação do tempo ou do tráfego. Depende do tipo de agregado (duro e resistente), do teor de ligante asfáltico, de uma compactação rápida até ser alcançada a densidade final e de um teor de vazios de ar;
- resistência ao deslizamento: para se obter uma boa resistência ao deslizamento, o teor de ligante asfáltico da camada de rolamento, que está sujeita diretamente ao tráfego, deve ser tal que não haja possibilidade de exsudação do asfalto na superfície; deve conter agregados não abrasivos;
- flexibilidade: o CA deve ter maior flexibilidade quando a base não for firme, e menor no caso de base firme e resistente, evitando-se assim, problemas de fadiga sob a ação de flexões repetidas;
- estabilidade: é definida como a propriedade do CA em resistir a todos os deslocamentos permanentes sob a ação das cargas impostas pelo tráfego.

Princípios fundamentais da dosagem de um concreto asfáltico:

- **Teor de vazios da mistura compactada** - espaço vazio existente entre as partículas que estão em contato umas com as outras. O teor de vazios é expresso em % do volume total da mistura compactada e deve variar entre 3,0% e 5,0% para camadas de desgaste (revestimento), após a compactação. O valor mínimo assegura a condição de não haver afluência do asfalto à superfície, devido à expansão resultante

do aumento de temperatura. Por outro lado, a necessidade de fixar o valor máximo resulta do fato de que um valor alto de vazios pode resultar num rápido endurecimento e oxidação do asfalto, e conseqüente deterioração, quando a mistura estiver exposta às condições ambientais de tempo e uso, causando uma desintegração do asfalto.

- **Grau de compactação** - uma mistura de concreto asfáltico apresenta boa resistência quando compactada adequadamente, isto é, para que o revestimento seja estável é necessário que seja bem compactado. O aumento da energia de compactação traz como conseqüência a aproximação das partículas, reduzindo o volume de vazios de ar e aumentando o peso específico, através da diminuição de volume da mistura. Uma compactação leve faz com que a mistura fique com um teor elevado de vazios de ar e pequeno peso específico, refletindo na durabilidade e estabilidade da mistura. No campo, a compactação é obtida utilizando-se equipamento próprio, como rolos lisos e rolos de pneus, até que se atinja o grau de compactação exigido pelas especificações. O grau de compactação é obtido por comparação da densidade de campo com a de projeto no laboratório.
- **Tipo e qualidade dos materiais** - os agregados devem apresentar as seguintes características:
 - limpeza: as partículas de agregado graúdo e fino devem estar limpas, sem argila ou outro material deletério, evitando-se, também, o emprego do material fino ou pó mineral que contenha argila;
 - resistência, dureza e solidez: os agregados utilizados devem ser duros e resistentes, de modo que possam suportar a ruptura ou degradação pela ação do equipamento de compactação e, posteriormente, pela ação do tráfego e do clima;
 - forma das partículas e textura superficial: de preferência, partículas que se aproximam mais da forma cúbica e cujas texturas superficiais sejam rugosas;
 - porosidade interna das partículas do agregado: o agregado possui porosidade capilar interna que absorve parte do asfalto, isto pode proporcionar um pavimento que se comporte como se tivesse insuficiência de material asfáltico;

- propriedades hidrófobas: os agregados hidrófobos são aqueles que têm baixa afinidade para a água e boa para o asfalto, o que significa que possuem boa adesividade. Sempre que se utilizar agregados hidrófilos devem ser empregados um aditivo, melhorador de adesividade;
- granulometria e tamanho máximo das partículas: a granulometria influencia o teor de vazios da mistura compactada, a sua trabalhabilidade, a tendência de segregação, dificulta a compactação ou facilita a mesma e influi na estabilidade;
- densidade: é recomendado que se determine a granulometria e as proporções por peso para mistura dos agregados, devendo-se ajustar em correspondência as porcentagens equivalentes requeridas por volume sempre que os agregados que compoñham a mistura difiram em densidade mais de 0,2%.

5.1. MATERIAIS

Os agregados empregados no estudo das misturas densas do tipo CA são provenientes da Pedreira Santa Isabel. Na **Tabela 4** estão apresentadas as características granulométricas e as densidades dos materiais pétreos usados nesta pesquisa nas misturas densas.

Tabela 4: Características dos materiais pétreos usados nas misturas densas desta pesquisa.

Peneira	mm	Brita 1	Brita 1/2	Pedrisco	Pó de pedra	Areia artificial	Cal CH I
1"	25,0	100,0	100,00	100,0	100,0	100,0	100,0
¾"	19,0	95,5	100,00	100,0	100,0	100,0	100,0
½"	12,5	30,8	83,50	100,0	100,0	100,0	100,0
3/8"	9,5	15,3	22,60	97,9	100,0	100,0	100,0
Nº 4	4,75	4,1	1,80	18,9	97,2	92,2	100,0
Nº 10	2,00	2,6	1,10	4,1	68,1	17,2	100,0
Nº 40	0,42	2,3	1,00	3,0	45,5	5,8	98,0
Nº 80	0,18	2,1	0,90	2,5	32,5	4,6	98,0
Nº 200	0,075	1,3	0,70	1,6	17,4	3,0	98,0
Densidade real		2,793	2,803	2,804	2,834	2,834	2,450
Densidade aparente		2,747	2,752	2,724	2,820	2,820	2,450

Para produção de misturas do tipo CA foram selecionados quatro tipos de ligantes, sendo dois ligantes convencionais (CAP 30-45 e CAP 50-70) e dois ligantes modificados (um asfalto borracha, Ecoflex B, e um asfalto polímero, CAP SBS). A **Tabela 5** apresenta as principais características dos ligantes utilizados nas misturas de CA desta pesquisa.

Tabela 5: Características dos ligantes asfálticos usados nesta pesquisa nas misturas densas.

Características	Unidade	CAP 30-45	CAP 50-70	Ecoflex B	SBS
Densidade	-	1,050	1,010	1,030	1,000
Viscosidade Saybolt-Furol a 135°C	s	284	172	-	-
Viscosidade Saybolt-Furol a 150°C	s	138	81	-	-
Viscosidade Saybolt-Furol a 177°C	s	45	33	-	-
Viscosidade Brookfield a 135°C, sp3, 20rpm	cP	-	-	-	981
Viscosidade Brookfield a 145°C, sp3, 20rpm	cP	-	-	-	575
Viscosidade Brookfield a 175°C, sp3, 20rpm	cP	-	-	1.585	190
Penetração (100g, 5s e 25°C)	0,1mm	44	47	59	55
Ponto de amolecimento	°C	56	52	58	65
Recuperação elástica, 25°C	%	-	-	69	90
Estabilidade a 163°C, 5 dias, Δ Pa	-	-	-	-	0,80

5.2. DOSAGEM DE MISTURAS DENSAS

A dosagem das misturas asfálticas densas do tipo CA foi realizada empregando os métodos Marshall (Nova Dutra) e Superpave (COPPE/UFRJ), sendo que na COPPE os corpos de prova de CA foram moldados com o compactador giratório (**Figura 13**) a 125 giros para cada teor de ligante determinado na dosagem. Os CPs enviados pela Nova Dutra foram moldados com compactador Marshall a 90 golpes por face.



Figura 13: Moldagem de CPs com compactador giratório.

Foram realizadas as seguintes dosagens:

- CA, CAP 30-45 com a faixa 9,5 mm Superpave;
- CA, CAP 30-45 com a faixa 12,5 mm DNIT;
- CA, CAP 30-45 com a faixa 19,0 mm Superpave;

- CA, CAP 50-70 com a faixa 9,5 mm Superpave;
- CA, CAP 50-70 com a faixa 12,5 mm DNIT;
- CA, CAP 50-70 com a faixa 19,0 mm Superpave;
- CA, CAP com SBS Ipiranga com a faixa 9,5 mm Superpave;
- CA, CAP com SBS Ipiranga com a faixa 12,5 mm DNIT;
- CA, CAP com SBS Ipiranga com a faixa 19,0 mm Superpave;
- CA, ECOFLEX B com a faixa 9,5 mm Superpave;
- CA, ECOFLEX B com a faixa 12,5 mm DNIT;
- CA, ECOFLEX B com a faixa 19,0 mm Superpave.

A **Tabela 6** e a **Figura 14** mostram as curvas granulométricas das três misturas avaliadas nesta pesquisa: 9,5 mm Superpave, 12,5 mm DNIT e 19,0 mm Superpave.

Tabela 6: Curvas granulométricas das misturas de CA avaliadas nesta pesquisa.

Peneiras		Curvas granulométricas (% passante)		
#	mm	9,5 mm	12,5 mm	19,0 mm
3/4"	19,0	100,0	100,0	98,0
1/2"	12,5	100,0	95,9	73,9
3/8"	9,5	99,2	80,0	68,9
Nº 4	4,75	64,9	49,4	44,5
Nº 10	2,00	38,2	27,5	22,5
Nº 40	0,42	21,0	18,4	14,8
Nº 80	0,18	15,0	13,8	11,1
Nº 200	0,075	9,3	8,1	6,6

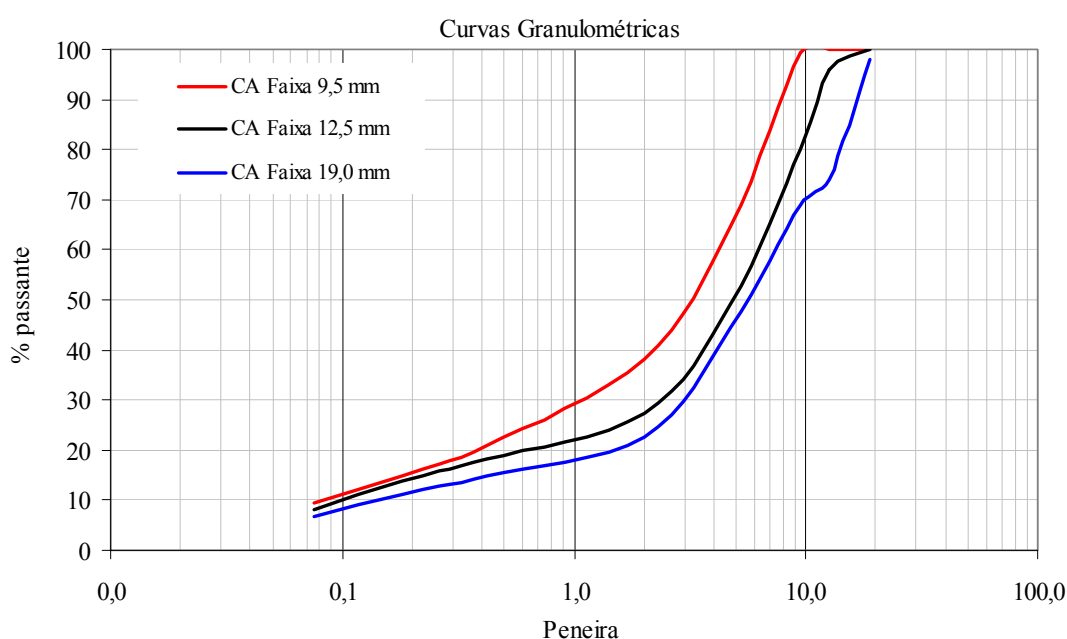


Figura 14: Curvas granulométricas das misturas de CA avaliadas nesta pesquisa.

As temperaturas de mistura e de compactação foram obtidas das curvas de viscosidade x temperatura para cada ligante asfáltico. Na **Tabela 7** são apresentadas as temperaturas de mistura, de compactação e dos agregados e as densidades de cada ligante asfáltico.

Tabela 7: Temperaturas dos agregados, de mistura e compactação e densidades dos ligantes.

Ligante	Temperatura dos agregados (°C)	Temperatura de mistura (°C)	Temperatura de compactação (°C)	Densidade
CAP 30-45	165	152 (149 a 155)	146 (144 a 148)	1,050
CAP 50-70	164	151 (148 a 154)	139 (137 a 141)	1,010
SBS Ipiranga	175*	162*	152*	1,010
ECOFLEX B	185*	175*	170*	1,030

*temperatura recomendada pelo fabricante.

Após a moldagem dos corpos de prova foram determinados os parâmetros volumétricos (Vv, VAM, RBV, massa específica aparente e massa específica máxima) e mecânicos de cada corpo de prova, CP (resistência à tração, RT, e módulo de resiliência, MR). A partir desses resultados foram elaborados gráficos mostrando a variação da porcentagem de Vv, VAM, RBV, MR e RT versus o teor de ligante asfáltico. O teor de ligante asfáltico de projeto foi estabelecido para um volume de vazios de 4,0%.

5.3. RESUMO DAS DOSAGENS

Na **Tabela 8** é apresentado um resumo dos teores de projeto das misturas estudadas e no **ANEXO 1** estão apresentadas todas as dosagens realizadas, assim como os resultados dos ensaios mecânicos.

Tabela 8: Resumo dos teores de ligante de projeto das misturas estudadas nesta pesquisa.

Tipo de Mistura	Tipo de Ligante	Granulometria	Teor de Projeto (%)	
			Nova Dutra	COPPE
CA	CAP 30-45 - REVAP	9,5 mm SUPERPAVE	5,60	5,60
		12,5 mm DNIT	4,90	4,45
		19,0 mm SUPERPAVE	4,60	4,60
	CAP 50-70 - REVAP	9,5 mm Superpave	4,80	5,10
		12,5 mm DNIT	4,20	4,20
		19,0 mm SUPERPAVE	4,50	4,50
	CAP SBS-IPIRANGA	9,5 mm SUPERPAVE	5,20	5,20
		12,5 mm DNIT	4,70	4,70
		19,0 mm SUPERPAVE	4,10	4,10
	ECOFLEX B - GRECA	9,5 mm SUPERPAVE	5,90	5,90
		12,5 mm DNIT	5,30	5,30
		19,0 mm SUPERPAVE	4,70	4,70

Depois de definido o teor de projeto da mistura, a massa asfáltica para moldar os corpos de prova para avaliação mecânica foi produzida em batelada empregando um misturador francês BBMAX 80 (**Figura 15**), que apresenta a vantagem de fornecer grande quantidade de mistura com bom envolvimento dos agregados pelo ligante.



Figura 15: Misturador francês usado para produzir as misturas em batelada.

A mistura foi produzida a temperatura determinada previamente, conforme temperatura de mistura apresentada na **Tabela 7**, durante um tempo de 2 minutos. Após a produção da batelada foi feita a separação da massa em porções de cerca de 1200,0 gramas cada para moldar os corpos de prova, sendo que a massa de cada corpo de prova foi colocada em embalagem de alumínio. Em seguida, as embalagens com a massa asfáltica foram condicionadas em estufa à temperatura de compactação durante duas horas. Após esse período, os corpos de prova foram moldados com o compactador giratório, empregando 125 giros.

5.4. RESULTADOS DOS ENSAIOS VOLUMÉTRICOS E MECÂNICOS

A **Tabela 9** apresenta os teores de ligante de cada mistura analisada, em função da faixa granulométrica e do tipo de ligante empregado. Um resumo dos resultados dos ensaios volumétricos e mecânicos (MR, RT, *creep* e fadiga) é apresentado na **Tabela 10** e os resultados detalhados são apresentados no **ANEXO 1**, divididos em função do tipo de ligante, da granulometria e do tipo da energia de compactação utilizada para a confecção dos corpos de prova. Como o objetivo da pesquisa é o estudo comparativo do comportamento de fadiga de misturas betuminosas com diferentes teores de asfalto, os resultados e a análise da vida de fadiga são apresentados em um item separado a seguir.

Tabela 9: Teores de ligante das misturas estudadas nesta pesquisa.

Faixa	Ligante	CAP 30-45	CAP 50-70	CAP SBS	ECOFLEX B
	Teor de ligante				
9,5 mm SUPERPAVE	-0,50%	5,10	4,30	4,70	5,40
	-0,25%	5,35	4,55	4,95	5,65
	Teor de Projeto Nova Dutra	5,60	4,80	5,20	5,90
	+0,25%	5,85	5,05	5,45	6,15
	+0,50%	6,10	5,30	5,70	6,40
	Teor de Projeto COPPE	5,60	5,10	5,20	5,90
12,5 mm DNIT	-0,50%	4,40	3,70	4,20	4,80
	-0,25%	4,65	3,95	4,45	5,05
	Teor de Projeto Nova Dutra	4,90	4,20	4,70	5,30
	+0,25%	5,15	4,45	4,95	5,55
	+0,50%	5,40	4,70	5,20	5,80
	Teor de Projeto COPPE	4,45	4,20	4,70	5,30
19,0 mm SUPERPAVE	-0,50%	4,10	4,00	3,60	4,20
	-0,25%	4,35	4,25	3,85	4,45
	Teor de Projeto Nova Dutra	4,60	4,50	4,10	4,70
	+0,25%	4,85	4,75	4,35	4,95
	+0,50%	5,10	5,00	4,60	5,20
	Teor de Projeto COPPE	4,60	4,50	4,10	4,70

Tabela 10: Resumo dos resultados dos ensaios volumétricos e mecânicos das misturas estudadas.

Ligante	Faixa	Teor de ligante	Teor de ligante (%)	Gmm	MEA (g/cm³)	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)	MR (MPa)	RT (MPa)	Creep (%)	Fadiga	
													N	N
CAP 30-45	9,5 mm	-0,50%	5,10	2,569	2,465	4,05	12,21	16,25	75,09	8.867	1,95	0,17	4.317	2.387
		-0,25%	5,35	2,560	2,456	4,06	12,76	16,82	75,85	8.606	1,78	0,22	6.719	3.184
		T.Proj. NDutra	5,60	2,550	2,491	2,31	13,54	15,86	85,41	8.239	2,08	0,15	11.437	5.541
		+0,25%	5,85	2,540	2,488	2,05	14,13	16,18	87,35	7.244	1,87	0,23	7.324	4.013
		+0,50%	6,10	2,531	2,486	1,78	14,72	16,50	89,23	7.085	2,06	0,28	7.538	3.741
		T.Proj. COPPE	5,60	2,559	2,498	2,38	13,58	15,97	85,07	7.889	1,92	0,21	9.540	5.052
	12,5 mm	-0,50%	4,40	2,606	2,448	6,06	10,46	16,52	63,30	11.306	1,67	0,25	4.768	2.267
		-0,25%	4,65	2,596	2,437	6,12	11,00	17,13	64,24	7.481	1,74	0,28	7.624	4.134
		T.Proj. NDutra	4,90	2,586	2,482	4,02	11,81	15,83	74,59	8.240	2,10	0,28	25.616	12.159
		+0,25%	5,15	2,576	2,502	2,87	12,51	15,38	81,33	8.537	2,01	0,21	12.054	6.005
		+0,50%	5,40	2,566	2,510	2,18	13,16	15,34	85,77	8.157	1,84	0,17	21.553	10.698
		T.Proj. COPPE	4,45	2,606	2,475	5,03	10,69	15,72	68,02	10.318	1,71	0,18	20.122	12.145
	19,0 mm	-0,50%	4,10	2,617	2,480	5,24	9,87	15,11	65,35	9.526	1,81	0,18	3.295	1.678
		-0,25%	4,35	2,607	2,485	4,68	10,49	15,17	69,16	9.763	1,69	0,24	7.772	4.154
		T.Proj. NDutra	4,60	2,597	2,499	3,77	11,16	14,93	74,73	9.117	1,98	0,23	5.623	2.974
		+0,25%	4,85	2,587	2,514	2,82	11,84	14,66	80,75	8.558	1,78	0,28	5.449	2.755
		+0,50%	5,10	2,577	2,514	2,44	12,45	14,89	83,58	8.092	1,91	0,27	8.146	3.773
		T.Proj. COPPE	4,60	2,606	2,490	4,45	11,12	15,57	71,41	10.084	1,83	0,09	4.815	1.151
CAP 50-70	9,5 mm	-0,50%	4,30	2,591	2,424	6,45	10,12	16,56	61,09	6.103	1,46	0,20	5.293	3.118
		-0,25%	4,55	2,580	2,447	5,16	10,81	15,96	67,71	7.755	1,63	0,21	5.976	3.126
		T.Proj. NDutra	4,80	2,570	2,475	3,70	11,53	15,23	75,73	7.062	1,78	0,21	16.030	7.540
		+0,25%	5,05	2,560	2,471	3,48	12,12	15,59	77,70	7.721	1,91	0,31	20.398	9.931
		+0,50%	5,30	2,549	2,465	3,30	12,68	15,98	79,38	6.714	1,77	0,19	18.087	9.771
		T.Proj. COPPE	5,10	2,566	2,491	2,92	12,33	15,26	80,84	7.062	1,89	0,21	19.642	13.153
	12,5 mm	-0,50%	3,70	2,611	2,443	6,43	8,78	15,21	57,70	6.873	1,53	0,19	5.347	2.901
		-0,25%	3,95	2,601	2,468	5,11	9,46	14,58	64,92	7.337	1,49	0,23	13.596	5.994
		T.Proj. NDutra	4,20	2,591	2,467	4,79	10,06	14,85	67,76	6.945	1,67	0,12	15.198	7.067
		+0,25%	4,45	2,581	2,472	4,22	10,68	14,90	71,66	7.354	1,67	0,16	17.723	9.286
		+0,50%	4,70	2,571	2,482	3,46	11,33	14,79	76,59	8.038	1,78	0,21	7.957	3.687
		T.Proj. COPPE	4,20	2,604	2,460	5,53	10,03	15,56	64,46	7.418	1,64	0,17	8.367	5.681
	19,0 mm	-0,50%	4,00	2,603	2,473	4,99	9,60	14,60	65,79	6.924	1,27	0,22	2.096	1.137
		-0,25%	4,25	2,592	2,482	4,24	10,24	14,49	70,70	7.925	1,32	0,17	2.755	1.431
		T.Proj. NDutra	4,50	2,582	2,475	4,14	10,81	14,96	72,29	7.607	1,30	0,19	3.569	1.820
		+0,25%	4,75	2,571	2,480	3,54	11,44	14,98	76,37	6.209	1,22	0,11	4.375	2.392
		+0,50%	5,00	2,561	2,485	2,97	12,06	15,03	80,26	7.308	1,24	0,12	3.428	1.665
		T.Proj. COPPE	4,50	2,582	2,509	2,83	10,96	13,79	79,50	11.583	1,70	0,00	15.342	6.700
CAP SBS	9,5 mm	-0,50%	4,70	2,597	2,440	6,05	11,13	17,18	64,81	4.699	1,57	0,18	17.833	11.704
		-0,25%	4,95	2,587	2,474	4,37	11,89	16,26	73,13	5.505	1,79	0,07	22.808	20.980
		T.Proj. NDutra	5,20	2,577	2,467	4,27	12,45	16,72	74,48	4.539	1,62	0,20	14.215	9.687
		+0,25%	5,45	2,568	2,475	3,62	13,10	16,72	78,34	4.487	1,37	0,17	22.109	14.201
		+0,50%	5,70	2,558	2,478	3,13	13,71	16,84	81,43	3.895	1,60	0,15	20.989	18.056
		T.Proj. COPPE	5,20	2,577	2,460	4,54	12,42	16,96	73,23	3.897	1,39	0,08	10.717	8.504
	12,5 mm	-0,50%	4,20	2,595	2,461	5,16	10,04	15,20	66,03	4.939	1,45	0,18	10.708	7.108
		-0,25%	4,45	2,584	2,472	4,33	10,68	15,01	71,13	5.193	1,55	0,12	19.387	10.248
		T.Proj. NDutra	4,70	2,573	2,479	3,65	11,31	14,97	75,59	5.213	1,46	0,16	8.107	5.401
		+0,25%	4,95	2,563	2,490	2,85	11,97	14,81	80,77	5.428	1,56	0,21	20.463	11.808
		+0,50%	5,20	2,552	2,499	2,08	12,62	14,69	85,87	4.764	1,51	0,25	19.198	11.721
		T.Proj. COPPE	4,70	2,590	2,487	3,98	11,35	15,33	74,05	3.910	1,36	0,06	11.707	9.114
	19,0 mm	-0,50%	3,60	2,652	2,447	7,73	8,55	16,28	52,53	6.015	1,29	0,13	13.192	7.257
		-0,25%	3,85	2,634	2,465	6,42	9,21	15,63	58,95	5.063	1,42	0,13	10.445	6.901
		T.Proj. NDutra	4,10	2,617	2,482	5,16	9,88	15,04	65,70	5.467	1,58	0,12	14.064	8.395
		+0,25%	4,35	2,600	2,499	3,88	10,55	14,44	73,10	5.225	1,60	0,12	18.855	11.502
		+0,50%	4,60	2,583	2,497	3,33	11,15	14,48	77,01	4.673	1,56	0,14	19.027	12.643
		T.Proj. COPPE	4,10	2,616	2,487	4,93	9,90	14,83	66,75	5.476	1,54	0,07	9.017	5.113
ECOFLEX B	9,5 mm	-0,50%	5,40	2,570	2,399	6,65	12,58	19,23	65,40	5.115	1,16	0,23	16.562	8.178
		-0,25%	5,65	2,560	2,418	5,55	13,26	18,81	70,51	5.979	1,41	0,13	26.574	13.611
		T.Proj. NDutra	5,90	2,550	2,403	5,76	13,76	19,53	70,48	4.934	1,36	0,22	17.362	11.020
		+0,25%	6,15	2,540	2,404	5,35	14,35	19,71	72,83	4.798	1,42	0,19	34.408	23.601
		+0,50%	6,40	2,531	2,446	3,36	15,20	18,56	81,90	4.937	1,40	0,23	41.708	24.056
		T.Proj. COPPE	5,90	2,550	2,447	4,04	14,02	18,06	77,63	4.764	1,47	0,16	37.736	25.592
	12,5 mm	-0,50%	4,80	2,575	2,401	6,76	11,19	17,95	62,35	4.095	1,10	0,10	9.409	7.029
		-0,25%	5,05	2,564	2,414	5,85	11,84	17,69	66,92	4.937	1,33	0,15	29.012	16.674
		T.Proj. NDutra	5,30	2,554	2,460	3,68	12,66	16,34	77,47	4.585	1,44	0,15	31.650	19.822
		+0,25%	5,55	2,543	2,440	4,05	13,15	17,20	76,45	4.982	1,50	0,08	23.634	14.534
		+0,50%	5,80	2,533	2,467	2,61	13,89	16,50	84,21	4.160	1,48	0,13	26.550	18.964
		T.Proj. COPPE	5,30	2,575	2,473	3,96	12,73	16,69	76,26	4.547	1,53	0,09	31.797	28.943
	19,0 mm	-0,50%	4,20	2,606	2,415	7,33	9,85	17,18	57,33	6.048	1,36	0,22	6.885	3.599
		-0,25%	4,45	2,595	2,429	6,40	10,49	16,89	62,13	5.723	1,33	0,14	18.394	9.271
		T.Proj. NDutra	4,70	2,582	2,439	5,54	11,13	16,67	66,77	6.244	1,29	0,11	20.403	10.523
		+0,25%	4,95	2,574	2,420	5,98	11,63	17,61	66,03	7.414	1,34	0,16	15.163	6.798
		+0,50%	5,20	2,564	2,434	5,07	12,29	17,36	70,79	6.326	1,53	0,32	16.216	7.565
		T.Proj. COPPE	4,70	2,596	2,479	4,51	11,31	15,82	71,51	2.978	1,71	0,03	28.914	26.289

5.4.1. Vazios do Agregado Mineral - VAM

As **Figuras 16 a 18** mostram a variação do VAM em função do tipo e teor de ligante e a **Figura 19** apresenta a variação do VAM em função do tipo e teor de ligante de todas as misturas analisadas. Para misturas densas os valores mínimos de VAM variam de acordo com o tamanho máximo nominal, TMN, segundo a AASHTO M 323-07:

TMN = 9,5 mm $\Rightarrow$ VAM_{mínimo} = 15,0%

TMN = 12,5 mm $\Rightarrow$ VAM_{mínimo} = 14,0%

TMN = 19,0 mm $\Rightarrow$ VAM_{mínimo} = 13,0%

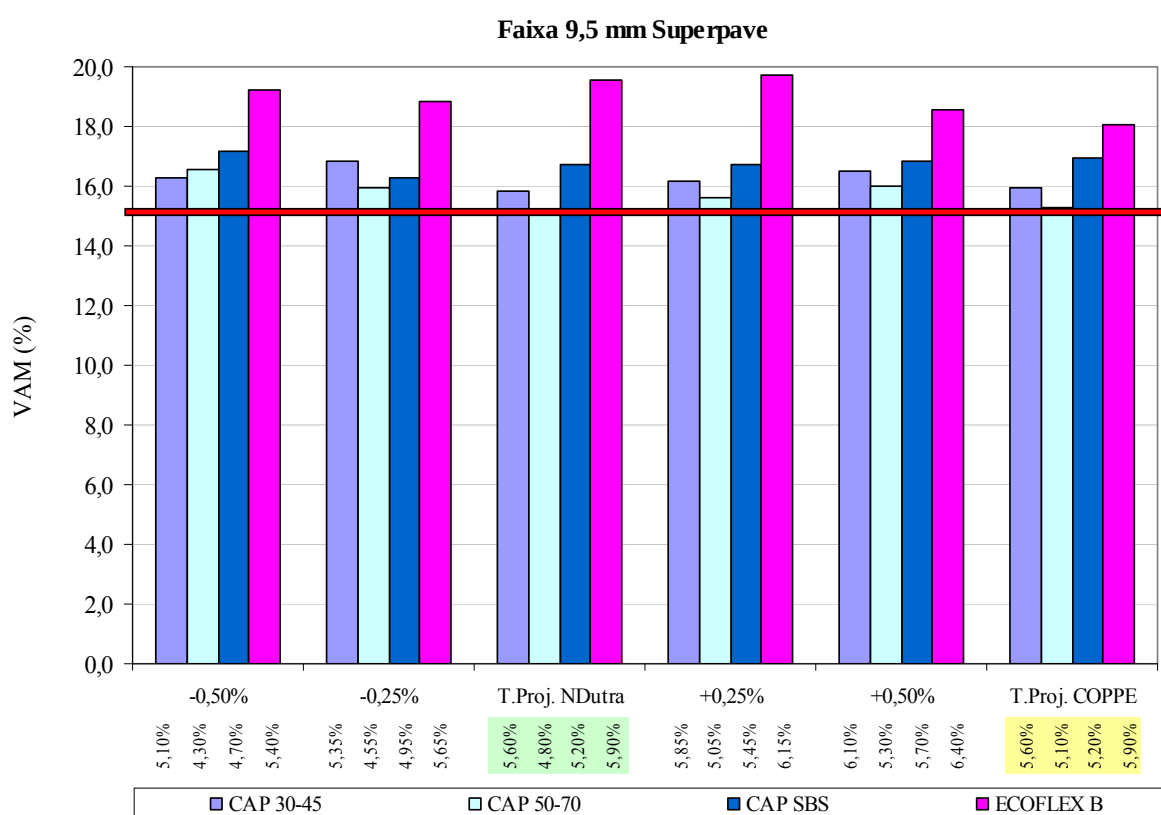


Figura 16: Variação do VAM em função do tipo e teor de ligante - Faixa 9,5 mm Superpave.

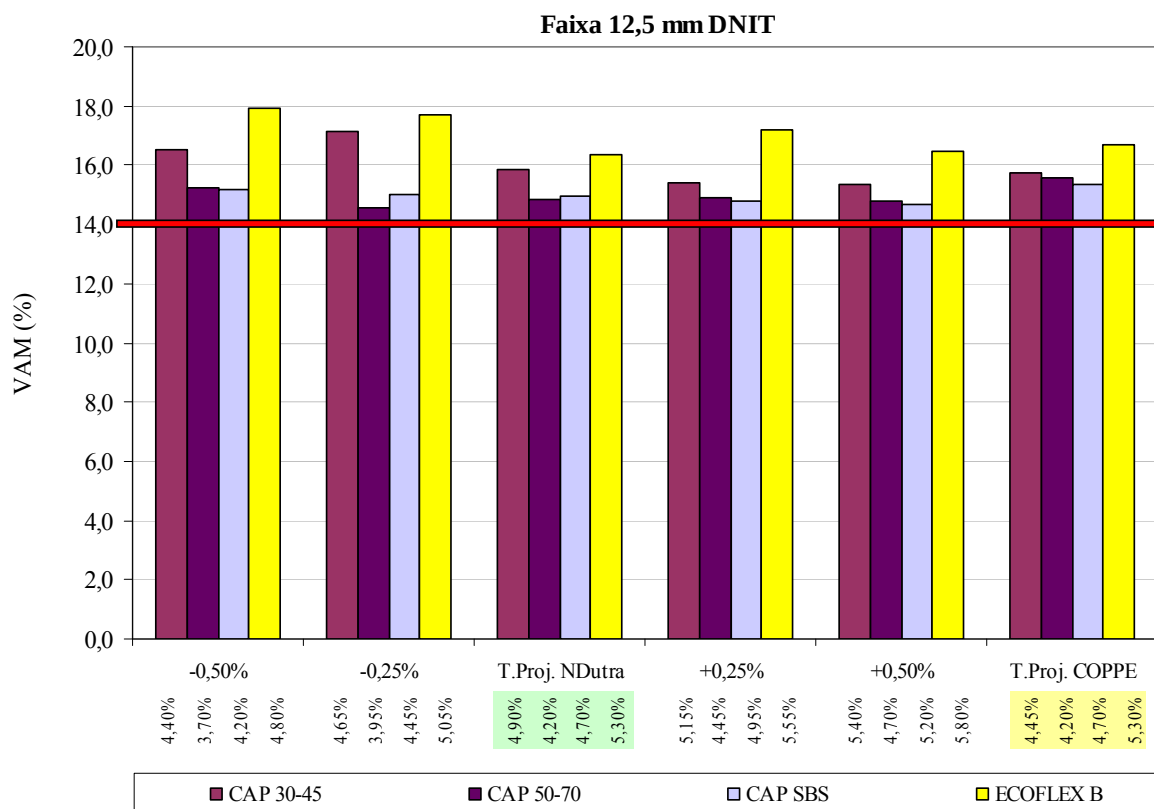


Figura 17: Variação do VAM em função do tipo e teor de ligante - Faixa 12,5 mm DNIT.

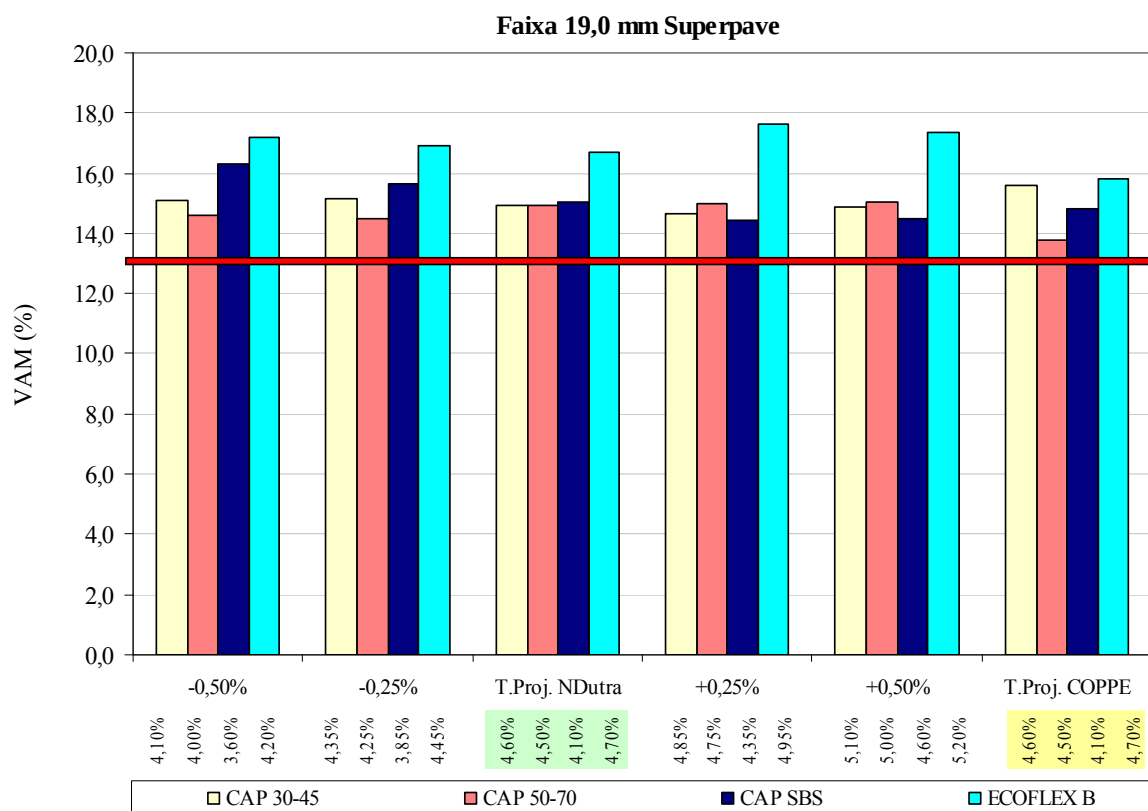


Figura 18: Variação do VAM em função do tipo e teor de ligante - Faixa 19,0 mm Superpave.

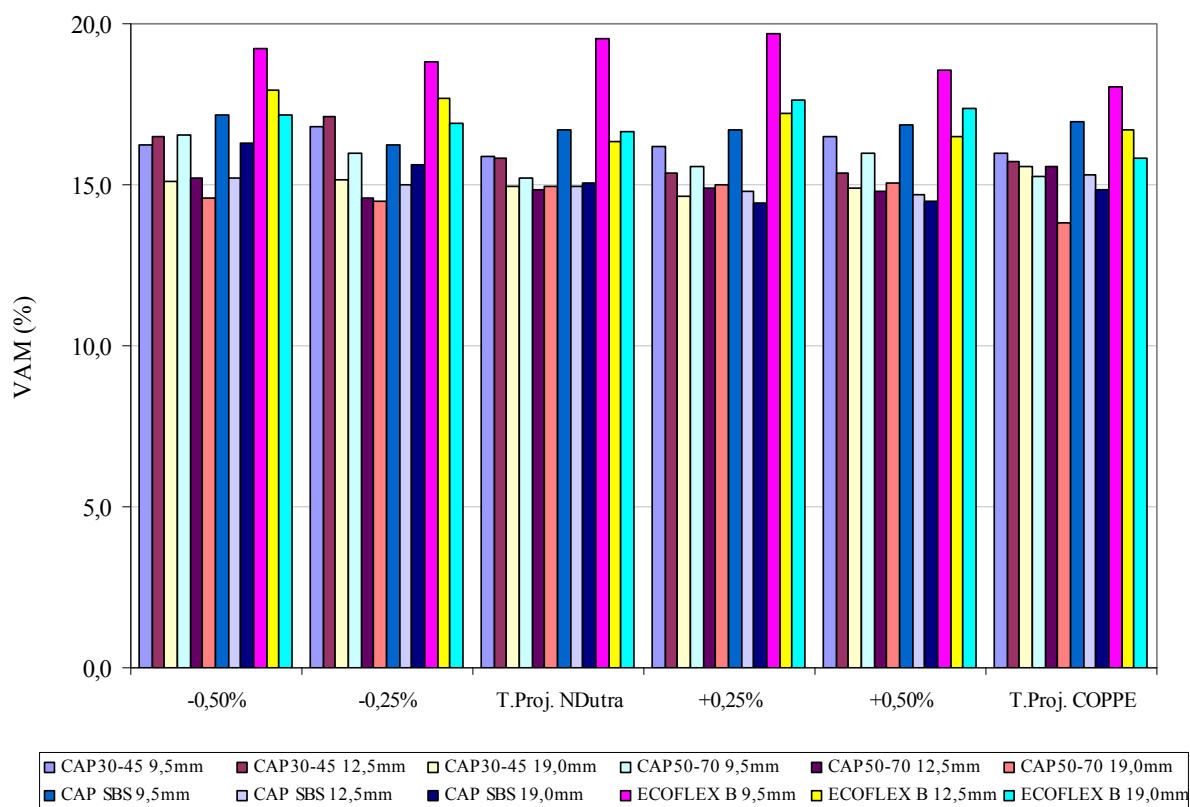


Figura 19: Variação do VAM em função do tipo e teor de ligante de todas as misturas analisadas.

Pode-se verificar que todas as misturas apresentaram valores de VAM dentro dos limites da especificação AASHTO M 323-07 de misturas densas.

5.4.2. Relação Betume-Vazios - RBV

As **Figuras 20 a 23** mostram a variação do RBV em função do tipo e teor de ligante. A especificação AASHTO M 323-07 determina que o RBV deve estar entre 65,0% e 75,0%.

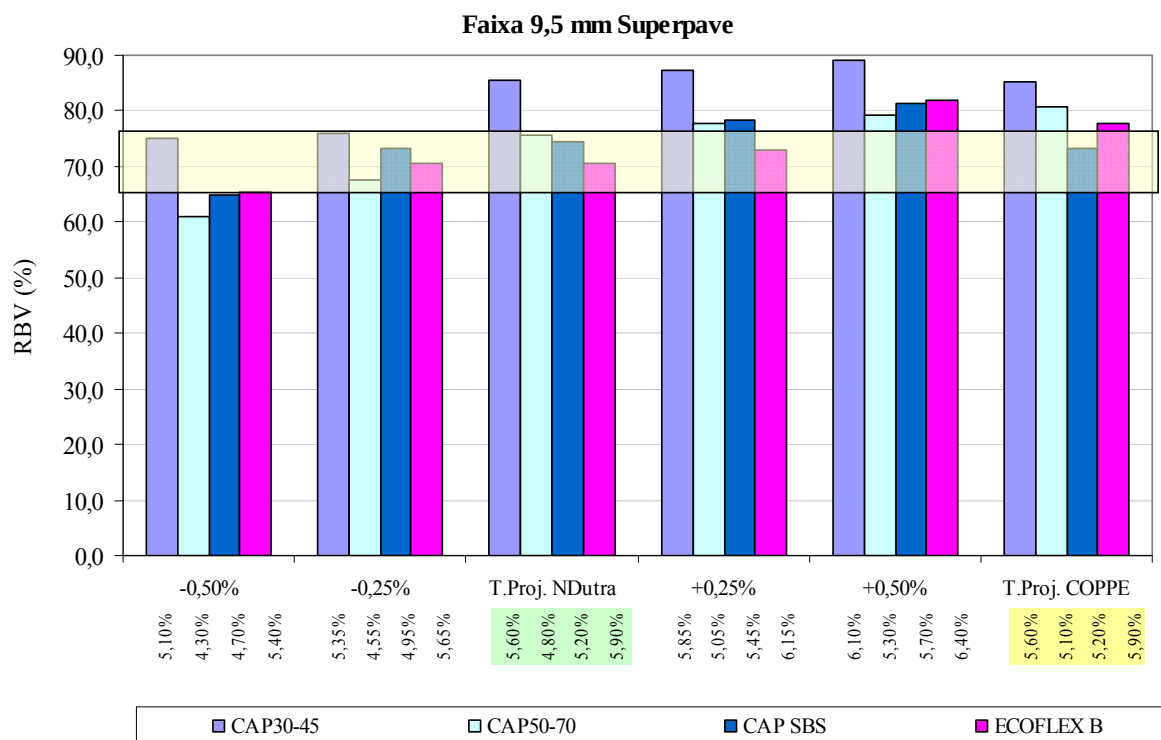


Figura 20: Variação do RBV em função do tipo e teor de ligante - Faixa 9,5 mm Superpave.

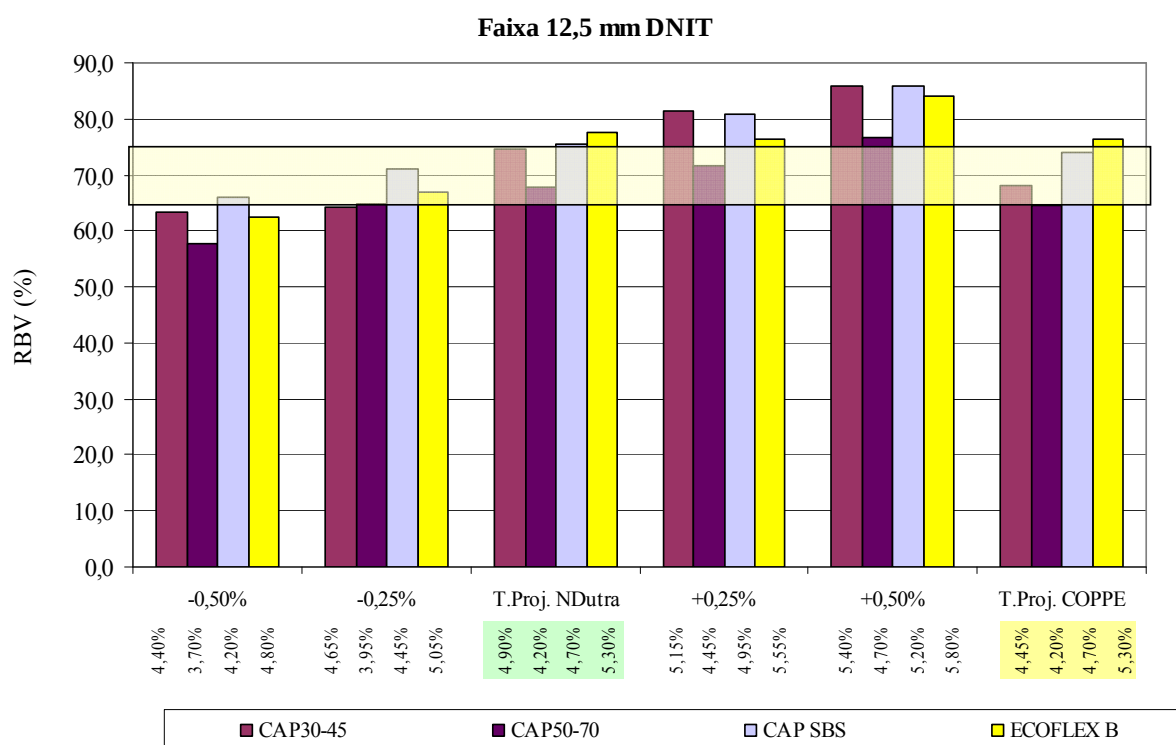


Figura 21: Variação do RBV em função do tipo e teor de ligante - Faixa 12,5 mm DNIT.

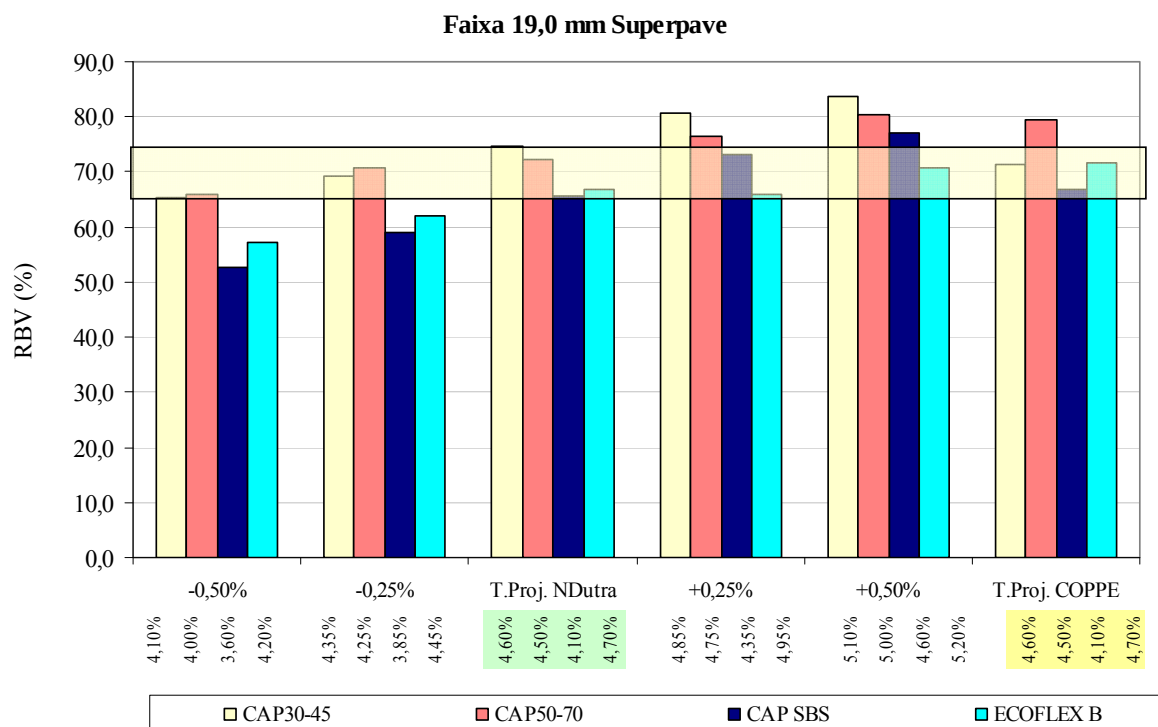


Figura 22: Variação do RBV em função do tipo e teor de ligante - Faixa 19,0 mm Superpave.

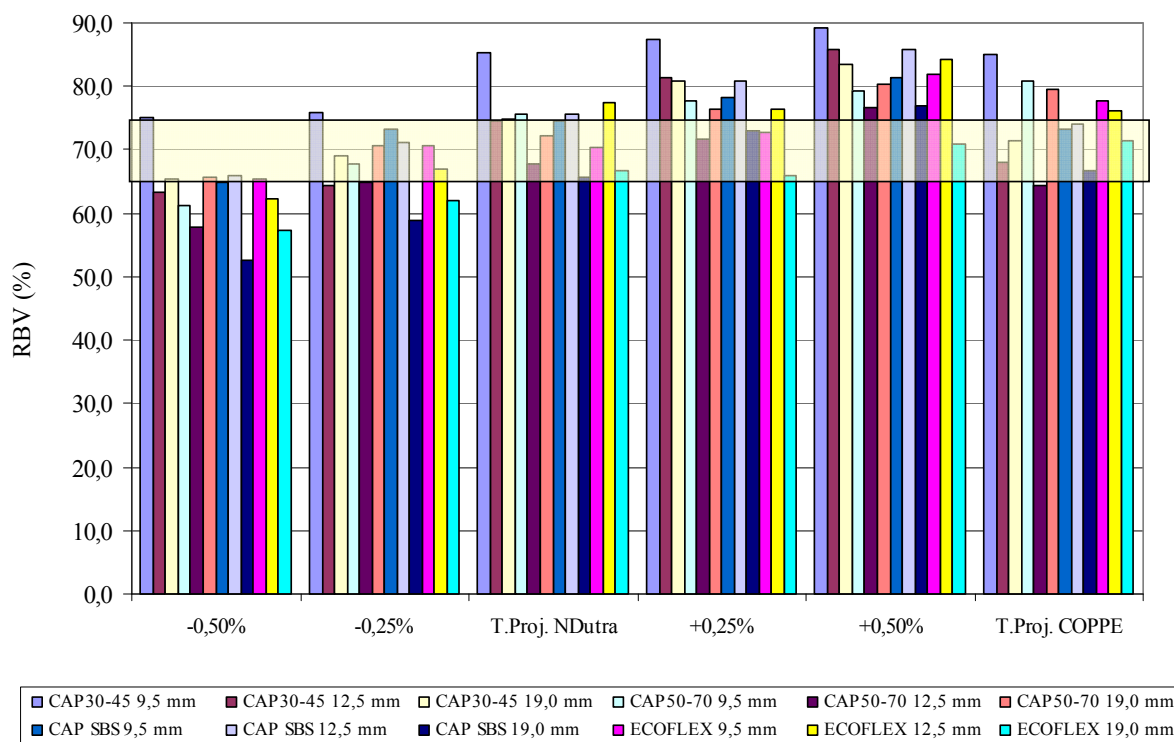


Figura 23: Variação do RBV em função do tipo e teor de ligante.

Os resultados apresentados na **Tabela 10** e nas **Figuras 19 a 22** mostram que a maioria das misturas moldadas nos teores de projeto, tanto com compactador Marshall (9 misturas) quanto com o compactador giratório (6 misturas), atenderam os valores de RBV (de 65,0% a 75,0%).

5.4.3. Módulo de Resiliência - MR

As **Figuras 24 a 27** mostram a variação do módulo de resiliência, MR, em função do tipo e teor de ligante das misturas densas analisadas nesta pesquisa.

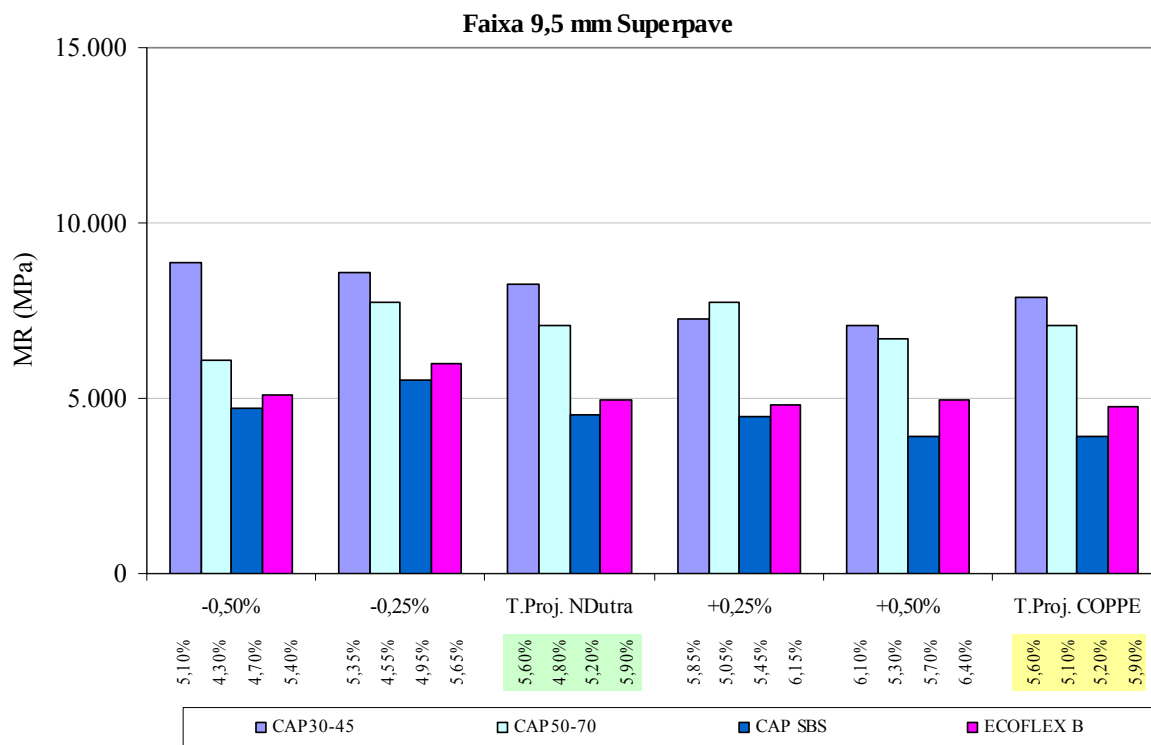


Figura 24: Variação do MR em função do tipo e teor de ligante - Faixa 9,5 mm Superpave.

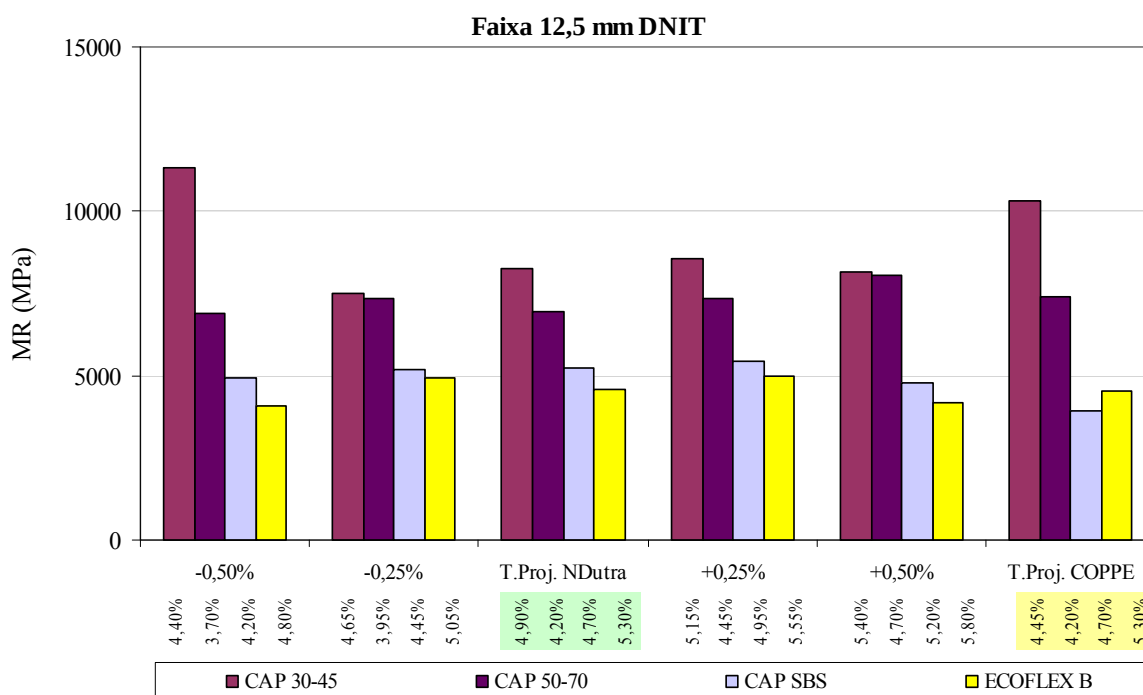


Figura 25: Variação do MR em função do tipo e teor de ligante - Faixa 12,5 mm DNIT.

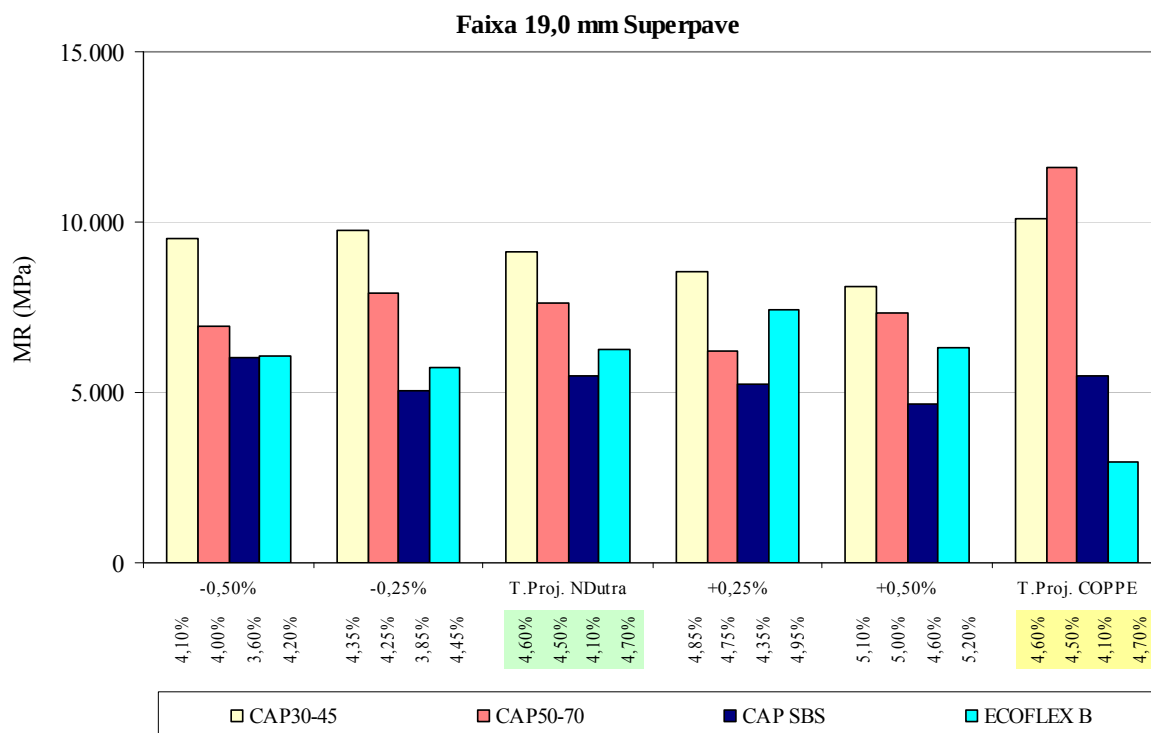


Figura 26: Variação do MR em função do tipo e teor de ligante - Faixa 19,0 mm Superpave.

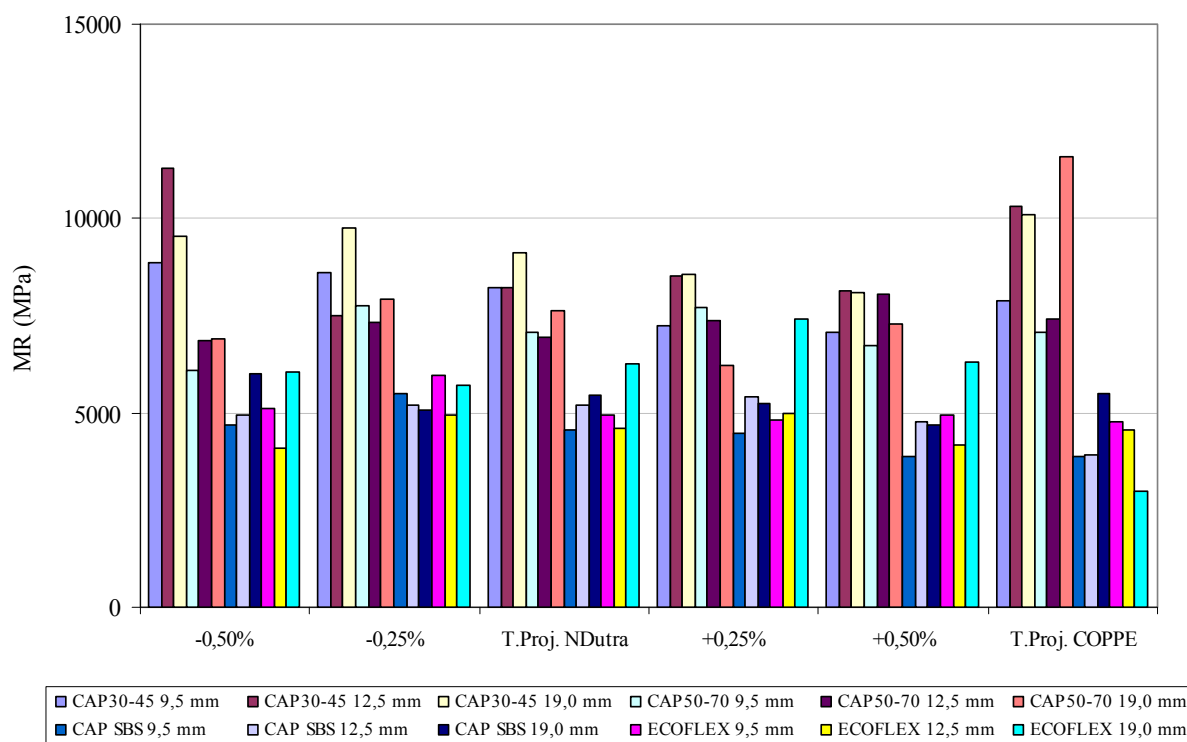


Figura 27 Variação do MR em função do tipo e teor de ligante de todas as misturas analisadas.

O ensaio de MR não tem “valor ideal”, nem mínimo ou máximo isoladamente. Somente a partir da análise estrutural do pavimento em questão (conjunto das camadas com seus respectivos MR e espessuras) é possível analisar a adequação deste parâmetro, como será visto mais adiante.

5.4.4. Resistência à Tração - RT

As **Figuras 28 a 30** mostram a variação da resistência à tração, RT, em função do tipo e teor de ligante das misturas densas de cada faixa granulométrica e a **Figura 31** apresenta a variação da RT em função do tipo e teor de ligante das misturas analisadas.

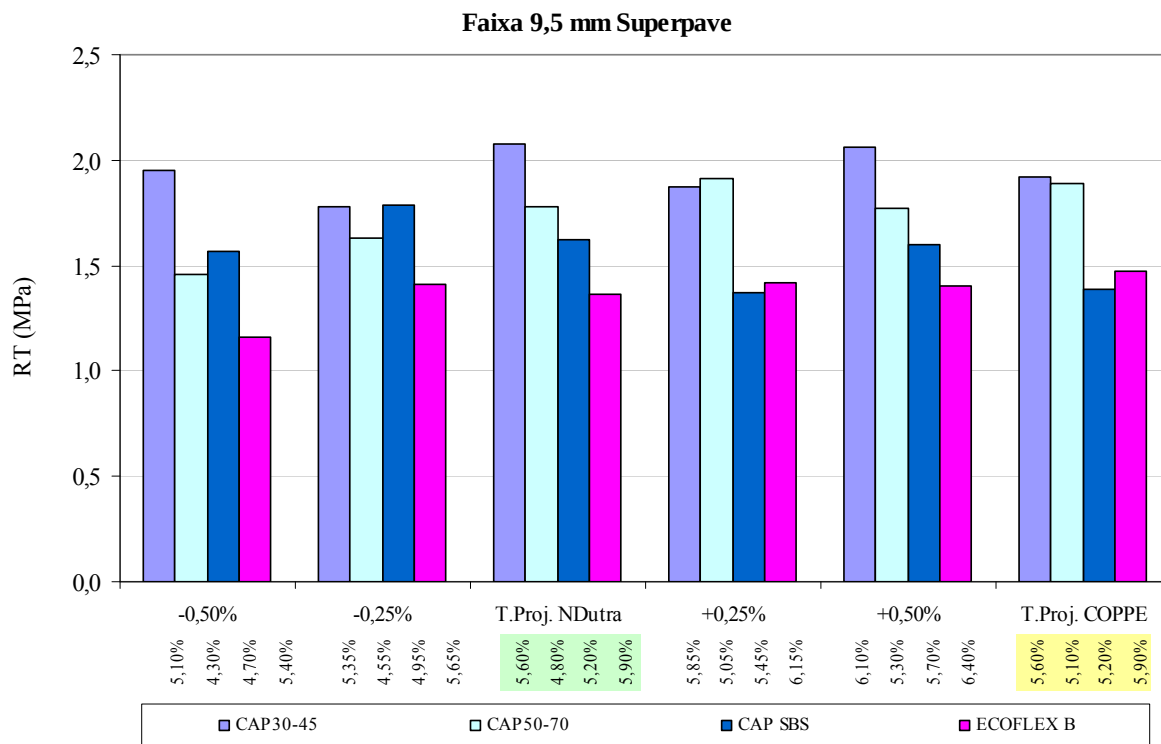


Figura 28: Variação da RT em função do tipo e teor de ligante - Faixa 9,5 mm Superpave.

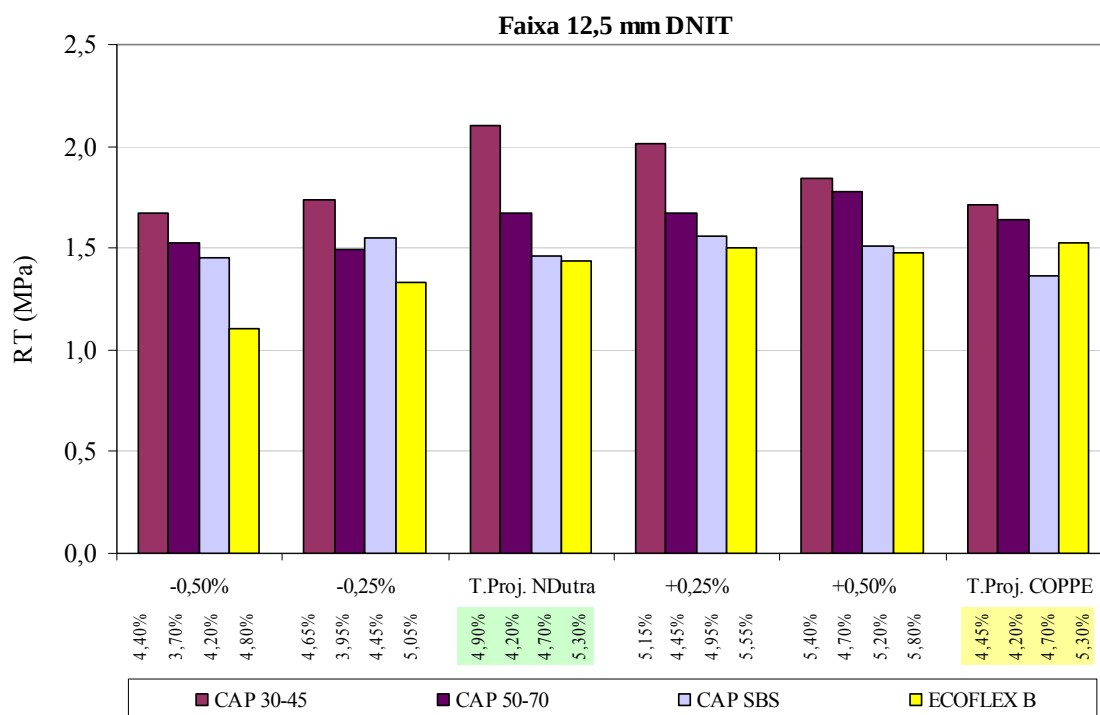


Figura 29: Variação da RT em função do tipo e teor de ligante - Faixa 12,5 mm DNIT.

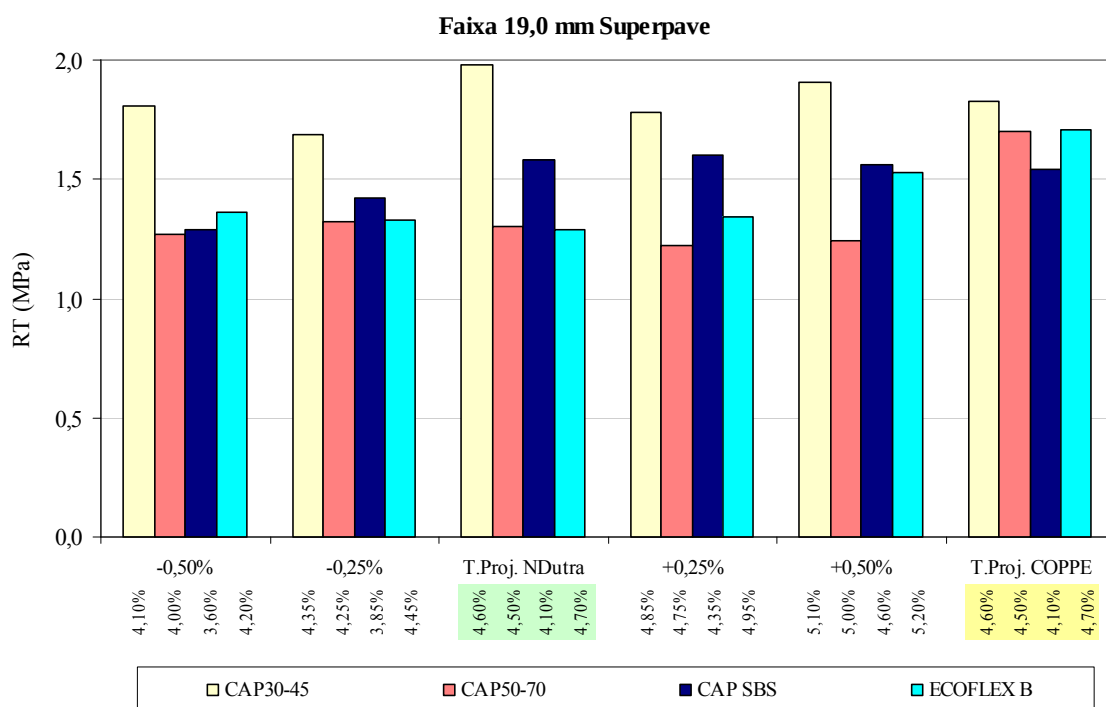


Figura 30: Variação da RT em função do tipo e teor de ligante - Faixa 19,0 mm Superpave.

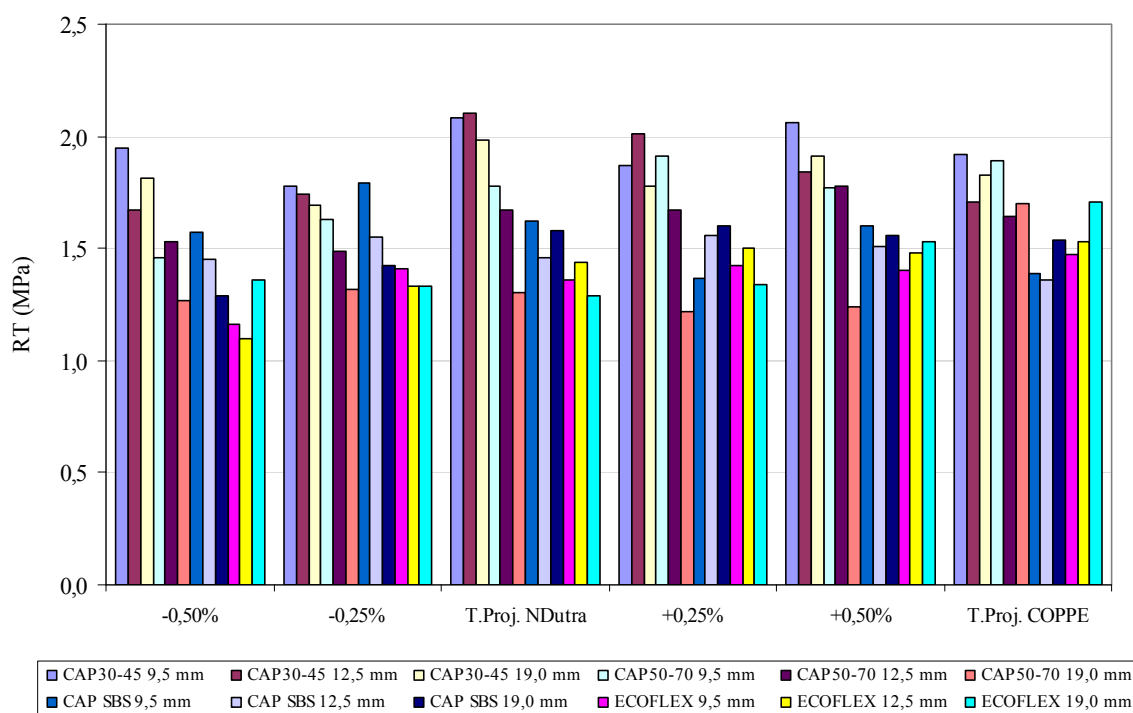


Figura 31: Variação da RT em função do tipo e teor de ligante de todas as misturas analisadas.

Pode-se verificar que todas as misturas atenderam o valor de RT mínimo do DNIT (de 0,65 MPa), sendo que as misturas com CAP 30-45 apresentaram os maiores valores de RT e os menores valores foram apresentados pelas misturas com ligantes modificados. No entanto, vale ressaltar que este valor do DNIT pode não ser o adequado para analisar todas as misturas, pois não separa teor de projeto (ótimo) de outros teores.

5.4.5. Creep Estático

A **Figura 32** apresenta a variação do *creep* em função do tipo e teor de ligante de todas as misturas analisadas e as **Figuras 33 a 35** mostram a variação do *creep* em função do tipo e teor de ligante das misturas densas de cada faixa granulométrica. O ensaio de *creep* estático ainda não dispõe de especificações, o que implica na inexistência de limites ou parâmetros de avaliação. Por esse motivo, foi considerado como parâmetro o ensaio de deformação permanente realizado pelo simulador de tráfego do LCPC, onde o limite máximo especificado para rodovias de tráfego pesado é de 5,0% de deformação. Considerando que esse ensaio é realizado a 60°C e o ensaio de *creep* é realizado a 40°C, foi realizada uma “correlação”, em que foi adotado o valor de 3,0% como um “possível limite máximo” de deformação para o ensaio de *creep* estático.

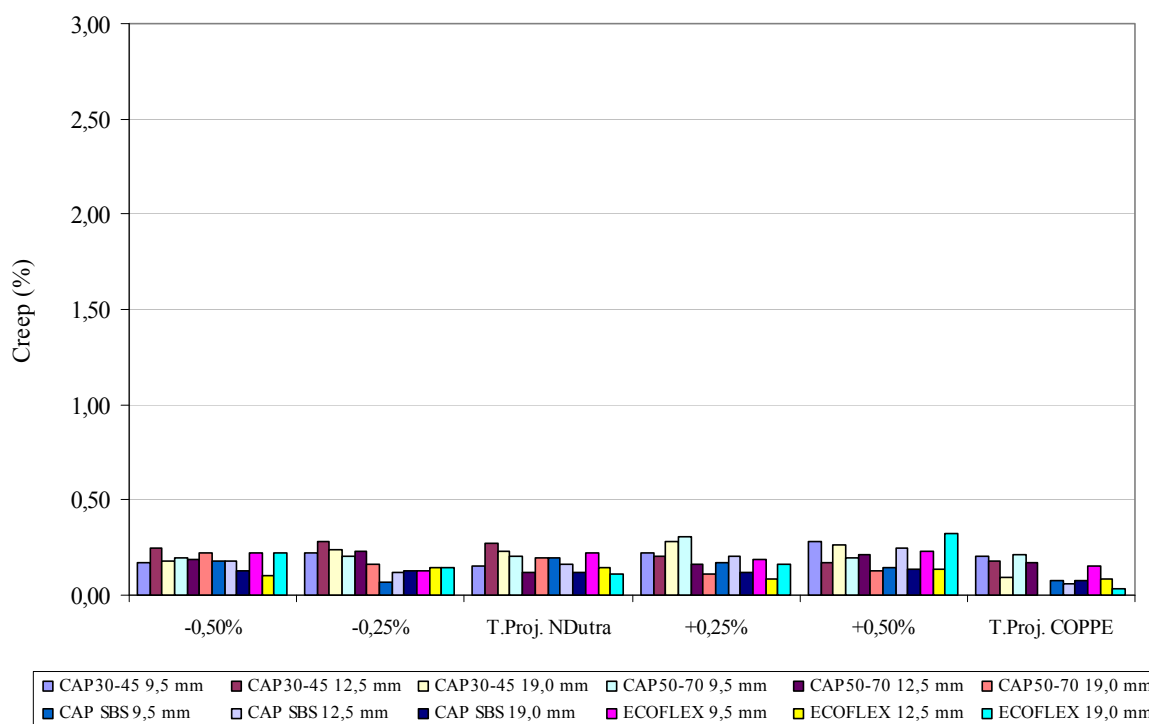


Figura 32: Variação do *creep* em função do tipo e teor de ligante de todas as misturas analisadas.

De forma geral, pode-se verificar que todas as misturas apresentaram valores de *creep* muito abaixo do “possível limite” de 3,0%. Além disso, pode-se verificar que os valores mais altos foram obtidos pelas misturas moldadas com CAP 30-45 e os mais baixos foram obtidos pelas misturas com asfaltos modificados e que, para um mesmo tipo de ligante, as misturas moldadas com compactador giratório apresentaram os

menores valores de *creep*, ou seja, menor deformação e, portanto, maior resistência. Isso pode ter acontecido, em função das diferentes granulometrias (conseqüentemente do esqueleto mineral) e, principalmente, do tipo de compactação.

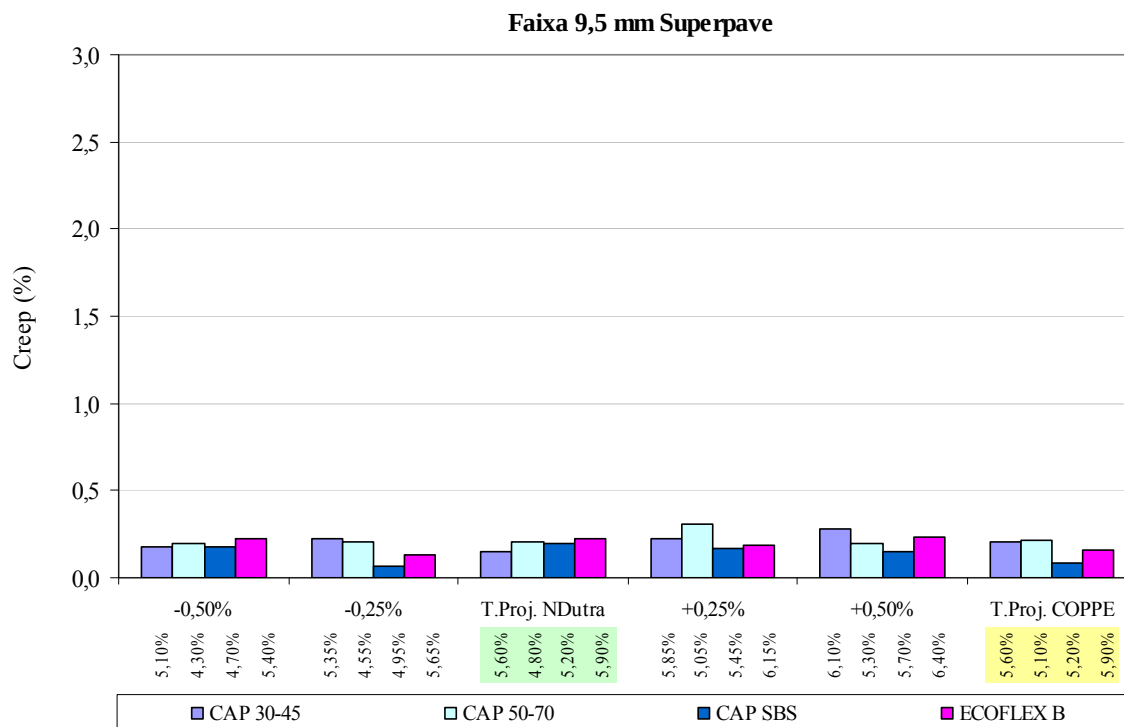


Figura 33: Variação do *creep* em função do tipo e teor de ligante - Faixa 9,5 mm Superpave.

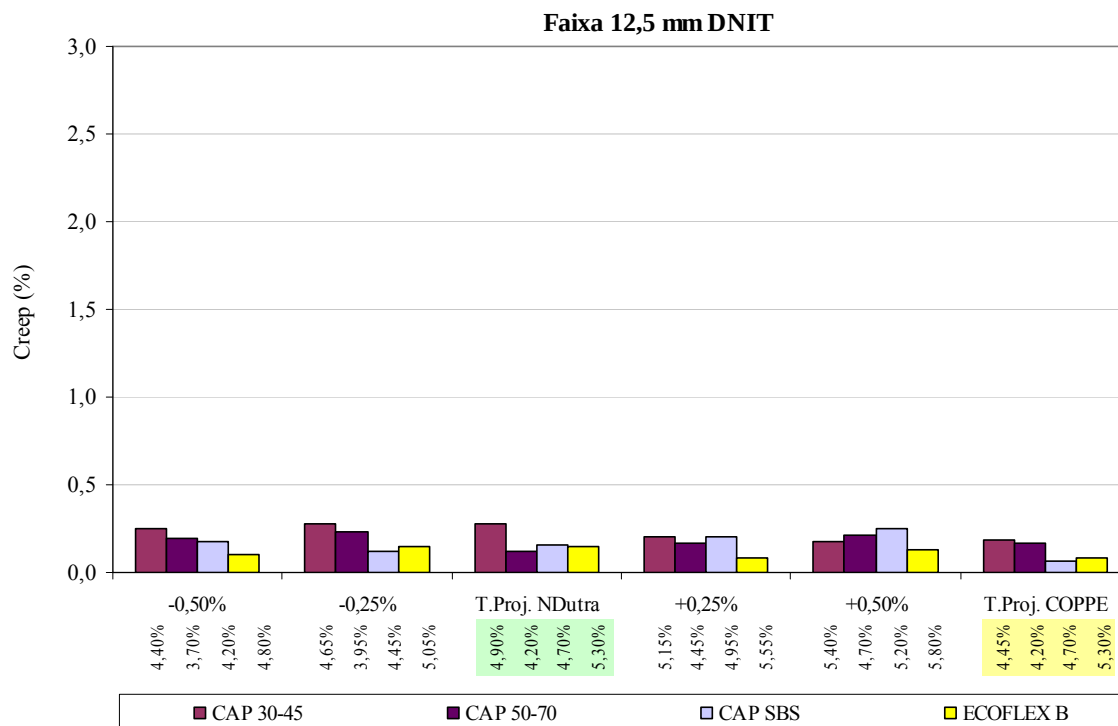


Figura 34: Variação do *creep* em função do tipo e teor de ligante - Faixa 12,5 mm DNIT.

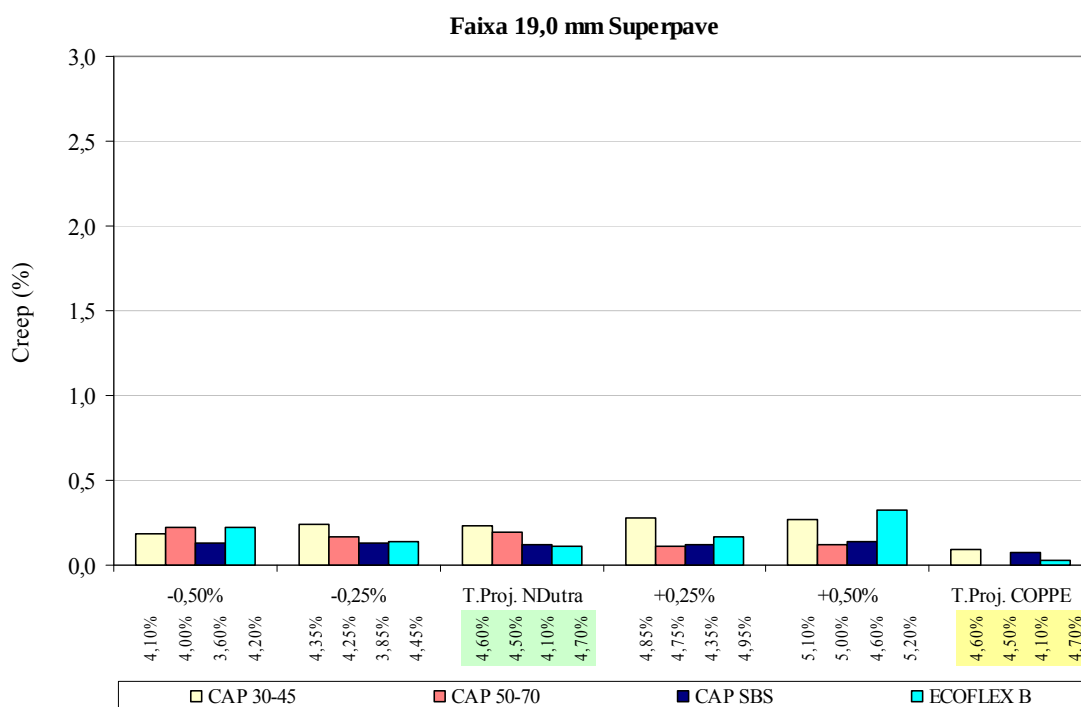


Figura 35: Variação do *creep* em função do tipo e teor de ligante - Faixa 19,0 mm Superpave.

Quando comparadas as misturas por faixa granulométrica tem-se:

- **Faixa 9,5 mm:** os menores valores de *creep* foram obtidos pelas misturas com CAP SBS em diferentes teores (-0,25%; moldadas com compactador giratório; +0,50% e +0,25%); o valor mais alto foi obtido com as misturas moldadas com +0,25% de ligante CAP 50-70. Comparando as misturas moldadas com compactador Marshall no teor de projeto pode-se verificar que os maiores valores foram obtidos pelas misturas com ECOFLEX e os menores valores foram obtidos pela mistura com CAP 30-45. No caso das misturas moldadas no teor de projeto com compactador giratório pode-se verificar que os maiores valores foram obtidos pelas misturas com CAP 50-70 e os menores valores foram obtidos pela mistura com CAP SBS.
- **Faixa 12,5 mm:** os maiores valores foram obtidos pelas misturas com CAP 30-45 nos diferentes teores (-0,25%; -0,50%; moldadas no teor de projeto com compactadores Marshall e giratório). Os valores mais baixos foram obtidos com as misturas moldadas com -0,50%; +0,25% e +0,50% de ECOFLEX. Comparando as misturas moldadas no teor de projeto com compactador Marshall, o valor mais alto foi obtido pela mistura com CAP 30-45 e o mais baixo foi com o CAP 50-70. No caso das misturas moldadas no teor de projeto com compactador giratório pode-se verificar que o valor mais alto também foi obtido pela mistura com CAP 30-45, sendo que o valor mais baixo foi obtido com a mistura com CAP SBS.

- Faixa 19,0 mm: o valor mais alto de *creep* foi obtido com a mistura com +0,50% de ECOFLEX. No entanto, a maioria das misturas moldadas com CAP 30-45 também atingiu valores altos. As misturas moldadas com compactador giratório obtiveram os valores mais baixos de *creep*, sendo que o menor valor foi obtido pela mistura moldada com CAP 50-70.

Cabe ressaltar que o ensaio de *creep* da forma como é realizado pode não estar refletindo adequadamente as diferenças entre as misturas e teores, uma vez que a temperatura do ensaio é relativamente baixa, assim como a altura dos CPs. Para verificar esse comportamento é necessário realizar uma análise conjunta dos resultados desse ensaio com os resultados do simulador de tráfego LPC (USP). Além disso, existe atualmente uma tendência em adotar o ensaio de Flow Number, FN (NASCIMENTO, 2008), que é a melhor alternativa ao simulador: altura 3 vezes maior e temperatura de 60°C.

5.5. VIDA DE FADIGA - ANÁLISE MECANÍSTICA

Os modelos de fadiga foram determinados utilizando-se as diferenças de tensões ($\Delta\sigma$, diferença entre tensões de tração e compressão) e as deformações resilientes (ϵ), com as curvas exponenciais expressas nas Equações 4 e 5. As constantes de regressão k_1 , k_2 e k_3 são parâmetros de caracterização dos materiais. O programa computacional ELSYM5 foi utilizado para comparar, mecanisticamente, os resultados dos ensaios de fadiga com um pavimento hipotético (duas estruturas). Os resultados detalhados são apresentados no **ANEXO 1**.

No ensaio de fadiga, os corpos de prova (CPs) foram submetidos a carregamento diametral, à temperatura de 25°C. Os CPs foram submetidos a quatro níveis de tensão e, para cada um deles, foi determinado o número de ciclos necessários para a ruptura. Com os resultados obtidos, fez-se a comparação das misturas avaliadas (com diferentes ligantes asfálticos) através de uma simulação de duas estruturas de pavimento hipotéticas (1 e 2) e uma estrutura especial (3) empregada na reconstrução de pavimentos pela Nova Dutra (**Tabela 11**).

Tabela 11: Estruturas de pavimentos usadas nas comparações das misturas deste estudo.

Estrutura	Camada	Espessura (cm)	Coef. Poisson	MR (MPa)	MR (psi)
1	Capa	10,0	0,30	Variável	MR
	Base	20,0	0,34	340	51.000
	Sub-base	20,0	0,38	210	31.500
	Subleito	Semi-infinito	0,42	85	12.750
2	Capa	7,5	0,30	Variável	MR
	Base	20,0	0,30	450	67.500
	Subleito	Semi-infinito	0,40	60	9.000
3	Capa	12,0 - EGL 12,5 mm	0,30	Variável	MR
	Binder	10,0 - Faixa A DNIT	0,30	3700	555.000
	Base	15,0 - BGS	0,35	250	37.500
	Sub-base	55,0 - Rachão	0,37	100	15.000
	Subleito	Semi-infinito	0,45	52	7.800

A análise tensional foi feita com o programa ELSYM 5. As espessuras e as deflexões máximas após a reconstrução (**Tabela 12**) de cada camada da estrutura 3 foram fornecidas pela Nova Dutra. No caso da estrutura 3, a análise empregando o ELSYM 5 foi feita apenas para a mistura de faixa 12,5 mm DNIT, que é a mistura asfáltica aplicada na camada de revestimento dos pavimentos que são reconstruídos pela Nova Dutra.

Pode-se observar na **Tabela 11** que a estrutura 3 apresenta características muito diferentes das estruturas hipotéticas, com espessura total de 92,0 cm, composta por um revestimento de 22,0 cm (12,0 cm de CA + 10,0 cm de binder), uma camada de brita graduada simples, BGS, de 15,0 cm e uma sub-base de rachão de 55,0 cm.

Os valores de MR das camadas da estrutura 3, com exceção do MR de CA (que foram extraídos da **Tabela 10**, MR das misturas faixa 12,5 mm), foram adotados e para verificar se esses valores estavam coerentes com a estrutura foi feita a análise usando o programa ELSYM5, onde se pode verificar que todas as camadas atendiam os valores de deflexão após a reconstrução, conforme pode ser observado nas **Tabelas 12 e 13**.

Tabela 12: Deflexões após reconstrução para Estrutura 3.

Camada	Deflexão admissível (10^{-2} mm)	Deflexão calculada com ELSYM5 (10^{-2} mm)
CA	35,0	*
Binder	65,0	61,5
BGS	95,0	87,4
Rachão	120,0	95,3
Sub-Leito	150,0	125,7

* As deflexões obtidas para cada tipo de mistura são apresentadas na **Tabela 13**.

Tabela 13: Deflexões obtidas usando as misturas de CA Faixa 12,5 mm como capa - Estrutura 3.

Teor de ligante	CAP 30-45	CAP 50-70	CAP SBS	ECOFLEX B
-0,50%	31,8	32,8	34,0	34,8
-0,25%	32,5	32,5	33,8	34,0
T. Proj.N.Dutra	32,3	32,8	33,8	34,3
+0,25%	32,0	32,5	33,8	34,0
+0,50%	32,3	32,3	34,3	34,8
T. Proj.COPPE	31,5	32,5	35,1	34,3

5.5.1. Resultados dos Ensaio de Vida de Fadiga

Foram elaborados gráficos do número de ciclos em função da diferença de tensões, em escala logarítmica. Para cada gráfico foi feita a regressão da curva de fadiga, obtendo-se a equação correspondente à curva. As Tabelas 14, 15 e 16 e as Figuras 36, 37 e 38 mostram o resumo dos resultados dos ensaios de fadiga, considerando as três estruturas. Vale ressaltar que para a estrutura 3 foi feita a análise apenas para a mistura de faixa 12,5 mm, conforme solicitado pela Nova Dutra. Os gráficos e os resultados detalhados dos ensaios estão apresentados no ANEXO 1.

Tabela 14: Resumo dos resultados de fadiga das misturas de CA - Estrutura 1.

Estrutura 1	CAP 30-45			CAP 50-70			CAP SBS			ECOFLEX B		
	9,5 mm	12,5 mm	19,0 mm	9,5 mm	12,5 mm	19,0 mm	9,5 mm	12,5 mm	19,0 mm	9,5 mm	12,5 mm	19,0 mm
-0,50%	4.317	4.768	3.295	5.293	5.347	2.096	17.833	10.708	13.192	16.562	9.409	6.885
-0,25%	6.719	7.624	7.772	5.976	13.596	2.755	22.808	19.387	10.445	26.574	29.012	18.394
T. Proj.N.Dutra	11.437	25.616	5.623	16.030	15.198	3.569	14.215	8.107	14.064	17.362	31.650	20.403
+0,25%	7.324	12.054	5.449	20.398	17.723	4.375	22.109	20.463	18.855	34.408	23.634	15.163
+0,50%	7.538	21.553	8.146	18.087	7.957	3.428	20.989	19.198	19.027	41.708	26.550	16.216
T. Proj.COPPE	9.540	20.122	4.815	19.642	8.367	15.342	10.717	11.707	9.017	37.736	31.797	28.914

Tabela 15: Resumo dos resultados de fadiga das misturas de CA - Estrutura 2.

Estrutura 2	CAP 30-45			CAP 50-70			CAP SBS			ECOFLEX B		
	9,5 mm	12,5 mm	19,0 mm	9,5 mm	12,5 mm	19,0 mm	9,5 mm	12,5 mm	19,0 mm	9,5 mm	12,5 mm	19,0 mm
-0,50%	2.387	2.267	1.678	3.118	2.901	1.137	11.704	7.108	7.257	8.178	7.029	3.599
-0,25%	3.184	4.134	4.154	3.126	5.994	1.431	20.980	10.248	6.901	13.611	16.674	9.271
T. Proj.N.Dutra	5.541	12.159	2.974	7.540	7.067	1.820	9.687	5.401	8.395	11.020	19.822	10.523
+0,25%	4.013	6.005	2.755	9.931	9.286	2.392	14.201	11.808	11.502	23.601	14.534	6.798
+0,50%	3.741	10.698	3.773	9.771	3.687	1.665	18.056	11.721	12.643	24.056	18.964	7.565
T. Proj.COPPE	5.052	12.145	1.151	13.153	5.681	6.700	8.504	9.114	5.113	25.592	28.943	26.289

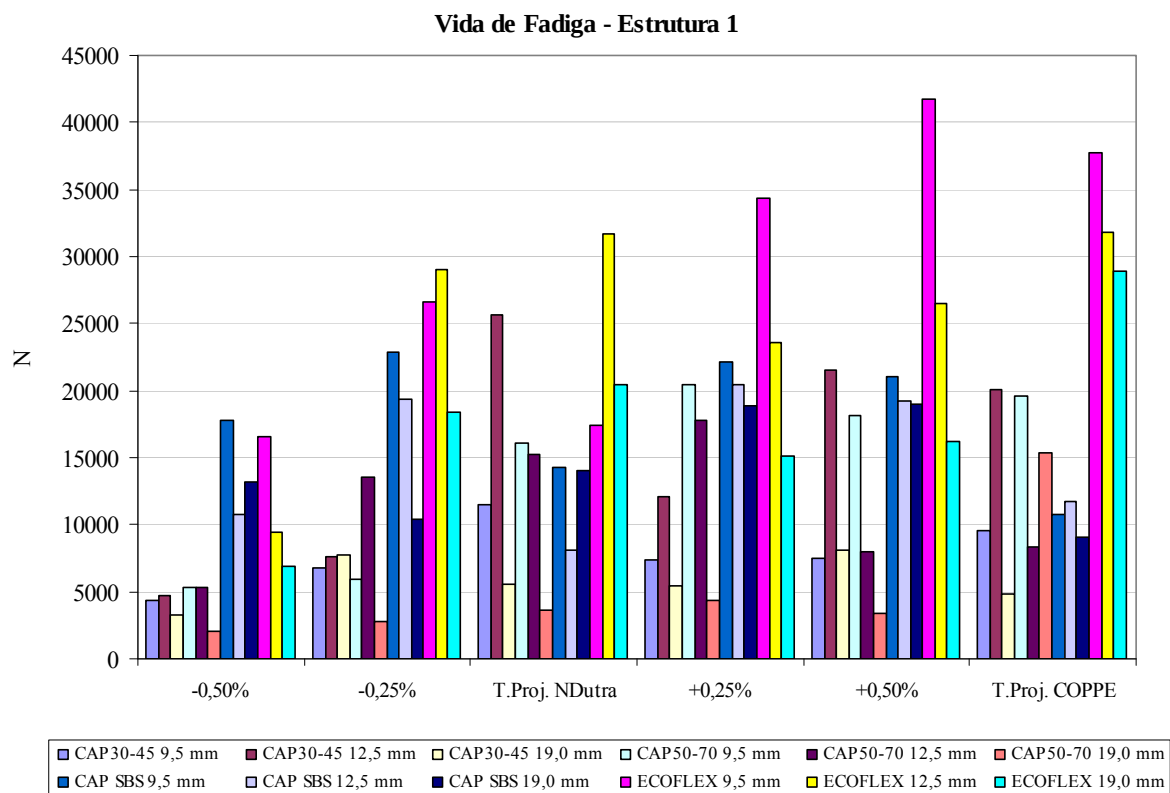


Figura 36: Resultados da análise de vida de fadiga das misturas de CA - Estrutura 1.

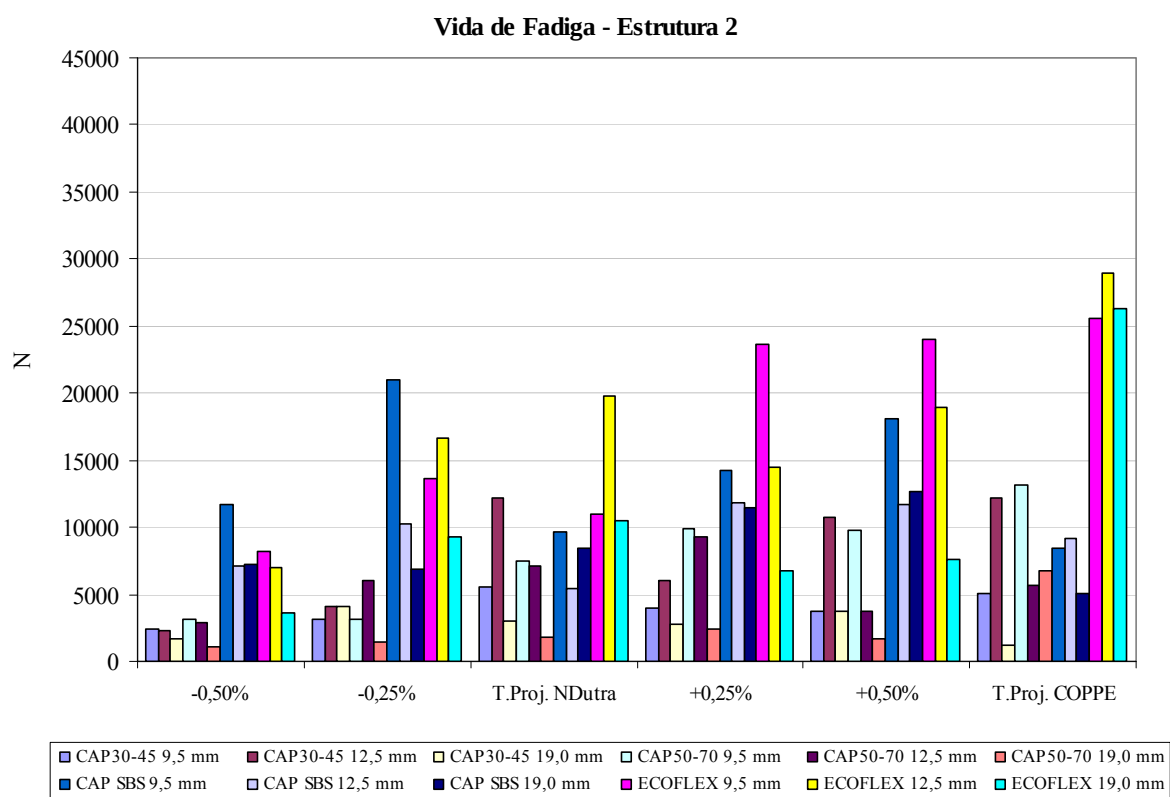


Figura 37: Resultados da análise de vida de fadiga das misturas de CA - Estrutura 2.

Tabela 16: Resumo dos resultados de fadiga das misturas de CA - Estrutura 3.

Teor de ligante	CAP 30-45	CAP 50-70	CAP SBS	ECOFLEX B
-0,50%	98.712	429.428	1.022.181	51.463
-0,25%	404.381	2.146.305	5.717.353	13.914.540
T. Proj.N.Dutra	2.381.789	3.028.512	535.010	19.015.475
+0,25%	547.103	1.189.746	5.163.344	5.601.558
+0,50%	1.152.947	671.350	8.138.899	5.858.162
T. Proj.COPPE	10.089.203	253.843	5.590.814	13.097.430

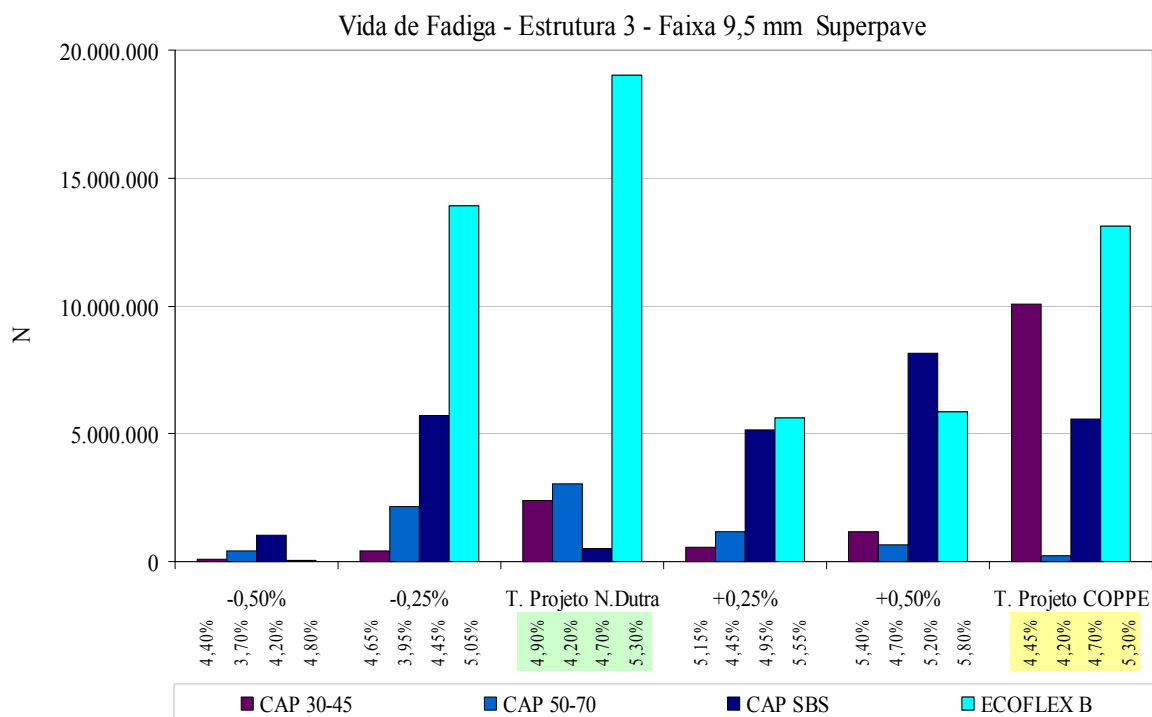


Figura 38: Resultados da análise de vida de fadiga das misturas de CA - Estrutura 3.

As **Tabelas 17 a 22** e as **Figuras 39 a 44** apresentam os resultados de fadiga das duas estruturas hipotéticas (1 e 2), em função das faixas granulométricas.

Tabela 17: Resultados de fadiga das misturas de CA Faixa 9,5 mm - Estrutura 1.

Teor de ligante	CAP 30-45	CAP 50-70	CAP SBS	ECOFLEX B
-0,50%	4.317	5.293	17.833	16.562
-0,25%	6.719	5.976	22.808	26.574
T. Proj.N.Dutra	11.437	16.030	14.215	17.362
+0,25%	7.324	20.398	22.109	34.408
+0,50%	7.538	18.087	20.989	41.708
T. Proj.COPPE	9.540	19.642	10.717	37.736

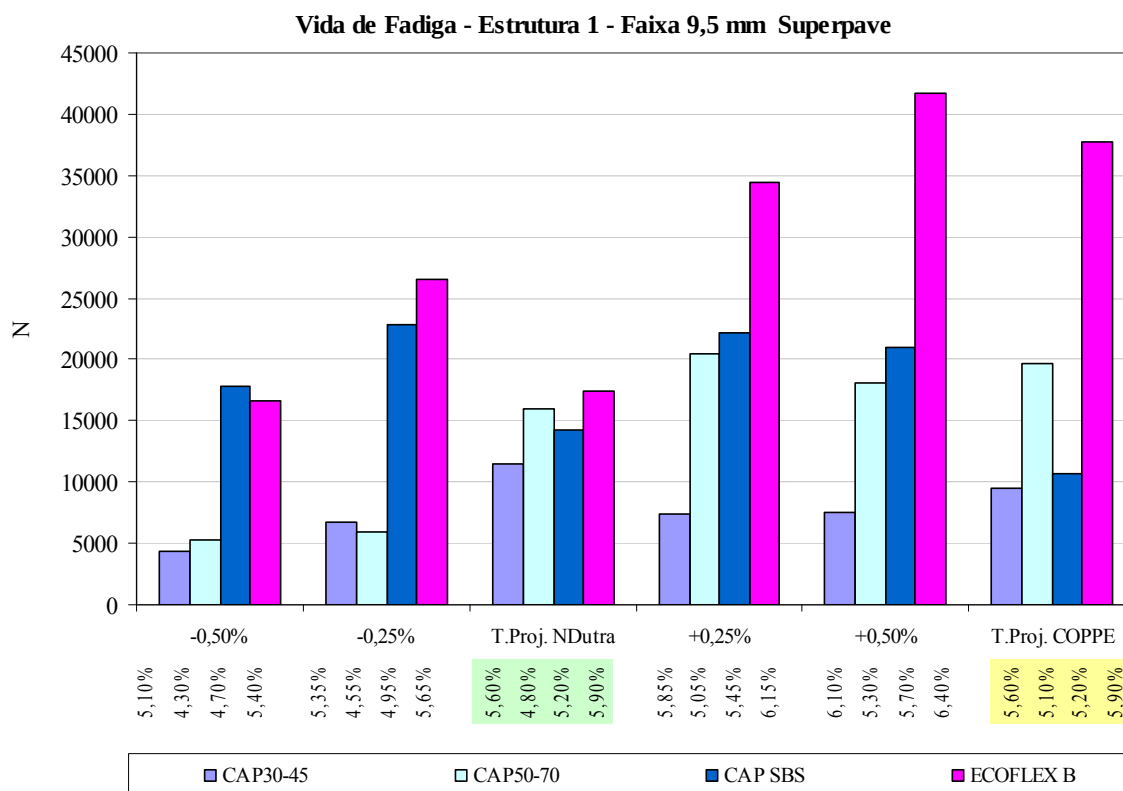


Figura 39: Vida de fadiga em função do tipo e teor de ligante - Estrutura 1 - Faixa 9,5 mm Superpave.

Tabela 18: Resultados de fadiga das misturas de CA Faixa 12,5 mm - Estrutura 1.

Teor de ligante	CAP 30-45	CAP 50-70	CAP SBS	ECOFLEX B
-0,50%	4.768	5.347	10.708	9.409
-0,25%	7.624	13.596	19.387	29.012
T. Proj.N.Dutra	25.616	15.198	8.107	31.650
+0,25%	12.054	17.723	20.463	23.634
+0,50%	21.553	7.957	19.198	26.550
T. Proj.COPPE	20.122	8.367	11.707	31.797

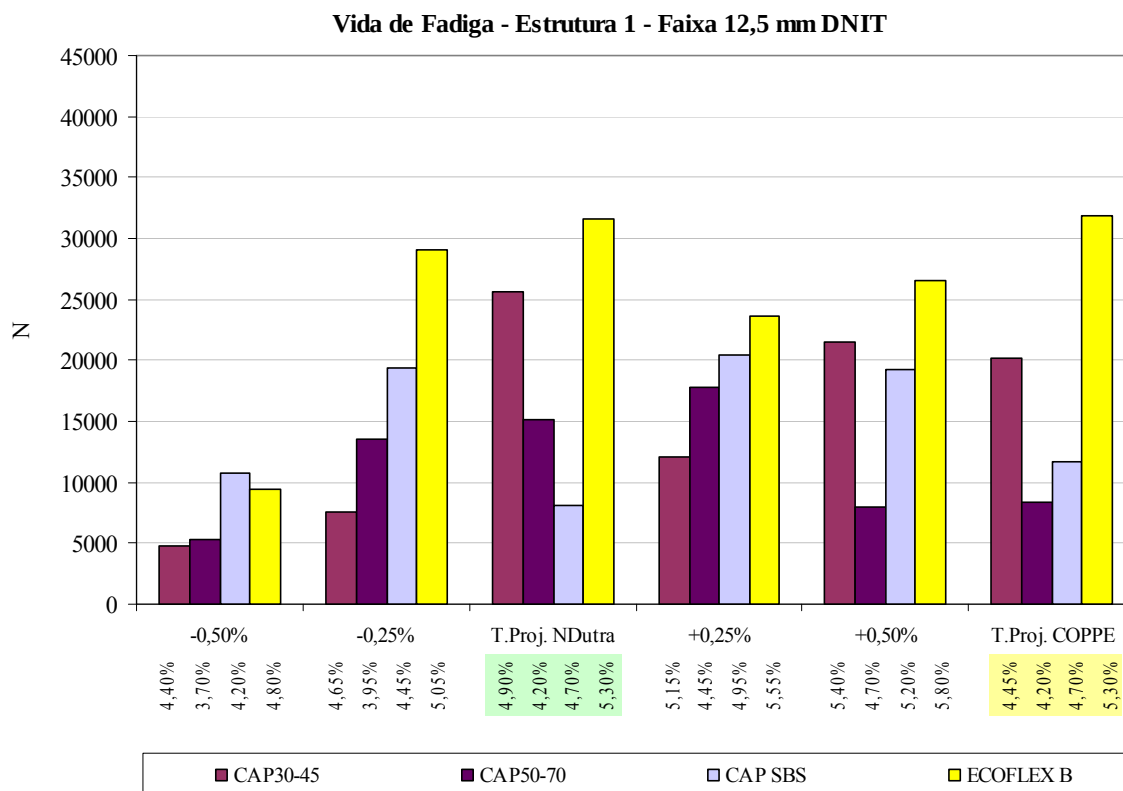


Figura 40: Vida de fadiga em função do tipo e teor de ligante - Estrutura 1 - Faixa 12,5 mm DNIT.

Tabela 19: Resultados de fadiga das misturas de CA Faixa 19,0 mm - Estrutura 1.

Teor de ligante	CAP 30-45	CAP 50-70	CAP SBS	ECOFLEX B
-0,50%	3.295	2.096	13.192	6.885
-0,25%	7.772	2.755	10.445	18.394
T. Proj.N.Dutra	5.623	3.569	14.064	20.403
+0,25%	5.449	4.375	18.855	15.163
+0,50%	8.146	3.428	19.027	16.216
T. Proj.COPPE	4.815	15.342	9.017	28.914

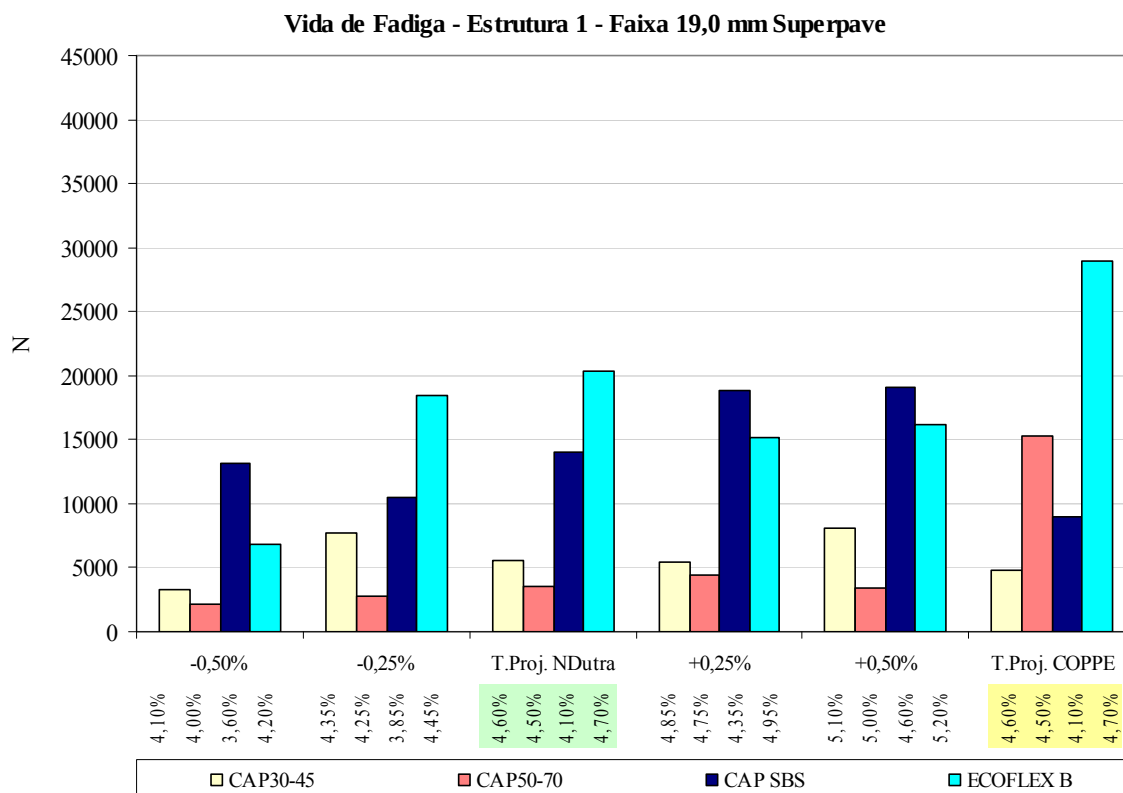


Figura 41: Vida de fadiga em função do tipo e teor de ligante - Estrutura 1 - Faixa 19,0 mm Superpave.

Tabela 20: Resultados de fadiga das misturas de CA Faixa 9,5 mm - Estrutura 2.

Teor de ligante	CAP 30-45	CAP 50-70	CAP SBS	ECOFLEX B
-0,50%	2.387	3.118	11.704	8.178
-0,25%	3.184	3.126	20.980	13.611
T. Proj.N.Dutra	5.541	7.540	9.687	11.020
+0,25%	4.013	9.931	14.201	23.601
+0,50%	3.741	9.771	18.056	24.056
T. Proj.COPPE	5.052	13.153	8.504	25.592

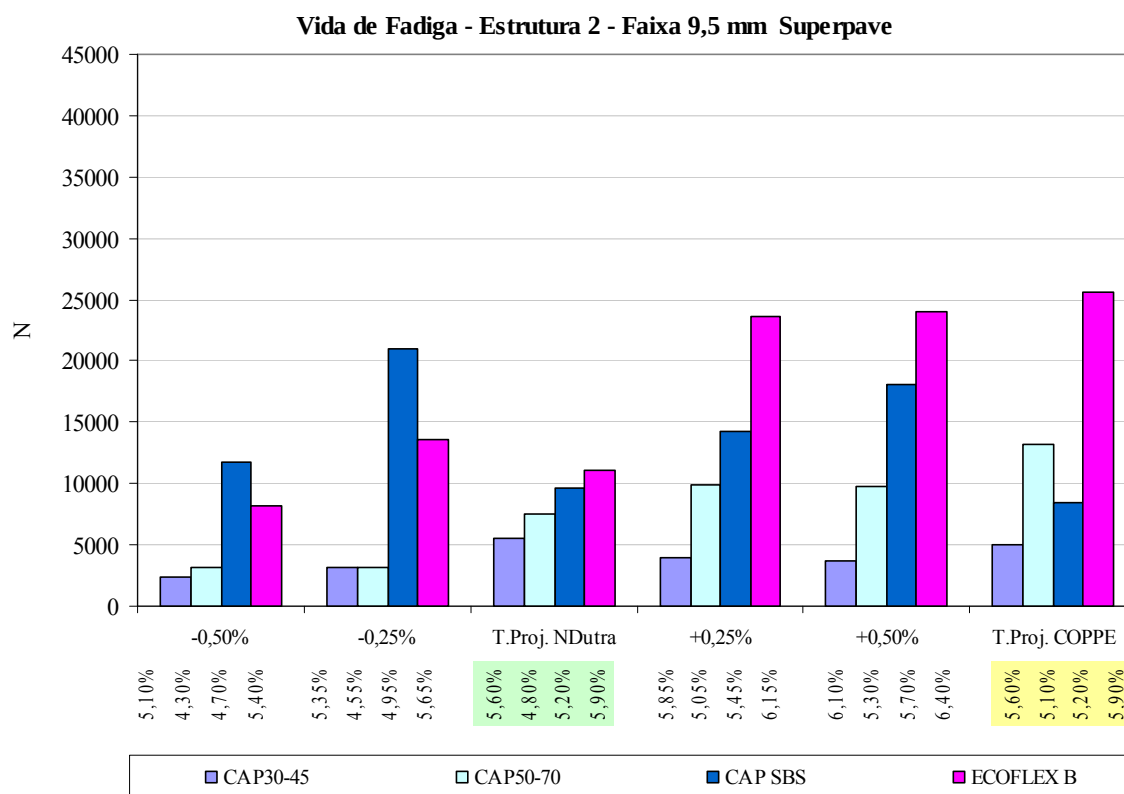


Figura 42: Vida de fadiga em função do tipo e teor de ligante - Estrutura 2 - Faixa 9,5 mm Superpave.

Tabela 21: Resultados de fadiga das misturas de CA Faixa 12,5 mm - Estrutura 2.

Teor de ligante	CAP 30-45	CAP 50-70	CAP SBS	ECOFLEX B
-0,50%	2.267	2.901	7.108	7.029
-0,25%	4.134	5.994	10.248	16.674
T. Proj.N.Dutra	12.159	7.067	5.401	19.822
+0,25%	6.005	9.286	11.808	14.534
+0,50%	10.698	3.687	11.721	18.964
T. Proj.COPPE	12.145	5.681	9.114	28.943

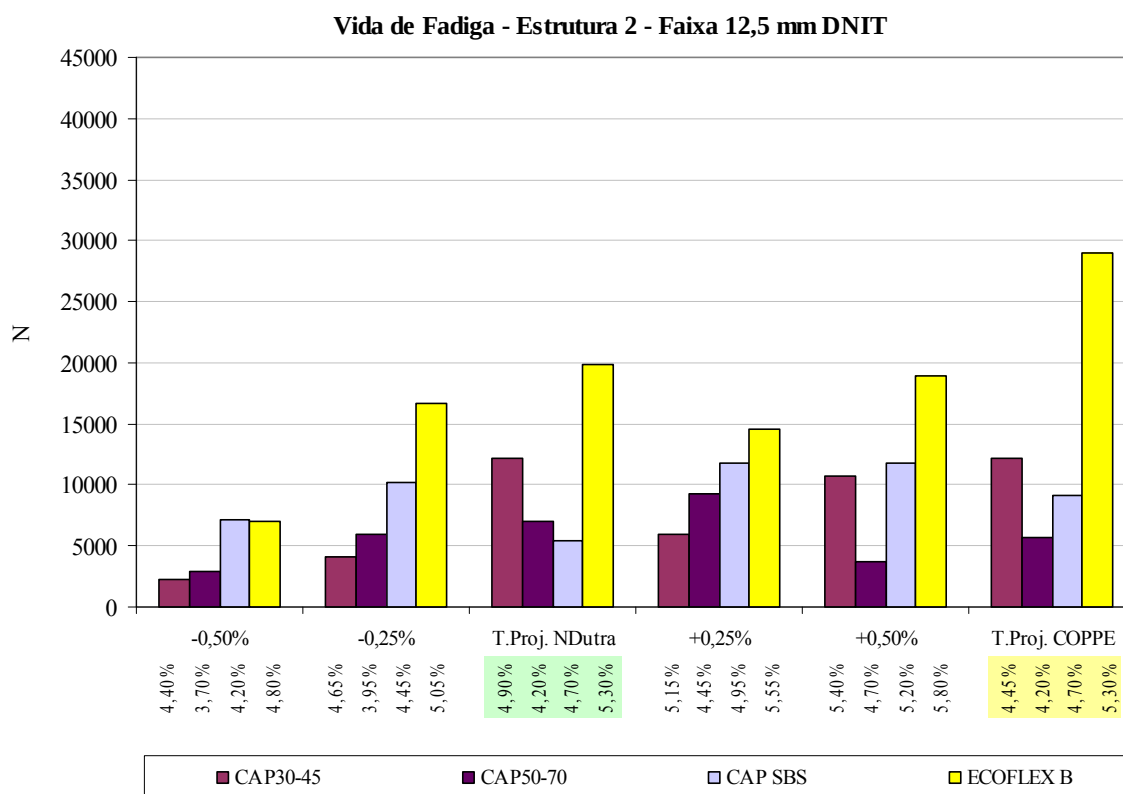


Figura 43: Vida de fadiga em função do tipo e teor de ligante - Estrutura 2 - Faixa 12,5 mm DNIT.

Tabela 22: Resultados de fadiga das misturas de CA Faixa 19,0 mm - Estrutura 2.

Teor de ligante	CAP 30-45	CAP 50-70	CAP SBS	ECOFLEX B
-0,50%	1.678	1.137	7.257	3.599
-0,25%	4.154	1.431	6.901	9.271
T. Proj.N.Dutra	2.974	1.820	8.395	10.523
+0,25%	2.755	2.392	11.502	6.798
+0,50%	3.773	1.665	12.643	7.565
T. Proj.COPPE	1.151	6.700	5.113	26.289

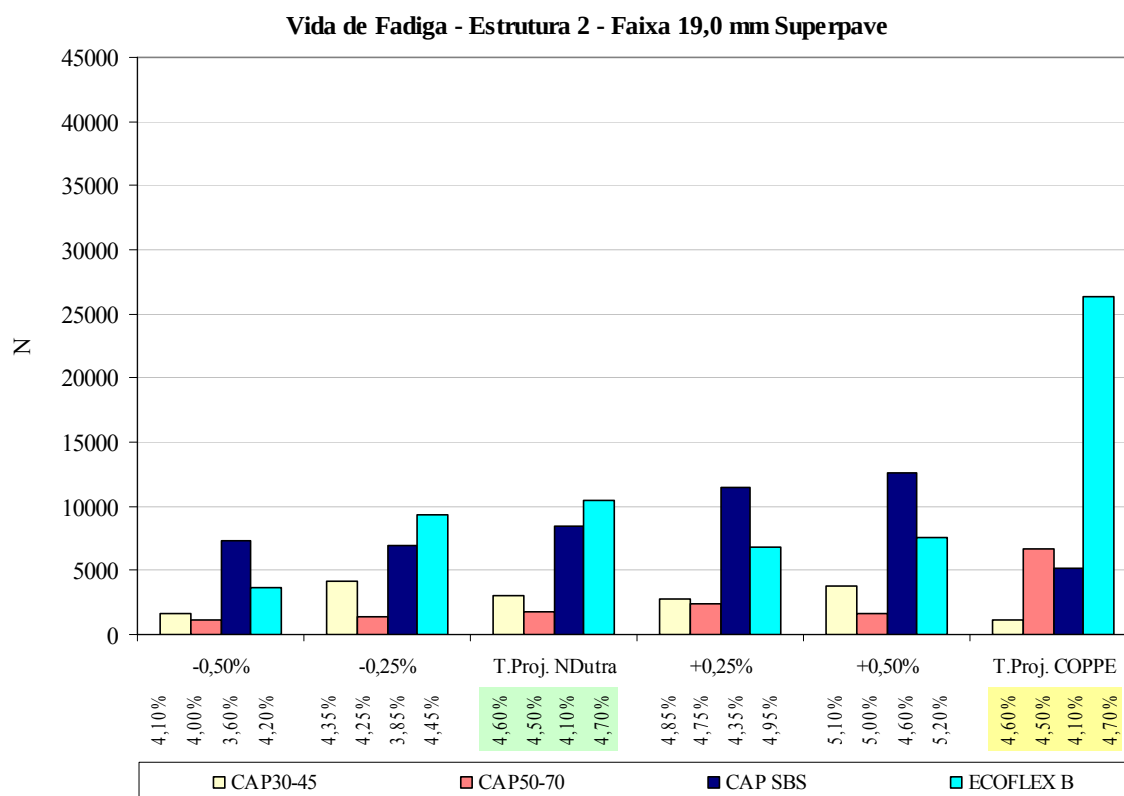


Figura 44: Vida de fadiga em função do tipo e teor de ligante - Estrutura 2 - Faixa 19,0 mm Superpave.

5.5.2. Análise da Vida de Fadiga - Estrutura 1

Considerando a Estrutura 1, pode-se observar o comportamento das misturas conforme descrito a seguir para cada faixa granulométrica e teores.

5.5.2.1. CAP 30-45 - Faixa 9,5 mm

Todas as misturas apresentaram vida de fadiga inferior quando comparadas com a mistura produzida no teor de projeto. Para a mistura com -0,5% de ligante, a diferença é de cerca de 62,0%, enquanto que a mistura com -0,25% de ligante apresentou 41,0% da vida de fadiga da mistura com teor de ligante de projeto. As misturas com +0,25% e +0,5% de ligante apresentaram vida de fadiga cerca de 35,0% menor do que as misturas com teor de ligante de projeto, sendo que a mistura com teor de projeto +0,5% apresentou uma vida de fadiga um pouco mais alta que a de +0,25.

5.5.2.2. CAP 30-45 - Faixa 12,5 mm

Pode-se verificar que as misturas com -0,5%, -0,25%, +0,25% e +0,5% de ligante apresentaram uma vida de fadiga menor que as misturas com teor de ligante de projeto, assim como a mistura preparada no compactador giratório que apresentou 21,0% menor que a mistura preparada com o compactador Marshall no teor de projeto. Além disso, pode-se observar que a mistura com -0,5% de ligante apresentou vida de fadiga 81,0% menor, enquanto para a mistura com -0,25% esse valor é de cerca 70,0%. A mistura com +0,25% de ligante apresentou vida de fadiga de cerca de metade da vida de fadiga da mistura com teor de ligante de projeto, enquanto a mistura com +0,5% apresentou uma vida de fadiga 16,0% menor do que no teor de projeto.

5.5.2.3. CAP 30-45 - Faixa 19,0 mm

Pode-se verificar que as misturas com teores +0,5% e -0,25% apresentaram maior vida de fadiga do que a mistura com teor de ligante de projeto (38,0% e 45,0%, respectivamente). A mistura com -0,5% apresentou a menor vida de fadiga, enquanto que a mistura com +0,25% apresentou uma diferença de apenas 3,0%, mostrando pequena influência. Comparando o tipo de compactação empregada, pode-se verificar que as misturas produzidas no teor de projeto com compactador Marshall apresentaram previsão de vida 14,0% maior do que a mistura produzida com compactador giratório.

5.5.2.4. CAP 50-70 - Faixa 9,5 mm

As misturas com -0,5% e -0,25% de ligante apresentaram uma vida de fadiga cerca de 67,0% e 63,0% menores que a mistura no teor de ligante de projeto. Já as misturas com +0,25% e +0,5% de ligante apresentaram vida de fadiga maior (27,0% e 13,0%, respectivamente) do que a mistura no teor de ligante de projeto, sendo que as misturas com teor de projeto +0,25% apresentaram a maior vida de fadiga de todas as misturas. Talvez neste caso este seja realmente o teor ótimo verdadeiro sob o ponto de vista da fadiga simplesmente.

5.5.2.5. CAP 50-70 - Faixa 12,5 mm

A mistura com -0,5% de ligante apresentou uma vida de fadiga cerca de 65,0% menor que a mistura com teor de ligante de projeto, enquanto a mistura com -0,25% de ligante apresentou uma vida de fadiga 11,0% menor. A mistura com +0,25% de ligante apresentou vida de fadiga maior (~17,0%) do que a mistura no teor de projeto, enquanto a mistura com +0,5% apresentou uma vida de fadiga 48,0% menor do que a mistura no teor de projeto. A mistura moldada com compactador giratório apresentou uma vida de fadiga cerca de 45,0% menor do que a mistura moldada no teor de projeto com o compactador Marshall. Como visto, a mistura com teor de projeto +0,25% apresentou a maior vida de fadiga de todas as misturas, de novo pode ser este o teor mais adequado se observado somente sob o ponto de vista da fadiga.

5.5.2.6. CAP 50-70 - Faixa 19,0 mm

Pode-se verificar que as misturas com granulometria de 19,0 mm apresentaram menores vidas de fadiga quando comparadas com as outras granulometrias (9,5 mm e 12,5 mm), sendo que essas também apresentaram menor variação em relação ao teor de ligante de projeto. Das misturas moldadas com compactador Marshall, a mistura que apresentou maior vida de fadiga foi a preparada com +0,25% de ligante do teor de projeto, sendo 23,0% maior do que no teor de projeto. As misturas com menor teor de projeto, -0,5% e -0,25%, atingiram 59,0% e 77,0%, respectivamente, da vida de fadiga da mistura moldada no teor de projeto. No entanto, a mistura moldada com compactador giratório apresentou um valor super elevado de vida de fadiga, cerca 4,3 vezes mais alta do que a mistura moldada no teor de projeto com o compactador giratório.

5.5.2.7. CAP SBS - Faixa 9,5 mm

Pode-se verificar que as misturas com -0,25%, +0,25% e +0,5% apresentaram as maiores vidas de fadiga quando comparadas com as misturas moldadas com outros teores e outras granulometrias (12,5 mm e 19,0 mm). No entanto, pode-se verificar que a mistura compactada com o giratório apresentou a menor vida de fadiga.

5.5.2.8. CAP SBS - Faixa 12,5 mm

Pode-se verificar que todas as misturas (-0,5%, -0,25%, +0,25% e +0,5% de ligante, além da mistura moldada com compactador giratório) apresentaram uma vida de fadiga maior que a mistura com teor de ligante de projeto, sendo que as misturas com +0,25% e +0,5% apresentaram vida de fadiga de cerca de quase 2,5 vezes a da mistura moldada no teor de projeto. Pode-se pressupor que houve algum problema de moldagem destes corpos de prova, talvez o ideal fosse moldar novos corpos de prova e confirmar ou não os resultados.

5.5.2.9. CAP SBS - Faixa 19,0 mm

Pode-se verificar que apenas as misturas com -0,5%, -0,25% de ligante e a mistura moldada com giratório apresentaram vida de fadiga mais baixa do que a mistura moldada no teor de ligante de projeto (6,0% e 25,0%, respectivamente). As misturas com +0,25% e +0,5% de ligante apresentaram vida de fadiga mais alta, sendo que as misturas com +0,25% e +0,5% apresentaram vida de fadiga 35,0% maior do que a mistura moldada no teor de ligante de projeto.

5.5.2.10. ECOFLEX B - Faixa 9,5 mm

As misturas moldadas com +0,5%, +0,25% de ligante e a mistura moldada no teor de ligante de projeto com compactador giratório apresentaram valores elevados quando comparadas com as outras misturas (cerca de 2,2 a 2,4 vezes maior). A mistura moldada no teor de projeto com compactador Marshall apresentou valor baixo quando comparado com a mistura de -0,25%; +0,25% e +0,50%. Como esta curva de fadiga do compactador giratório estava muito diferente das outras foi repetido o ensaio, o que acabou confirmando o resultado.

5.5.2.11. ECOFLEX B - Faixa 12,5 mm

Pode-se verificar que apenas a mistura com -0,5% apresentou vida de fadiga mais baixa do que a mistura moldada com teor de ligante de projeto (72,0%). As misturas com -0,25%, +0,25% e +0,5% de ligante apresentaram vidas de fadiga próximas à da mistura moldada no teor de projeto. A mistura moldada com compactador giratório apresentou uma vida de fadiga muito próxima da obtida pela mistura moldada no teor de projeto com compactador Marshall.

5.5.2.12. ECOFLEX B - Faixa 19,0 mm

A mistura moldada no teor de ligante de projeto apresentou a maior vida de fadiga quando comparada com as misturas moldadas com compactador Marshall em outros teores, sendo que a mistura com -0,25% apresentou pequena variação (-8,0%) e as misturas com +0,25% e +0,50% apresentaram variação de -25,0% e -16,0%, respectivamente. A maior vida de fadiga foi obtida pela mistura produzida com compactador giratório, cerca de 42,0% mais alta do que a vida de fadiga da mistura moldada no teor de projeto com compactador Marshall.

5.5.3. Análise da Vida de Fadiga - Estrutura 2

Quando considerada a **Estrutura 2**, pode-se observar o comportamento das misturas conforme descrito a seguir para cada faixa granulométrica e teores.

5.5.3.1. CAP 30-45 - Faixa 9,5 mm

Todas as misturas apresentaram vida de fadiga inferior quando comparadas com a mistura produzida no teor de projeto. Para a mistura com -0,5% de ligante, a diferença é de cerca de 43,0%, enquanto que a mistura com -0,25% de ligante atingiu aproximadamente 57,0% da vida de fadiga das misturas com teor de ligante de projeto. As misturas com +0,25% e +0,5% de ligante atingiram 72,0% e 68,0%, respectivamente, da vida de fadiga das misturas com teor de ligante de projeto.

5.5.3.2. CAP 30-45 - Faixa 12,5 mm

Pode-se verificar que todas as misturas (-0,5%, -0,25%, +0,25% e +0,5% de ligante) apresentaram uma vida de fadiga menor que a mistura com teor de ligante de projeto. Além disso, pode-se verificar que as misturas preparadas no teor de projeto independente do tipo de compactador empregado (Marshall ou giratório) praticamente não apresentaram diferença. Analisando a influência dos teores de ligante, pode-se verificar que misturas com menores teores apresentaram uma grande redução na vida de fadiga, sendo de 81,0% para o teor de ligante de projeto -0,5% e 66,0% para -0,25% de ligante. Em relação às misturas com maiores teores de ligante, pode-se observar uma redução de 51,0% para mistura com +0,25% e de 12,0% para mistura com +0,5%.

5.5.3.3. CAP 30-45 - Faixa 19,0 mm

Pode-se verificar que as misturas com -0,25% e +0,5% de ligante apresentaram vida de fadiga maior do que a mistura no teor de projeto, sendo de 40,0% e 27,0%, respectivamente. Comparando com a mistura produzida no teor de projeto, pode-se observar que a mistura com -0,5% atingiu 44,0% da vida de fadiga, enquanto que a mistura com +0,25% apresentou uma diferença de apenas 7,0%, mostrando pequena influência. Comparando o tipo de compactação empregada, pode-se verificar que a mistura produzida no teor de projeto com compactador giratório atingiu apenas um terço da vida de fadiga da mistura produzida com o compactador Marshall, apresentando a menor vida de fadiga de todas as misturas. No entanto, em função da

dispersão encontrada, o recomendado seria refazer a dosagem e os ensaios com essa granulometria.

5.5.3.4. CAP 50-70 - Faixa 9,5 mm

As misturas com -0,5% e -0,25% de ligante apresentaram uma vida de fadiga cerca de 59,0% menor que a mistura no teor de ligante de projeto. As misturas com +0,25% e +0,5% de ligante apresentaram vida de fadiga maior (cerca de 32,0% e 30,0%, respectivamente) do que as misturas no teor de ligante de projeto, sendo que a mistura no teor de projeto +0,25% apresentou a maior vida de fadiga de todas as misturas. É possível pensar que neste caso o teor de projeto adotado deveria ser este (+0,25%).

5.5.3.5. CAP 50-70 - Faixa 12,5 mm

A mistura com -0,5% de ligante atingiu 41,0% da vida de fadiga da mistura com teor de ligante de projeto, enquanto a mistura com -0,25% de ligante apresentou uma vida de fadiga 15,0% menor. A mistura com +0,25% de ligante apresentou vida de fadiga maior (~31,0%) do que a no teor de ligante de projeto, enquanto a mistura com +0,5% atingiu 48,0% da vida de fadiga da mistura no teor de projeto. Neste caso, a mistura com teor de projeto + 0,25% apresentou a maior vida de fadiga de todas as misturas, podendo indicar ser este o teor mais adequado.

5.5.3.6. CAP 50-70 - Faixa 19,0 mm

Pode-se verificar que as misturas com granulometria de 19,0 mm apresentaram menor vida de fadiga quando comparadas com as outras granulometrias (9,5 mm e 12,5 mm), e também essas misturas apresentaram pequena variação em relação ao teor de ligante de projeto. No entanto, a mistura moldada, no teor de projeto, com compactador giratório, apresentou a maior vida de fadiga, cerca de 3,7 vezes mais alta quando comparada com a mistura moldada no teor de projeto com o compactador Marshall. As misturas com menor teor de ligante, -0,5% e -0,25% atingiram 62,0% e 79,0%, respectivamente, da vida de fadiga da mistura moldado no teor de projeto. No entanto, a mistura com +0,25% apresentou maior vida de fadiga (31,0%) do que a mistura preparada no teor de projeto. E a mistura com +0,5% atingiu 91,0% da vida de fadiga da mistura moldada no teor de projeto.

5.5.3.7. CAP SBS - Faixa 9,5 mm

Pode-se verificar que a mistura com -0,25% apresentou a maior vida de fadiga quando comparadas com as misturas moldadas com outros teores e outras granulometrias (12,5 mm e 19,0 mm), sendo 2,2 vezes o valor da vida de fadiga da mistura moldada no teor de projeto com o compactador Marshall e cerca de 2,5 vezes o valor da vida de fadiga da mistura moldada no teor de projeto com o compactador giratório. Além disso, pode-se verificar que a mistura moldada com o compactador giratório apresentou a menor vida de fadiga de todas as misturas.

5.5.3.8. CAP SBS - Faixa 12,5 mm

Pode-se verificar que todas as misturas (-0,5%, -0,25%, +0,25% e +0,5% de ligante) apresentaram uma vida de fadiga maior que a mistura no teor de ligante de projeto, sendo que as misturas com +0,25% e +0,5% apresentaram vida de fadiga de cerca de 2,2 vezes maior do que a da mistura moldada no teor de projeto. Talvez fosse importante moldar novos corpos de prova no teor de projeto e confirmar este resultado.

5.5.3.9. CAP SBS - Faixa 19,0 mm

Pode-se verificar que as misturas com +0,25% e +0,5% de ligante apresentaram uma vida de fadiga maior que a mistura com teor de ligante de projeto, sendo que as misturas com +0,5% apresentaram vida de fadiga de cerca de 1,5 vez maior do que a da mistura moldada no teor de projeto. Além disso, pode-se verificar que a mistura moldada com compactador giratório apresentou a menor vida de fadiga de todas as misturas, cerca de 40,0% mais baixa.

5.5.3.10. ECOFLEX B - Faixa 9,5 mm

As misturas moldadas com +0,25% e +0,5% e a mistura moldada no teor de ligante de projeto com compactador giratório apresentaram valores elevados quando comparadas com as outras misturas: cerca de 2,3 vezes o valor da mistura moldada com o mesmo teor de ligante no compactador Marshall. As misturas moldadas no teor de projeto e com -0,5% de ligante apresentaram as menores vidas de fadiga de todas as misturas.

5.5.3.11. ECOFLEX B - Faixa 12,5 mm

Pode-se verificar que apenas a mistura moldada com compactador giratório apresentou vida de fadiga mais alta do que a mistura moldada no teor de projeto com compactador Marshall. A mistura com +0,5% apresentou vida de fadiga muito próxima da mistura moldada no teor de projeto. Além disso, pode-se verificar que a mistura com -0,5% apresentou vida de fadiga mais baixa do que a mistura moldada no teor de ligante de projeto (65,0%).

5.5.3.12. ECOFLEX B - Faixa 19,0 mm

A mistura moldada com teor de ligante de projeto apresentou a maior vida de fadiga quando comparadas com as misturas moldadas em outros teores, sendo que a mistura com -0,25% apresentou pequena variação (-12%) e as misturas com +0,25% e +0,50% apresentaram variação de -35,0% e -28,0%, respectivamente. No entanto, pode-se verificar que a mistura moldada com compactador giratório no teor de projeto apresentou a maior vida de fadiga de todas as misturas, cerca de 2,5 vezes mais alta.

5.5.4. Análise da Vida de Fadiga - Estrutura 3

Considerando a Estrutura 3, pode-se observar o comportamento das misturas conforme descrito a seguir para cada tipo de ligante e faixa granulométrica de 12,5 mm.

5.5.4.1. CAP 30-45

Pode-se verificar que a mistura moldada com compactador giratório apresentou vida de fadiga mais alta do que a mistura moldada no teor de projeto com compactador Marshall, cerca de 4,3 vezes maior mais alta. Além disso, pode-se verificar que a mistura com -0,5% apresentou vida de fadiga mais baixa do que a mistura moldada no teor de ligante de projeto (4,0%).

5.5.4.2. CAP 50-70

Pode-se verificar que a mistura moldada com compactador giratório apresentou a menor vida de fadiga, enquanto que a mistura moldada no teor de projeto com o compactador Marshall apresentou a maior vida de fadiga de todas as misturas.

5.5.4.3. CAP SBS

Os resultados apresentados na **Tabela 22** mostram que a mistura moldada no teor de projeto com o compactador Marshall apresentou a menor vida de fadiga, sendo cerca de 10 vezes menor do que as misturas moldadas com -0,25% e +0,25% e que a mistura moldada com compactador giratório. Além disso, pode-se verificar que a mistura moldada com +0,50% apresentou a maior vida de fadiga, cerca de 15 vezes maior do que a mistura moldada no teor de projeto.

5.5.4.4. ECOFLEX B

Pode-se verificar que a mistura moldada no teor de projeto com o compactador Marshall apresentou a maior vida de fadiga de todas as misturas. Além disso, pode-se observar que a mistura moldada com -0,50% apresentou a menor vida de fadiga.

5.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE MISTURAS DO TIPO CA

A **Tabela 23** apresenta a comparação da vida de fadiga das diferentes misturas, em função do teor de ligante de projeto, resumindo o que foi apresentado no item anterior. Nesta tabela, todas as células em amarelo representam a situação na qual o teor de ligante apresentou vida de fadiga menor que a obtida com a mistura moldada no teor de projeto, considerando as duas estruturas testadas. Sabe-se que estes valores são sempre relativos a uma combinação de módulos e espessuras das camadas consideradas, portanto não podem ser generalizados.

Tabela 23: Comparação da vida de fadiga das misturas densas.

Teor de ligante	CAP 30-45			CAP 50-70			CAP SBS			ECOFLEX B		
	9,5 mm	12,5 mm	19,0 mm	9,5 mm	12,5 mm	19,0 mm	9,5 mm	12,5 mm	19,0 mm	9,5 mm	12,5 mm	19,0 mm
-0,50%	0,38N a 0,43N	0,19N	0,56N a 0,59N	0,33N a 0,41N	0,35N a 0,41N	0,59N a 0,62N	1,21N a 1,251N	1,32N	0,86N a 0,94N	0,74N a 0,95N	0,30N a 0,35N	0,34N
-0,25%	0,57N a 0,59N	0,30N a 0,34N	1,38N a 1,40N	0,37N a 0,41N	0,85N a 0,89N	0,77N a 0,79N	1,60N a 2,17N	1,56N a 1,80N	0,74N a 0,82N	1,24N a 1,53N	0,84N a 0,92N	0,88N a 0,90N
T. Projeto N. Dutra	1,00N	1,00N	1,00N	1,00N	1,00N	1,00N	1,00N	1,00N	1,00N	1,00N	1,00N	1,00N
+0,25%	0,64N a 0,72N	0,47N a 0,49N	0,93N a 0,97N	1,27N a 1,32N	1,17N a 1,31N	1,23N a 1,31N	1,47N a 1,56N	2,19N a 2,52N	1,34N a 1,37N	2,23N a 2,38N	0,73N a 0,75N	0,65N a 0,74N
+0,50%	0,66N a 0,68N	0,84N a 0,88N	1,27N a 1,45N	1,13N a 1,30N	0,52N	0,91N a 0,96N	1,48N a 1,86N	2,17N a 2,37N	1,35N a 1,51N	2,18N a 2,40N	0,84N a 0,96N	0,72N a 0,79N
T. Projeto COPPE	0,83N a 0,91N	0,79N a 1,00N	0,39N a 0,86N	1,23N a 1,74N	0,55N a 0,80N	3,68N a 4,30N	0,75N a 0,88N	1,44N a 1,69N	0,61N a 0,64N	2,17N a 2,32N	1,00N a 1,46N	1,42N a 2,50N

De forma geral, pode-se verificar que o teor de ligante influencia na vida de fadiga das misturas asfálticas, ocorrendo em alguns casos, com pequeno aumento do teor, certo aumento da vida de fadiga. Além disso, pode-se verificar, na maioria dos casos, que um menor teor de ligante é pior do ponto de vista da fadiga. Algumas misturas apresentaram redução de até 70,0% da vida de fadiga quando diminuído o teor em -0,25% e de até 81,0% quando reduzido o teor de ligante em -0,50%.

Pode-se observar que em alguns casos, maior vida de fadiga foi obtida pelas misturas produzidas com compactador giratório, como por exemplo, com o ligante ECOFLEX. Quanto à granulometria dos agregados, pode-se verificar que para faixa granulométrica de 19,0 mm, tanto para CAP 30-45 quanto para CAP 50-70, a vida de fadiga não foi muito elevada, apresentando pequena variação com o teor de ligante quando comparada com as outras misturas de granulometrias diferentes (12,5 mm e 9,5 mm).

No caso das misturas com ligante modificado, pode-se verificar que as misturas com SBS faixa 12,5 mm apresentaram maior vida de fadiga quando comparadas com as misturas de outras granulometrias. No caso das misturas com ECOFLEX, as com granulometria 9,5 mm apresentaram a maior vida de fadiga.

Cabe lembrar que, apesar de pequeno **aumento do teor de ligante** proporcionar, em alguns casos, um **aumento de vida de fadiga**, é importante **analisar também** o comportamento de **resistência à deformação permanente e exsudação**, uma vez que o excesso de ligante pode originar esses tipos de defeitos no pavimento.

A partir da análise dos resultados de fadiga foi elaborada a **Tabela 24** com uma proposta de novos teores de ligante para as misturas marcadas em amarelo.

Tabela 24: Proposta de novos teores de ligante para as misturas densas avaliadas.

Tipo de Ligante		CAP 30-45			CAP 50-70			CAP SBS			ECOFLEX B		
Faixa Granulométrica		9,5 mm	12,5 mm	19,0 mm	9,5 mm	12,5 mm	19,0 mm	9,5 mm	12,5 mm	19,0 mm	9,5 mm	12,5 mm	19,0 mm
Nova Dutra	Teor de Projeto	5,60	4,90	4,60	4,80	4,20	4,50	5,20	4,70	4,10	5,90	5,30	4,70
	Novo Teor	5,60	4,90	4,60	5,10	4,80	4,50	5,50	5,00	4,50	6,20	5,30	4,70
COPPE	Teor de Projeto	5,60	4,45	4,60	5,10	4,20	4,50	5,20	4,70	4,10	5,90	5,30	4,70
	Novo Teor	5,60	4,90	4,60	5,10	4,80	4,50	5,50	5,00	4,50	6,20	5,30	4,70

6. STONE MATRIX ASPHALT, SMA

O SMA apresenta granulometria descontínua, composta por uma maior fração de agregados graúdos britados, uma massa de ligante/filer (cerca de 10% passando na peneira #200), chamada de mástique, e aproximadamente 4,0% de volume de vazios. Essas misturas formam um esqueleto de alta estabilidade devido ao contato pedra-pedra e necessitam de um teor de ligante superior ao teor de misturas densas (cerca de 1,0 a 1,5%), o que implica na adição de uma fibra para evitar que ocorra o escorrimento de material asfáltico durante o processo de construção (produção e aplicação da mistura) e, particularmente, durante o transporte. A fibra pode ser de celulose, poliéster etc.

6.1. MATERIAIS

Os agregados utilizados na mistura de SMA são provenientes da Pedreira Santa Isabel e o calcário é proveniente da Britamax. Na **Tabela 25** são apresentadas a granulometria e as densidades dos agregados, assim como os limites da faixa granulométrica 12,5 mm da AASHTO MP 325-08 e a curva granulométrica da mistura SMA desta pesquisa.

Tabela 25: Granulometria, densidades dos agregados e curva granulométrica do SMA desta pesquisa.

Peneira		Brita 1/2	Pedrisco	Pó de Pedra	Calcário	Cal	AASHTO		Curva granulométrica
#	mm	53,0	21,0	22,0	2,0	2,0	mínimo	máximo	
3/4"	19,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1/2"	12,5	83,5	100,0	100,0	100,0	100,0	90,0	100,0	91,3
3/8"	9,5	22,6	97,9	100,0	100,0	100,0	50,0	80,0	58,5
Nº 4	4,75	1,8	18,9	97,2	100,0	100,0	20,0	35,0	30,3
Nº 8	2,36	1,5	8,0	74,0	100,0	100,0	16,0	24,0	22,8
Nº 200	0,075	0,7	1,6	17,4	90,0	90,0	8,0	11,0	8,1
Densidade real		2,803	2,804	2,834	2,994	2,450			
Densidade aparente		2,752	2,724	2,820	2,836	2,450			

A **Figura 45** apresenta as curvas granulométricas dos agregados e a **Figura 46** apresenta os limites da faixa 12,5 mm da AASHTO e a curva granulométrica da mistura avaliada nesta pesquisa.

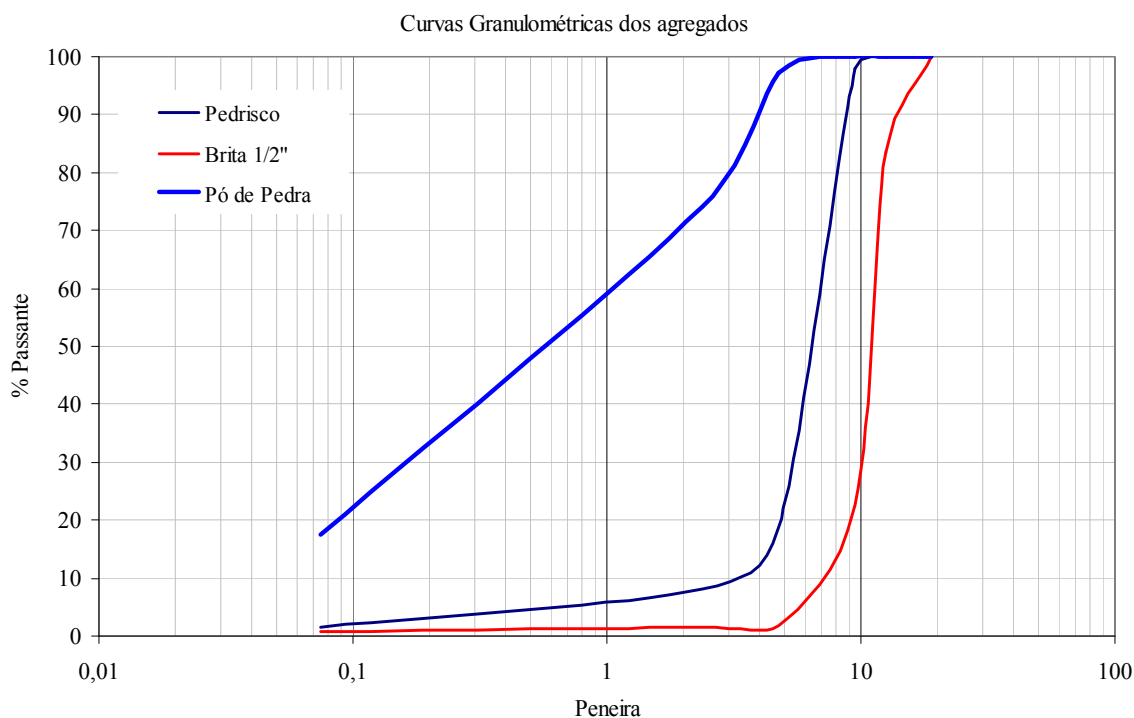


Figura 45: Curvas granulométricas dos agregados da mistura SMA avaliada nesta pesquisa.

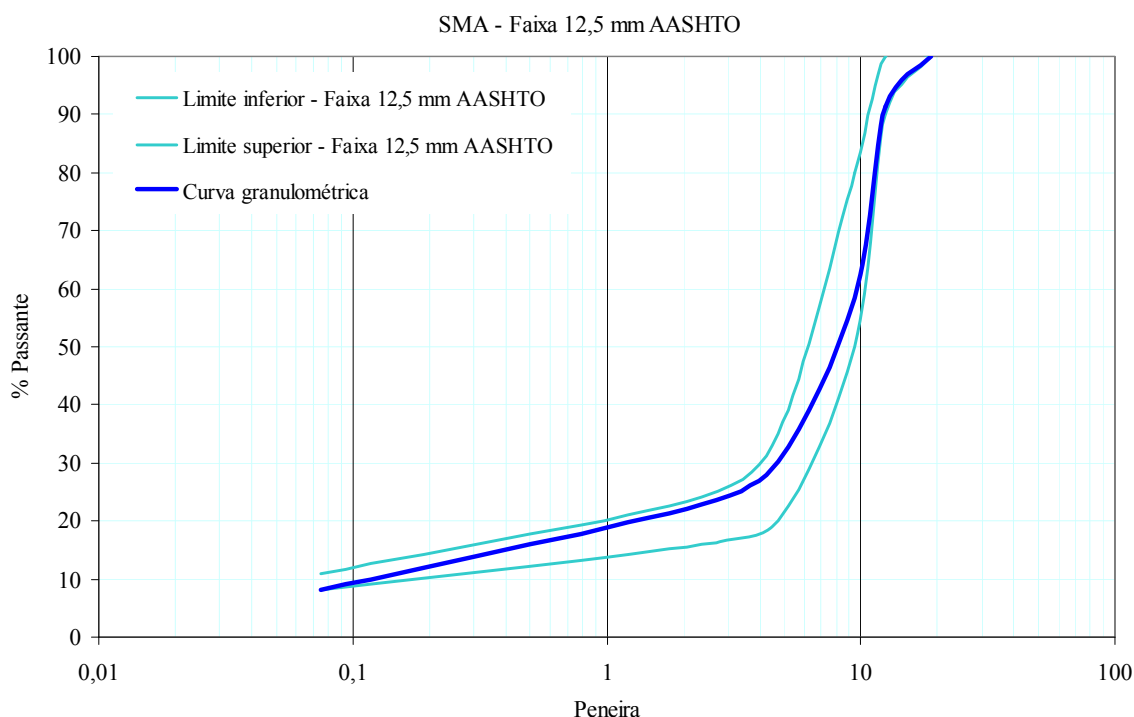


Figura 46: Limites da faixa 12,5 mm AASHTO e curva granulométrica do SMA desta pesquisa.

Foram utilizados na produção de misturas do tipo SMA dois ligantes asfálticos convencionais: CAP 30-45 e CAP 50-70, sendo que suas características estão apresentadas na **Tabela 26**.

Tabela 26: Características dos ligantes asfálticos usados nesta pesquisa para o SMA.

Características	Unidades	CAP 30-45	CAP 50-70
Densidade	-	1,050	1,010
Viscosidade Saybolt-Furol a 135°C	s	284	172
Viscosidade Saybolt-Furol a 150°C	s	138	81
Viscosidade Saybolt-Furol a 177°C	s	45	33
Penetração (100g, 5s e 25°C)	0,1 mm	44	47
Ponto de amolecimento	°C	56	52

A **Tabela 27** apresenta as temperaturas dos agregados, de mistura e de compactação, obtidas das curvas de viscosidade x temperatura para cada ligante asfáltico.

Tabela 27: Temperaturas dos agregados, de mistura e de compactação do SMA.

Ligante	Temperatura dos agregados (°C)	Temperatura de mistura (°C)	Temperatura de compactação (°C)
CAP 30-45	165	152 (149 a 155)	146 (144 a 148)
CAP 50-70	164	151 (148 a 154)	139 (137 a 141)

6.2. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA - MÉTODO BAILEY

O método Bailey consiste em uma forma de seleção granulométrica que visa escolha de uma estrutura adequada de agregados de misturas densas e descontínuas (CUNHA 2004). O método permite também ajustes na quantidade de vazios das misturas em função da porcentagem de cada material e considera o intertravamento dos agregados grãos o principal fator relacionado à resistência à deformação permanente da mistura (NASCIMENTO, 2008).

Esta seleção granulométrica está relacionada diretamente com as características de compactação de cada fração de agregado na mistura, com os vazios do agregado mineral (VAM) e com os vazios da mistura (Vv). Possibilita a seleção da estrutura de agregados da mistura visando maior intertravamento dos agregados grãos, seu uso é compatível com qualquer metodologia de dosagem: Superpave, Marshall, Hveem etc. (CUNHA, 2004).

Inicialmente foi determinado o tamanho máximo nominal, que é definido como sendo a abertura da primeira peneira que retém mais de 10,0% de material da amostra da granulometria total em avaliação. Nesse trabalho, **TMN = 12,5 mm**.

Em seguida foram definidas as peneiras de controle e as proporções dos materiais. As proporções são determinadas a partir das peneiras de controle:

- Peneira de Controle Primário (PCP)
- Peneira de Controle Secundário (PCS)
- Peneira de Controle Terciário (PCT)
- Peneira Média (PM)

- Proporção AG (agregados graúdos)
- Proporção GAF (graúda dos agregados finos)
- Proporção FAF (fina dos agregados finos)

No Método Bailey, a peneira que define o limite entre agregado graúdo e agregado miúdo é conhecida como Peneira de Controle Primário (PCP), e a PCP é baseada no **TMN** da mistura de agregado.

Todo material que fica retido na PCP é considerado agregado graúdo. O material que passa na PCP e fica retido na PCS é a fração graúda do agregado fino e o material que passa na PCS é considerado como fração fina do agregado fino. A **PCT** é usada para avaliação da fração fina do agregado fino e a **PM** para avaliação da fração graúda da mistura.

Na **Tabela 28** estão apresentadas as peneiras de controle para misturas do tipo SMA, em função de vários TMN.

Tabela 28: Peneiras de controle para misturas do tipo SMA

Peneiras	TMN, mm			
	19,0	12,5	9,5	4,75
PM	9,5	**	4,75	2,36
PCP	4,75	2,36	2,36	1,18
PCS	1,18	0,60	0,60	0,30
PCT	0,30	0,150	0,150	0,075

**A PM “típica” mais próxima para uma mistura de TMN de 12,5 mm é a de 4,75 mm. No entanto, a peneira de 6,25 mm serve como um ponto de interrupção. Interpolando o valor da porcentagem passante pela peneira de 6,25 mm para uso na proporção GA trará um valor de proporção mais representativo.

A PCP é determinada a partir da multiplicação do tamanho nominal máximo da mistura (TMN) por 0,22:

$$\mathbf{PCP = TMN \times 0,22} \quad (6)$$

O fator 0,22 tem origem em análises, em duas e três dimensões, de compactação de agregados de diferentes formas e tamanhos (VAVRIK *et al*, 2002).

A PCS é definida como o produto do valor encontrado de PCP pelo fator 0,22 e a PCT pelo produto entre a PCS e o mesmo fator 0,22 conforme expressões seguintes:

$$\mathbf{PCS = PCP \times 0,22} \quad (7)$$

$$\mathbf{PCT = PCS \times 0,22} \quad (8)$$

Portanto, as peneiras de controle para os agregados em estudo são:

- PM = 6,25 mm
- PCP = 2,36 mm
- PCS = 0,60 mm
- PCT = 0,15 mm

A análise da mistura se faz por meio dos seguintes parâmetros: proporção AG, proporção GAF e proporção FAF dados pelas expressões:

$$\text{Proporção AG} = \frac{\% \text{ passante na PM} - \% \text{ passante na PCP}}{100\% - \% \text{ passante na PM}} \quad (9)$$

$$\text{Proporção GAF} = \frac{\% \text{ passante na PCS}}{\% \text{ passante na PCP}} \quad (10)$$

$$\text{Proporção FAF} = \frac{\% \text{ passante na PCT}}{\% \text{ passante na PCS}} \quad (11)$$

A **Tabela 29** apresenta as porcentagens passantes das peneiras de controle definidas a partir da mistura de agregados da faixa de trabalho. Na **Tabela 30** estão indicadas as faixas recomendadas das proporções dos agregados em misturas do tipo SMA, segundo VAVRIK *et al.* (2002). Na **Tabela 31** estão apresentados os resultados das proporções obtidos após peneiramento.

Tabela 29: Porcentagem passante das peneiras de controle do método Bailey do SMA deste estudo.

Peneiras		% Passante
Controle	mm	
PM	6,25	38,5
PCP	2,36	22,8
PCS	0,60	17,0
PCT	0,15	13,0

Tabela 30: Faixas recomendadas para proporções de agregados de SMA deste estudo.

Proporções	TMN, mm		
	19,0	12,5	9,5
AG	0,35-0,50	0,25-0,40	0,15-0,30
GAF	0,60-0,85	0,60-0,85	0,60-0,85
FAF	0,65-0,90	0,60-0,85	0,60-0,85

Fonte: VAVRIK *et al.* (2002).

Tabela 31: Resultado das proporções AG, GAF e FAF obtidos após peneiramento.

Proporções	Valores calculados
AG	0,26
GAF	0,75
FAF	0,76

Pode-se observar pelos resultados da **Tabela 31** que as proporções adotadas nesta pesquisa atendem os limites para agregados de TMN = 12,5 mm recomendados para misturas do tipo SMA pelo método Bailey.

Além disso, o SMA deve necessariamente apresentar um esqueleto pétreo onde seja garantido o contato entre os grãos de agregados graúdos. Este contato é garantido quando o VCA_{MIX} (vazios da fração graúda do agregado na mistura compactada) é menor ou igual ao VCA_{DRC} (vazios da fração graúda do agregado compactado) (NAPA, 1999), ou seja, quando os agregados graúdos, em sua grande maioria com dimensões similares, tocam-se, formam-se vazios que devem ser ocupados, em parte, por um mástique, composto por agregados na fração areia, filer, asfalto e fibras. Deve-se sempre manter vazios com ar para que a mistura não exsude e possa ainda sofrer compactação adicional pelo tráfego (BERNUCCI *et al.*, 2007).

Para determinar o VCA_{MIX} (vazios da fração graúda do agregado na mistura compactada) e o VCA_{DRC} (vazios da fração graúda do agregado compactado) devem ser utilizadas as seguintes expressões:

$$VCA_{DRC} = \left(\frac{G_{sb-g} G_w - G_s}{G_{sb-g} G_w} \right) \times 100 \quad (12)$$

onde:

VCA_{DRC} = vazios da fração graúda do agregado compactado, %;

G_s = massa específica da fração graúda do agregado seco compactado, g/cm³;

G_w = massa específica da água (0,998 g/cm³);

G_{sb-g} = massa específica aparente da fração graúda do agregado, g/cm³.

$$VCA_{MIX} = 100 - \left(\frac{G_{mb}}{G_{sb-g}} \times P_{CA} \right) \quad (13)$$

onde:

VCA_{MIX} = vazios da fração graúda do agregado na mistura compactada, %;

G_{mb} = massa específica aparente da mistura compactada, g/cm³;

G_{sb-g} = massa específica aparente da fração graúda do agregado, g/cm³;

P_{CA} = % de fração graúda do agregado em relação ao peso total da mistura.

A fração de agregado graúdo é definida como sendo a porção relativa à mistura total de agregados, retida numa determinada peneira que varia de acordo com o diâmetro máximo nominal dos agregados, como apresentado na **Tabela 32**.

Tabela 32: Definição da fração graúda de agregado da mistura SMA.

Tamanho máximo nominal dos agregados		Porção de agregado retida na peneira	
mm	Peneira	mm	Peneira
25,0	1"	4,75	Nº 4
19,0	¾"	4,75	Nº 4
12,5	½"	4,75	Nº 4
9,5	3/8"	2,36	Nº 8
4,75	Nº 4	1,18	Nº 16

Fonte: NAPA (1999).

Nesse trabalho, o **TMN** dos agregados disponíveis para a mistura de SMA é **12,5 mm**, o que implica dizer que a peneira que define a fração graúda do agregado, segundo a **Tabela 32**, é a **4,75 mm**.

Para verificar se o VCA_{MIX} é menor ou igual ao VCA_{DRC} são necessários os seguintes dados:

- massa específica da fração graúda do agregado seco compactado, $G_s = 1520 \text{ kg/m}^3$
- % de fração graúda da mistura de agregados, $PCA = 69,7\%$
- massa específica aparente da fração graúda do agregado, $G_{sb-g} = 2,740 \text{ g/cm}^3$
- massa específica aparente da mistura compactada, $G_{mb} = 2,530 \text{ g/cm}^3$

Aplicando os dados nas equações (12) e (13) tem-se:

$$VCA_{DRC} = \left(\frac{2,740 \times 0,998 - 1,520}{2,740 \times 0,998} \right) \times 100 \Rightarrow \boxed{VCA_{DRC} = 44,3\%}$$

$$VCA_{MIX} = 100 - \left(\frac{2,530}{2,740} \times 69,7 \right) \Rightarrow \boxed{VCA_{MIX} = 35,6\%}$$

Como $VCA_{MIX} < VCA_{DRC}$ significa que existe contato entre os grãos de agregados graúdos e, portanto, a granulometria dos materiais está adequada para mistura do tipo SMA. No entanto, para que o agregado possa ser utilizado nas misturas de SMA é necessário realizar análise de resistência das partículas quanto ao desgaste por abrasão Los Angeles, além da dosagem do teor de ligante e avaliação mecânica da mistura de SMA.

As especificações **AASHTO MP 325-08** e **0/11S**, assim como a **EN-000/00-0000.00-GER-A1-PV/ES-E-006-R2**, determinam que os agregados devem apresentar porcentagem de desgaste por abrasão Los Angeles igual ou inferior a 30,0%. No entanto, os agregados disponíveis, Brita 1 e pedrisco, apresentavam valores superiores a 30,0%, de 39,0% e 44,0%, respectivamente, não atendendo a especificação. Por esse motivo, o recomendado foi trocar a origem dos agregados. Como isso não foi possível, procedeu-se a dosagem do SMA mesmo assim.

6.3. DOSAGEM DE SMA - AASHTO

A dosagem do SMA (*Stone Matrix Asphalt*) foi realizada de acordo com a norma **AASHTO MP 325-08**, equivalente a Faixa Alemã 0/11S. Em função da granulometria dos agregados, a faixa granulométrica selecionada foi a **12,5 mm**. Para moldagem de corpos de prova no compactador giratório de misturas do tipo SMA, a especificação AASHTO MP 325-08 recomenda que o número de giros seja igual a 100. No entanto, quando o agregado apresenta desgaste por Abrasão Los Angeles superior a 30,0%, a especificação recomenda que o número de giros seja reduzido para 75 giros.

A especificação AASHTO MP 325-08 recomenda que se adicione algum tipo de fibra para evitar que ocorra o escorrimento de material asfáltico durante o processo de construção (produção e aplicação da mistura), e particularmente durante o transporte, uma vez que o teor de asfalto das misturas SMA geralmente é superior ao teor de misturas densas. Nesse trabalho foi empregada 0,3% de fibra VIATOP.

6.3.1. SMA, Faixa 12,5mm AASHTO, com CAP 30-45

Para determinar o teor de projeto da mistura SMA, faixa granulométrica 12,5 mm da AASHTO MP 325-08 foram moldados 3 corpos de prova no compactador giratório para cada teor (5,00%, 5,50%, 6,00% e 6,50%) de ligante CAP 30-45, empregando **75 giros**.

Após a moldagem dos corpos de prova foram determinados os parâmetros volumétricos (V_v , VAM, RBV e massa específica aparente) e mecânicos de cada corpo de prova, CP (resistência à tração, RT, e módulo de resiliência, MR).

Além disso, foi determinada a densidade máxima da mistura correspondente a cada teor de ligante. A partir desses resultados foram elaborados gráficos mostrando: variação de V_v , VAM e RBV versus o teor de ligante asfáltico. Conforme a AASHTO MP 325-08, o teor de ligante asfáltico de projeto deve ser determinado para um volume de vazios de 4,0%. Os parâmetros volumétricos obtidos dos CPs estão apresentados na **Tabela 33** e na **Figura 47** se apresenta o gráfico Volume de vazios x Teor de ligante.

Tabela 33: Parâmetros volumétricos da mistura SMA com CAP 30-45, faixa 12,5 mm.

Teor de ligante (%)	Massa específica aparente (g/cm ³)	Densidade máxima da mistura, Gmm	Volume de Vazios (%)	VAM (%)	RBV (%)
5,00%	2,529	2,590	2,37	14,41	83,54
5,50%	2,540	2,570	1,17	14,48	91,89
6,00%	2,536	2,551	0,58	15,07	96,18
6,50%	2,530	2,532	0,08	15,74	99,51

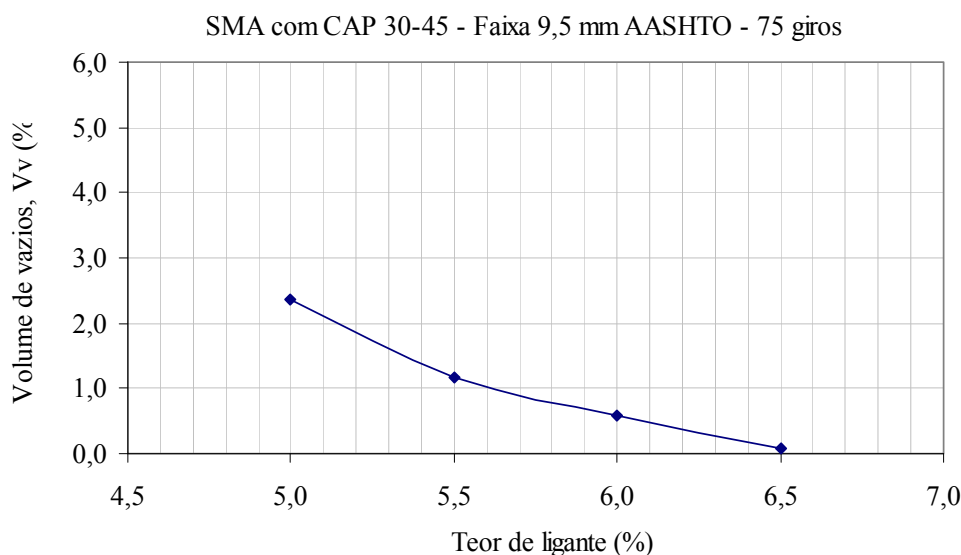


Figura 47: Vv x Teor de ligante de SMA com CAP 30-45, faixa 12,5 mm, 75 giros.

A partir dos resultados dos parâmetros volumétricos, não foi possível determinar o teor de projeto da mistura do tipo SMA, considerando o Vv de 4,0%, que atendesse o teor mínimo de ligante asfáltico de 6,00% e o valor mínimo de VAM (de 17,0%), uma vez que o máximo volume de vazios obtido foi de 2,25%, ficando muito abaixo do valor estabelecido pela especificação. Por esse motivo foi feita uma análise para tentar identificar o que poderia estar influenciando nos resultados da dosagem.

Em misturas descontínuas do tipo SMA, o valor baixo de vazios pode ser provocado por uma granulometria inadequada, não proporcionando o intertravamento entre partículas dos agregados ou pela quebra das partículas dos agregados, reduzindo o volume de vazios deixado pelos agregados graúdos.

A verificação do intertravamento das partículas dos agregados foi realizada a partir da análise granulométrica pelo método Bailey, onde se pôde verificar que a granulometria escolhida apresenta bom intertravamento das partículas, não sendo, portanto, a causa do problema.

Para verificar se estava ocorrendo a quebra das partículas foi feita a extração do ligante da mistura que havia sido compactada (CP) empregando um forno que não necessita de solventes (**Figura 48**) e realizada a análise da granulometria dos agregados. O CP é colocado em estufa para que a mistura fique solta (**Figura 49**) antes de ser colocado no forno para realizar a extração do ligante. A temperatura do ensaio é de 538°C. O resultado da análise granulométrica é apresentado na **Tabela 34** e na **Figura 50**.



Figura 48: Forno utilizado para realizar a extração do ligante.



Figura 49: Mistura de SMA antes e após a extração do ligante.

Tabela 34: Análise granulométrica dos agregados do SMA após a extração do ligante.

Peneira		Faixa 12,5 mm AASHTO		Faixa de trabalho		Material após extração do ligante	
#	mm	mínimo	máximo	% passante	% retida	% passante	% retida
3/4"	19,0	100,0	100,0	100,0	0,0	100,0	0,0
1/2"	12,5	90,0	100,0	91,3	8,7	97,3	2,7
3/8"	9,5	50,0	80,0	58,5	32,7	67,0	30,3
Nº 4	4,75	20,0	35,0	30,3	28,3	40,3	26,6
Nº 8	2,36	16,0	24,0	22,8	7,5	28,5	11,8
Nº 200	0,075	8,0	11,0	8,1	14,7	7,8	20,7
fundo					8,1		10,6

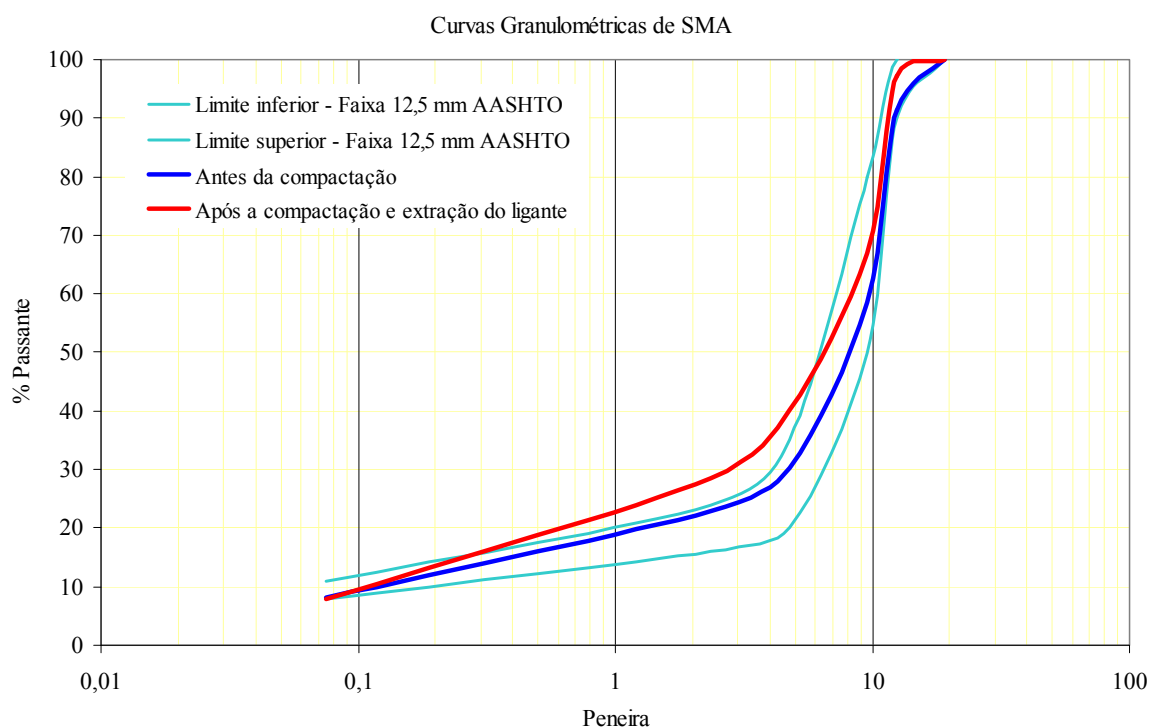


Figura 50: Curvas granulométricas da mistura SMA antes e após a compactação e extração do ligante.

Pode-se verificar pelos resultados da análise granulométrica pós-compactação que a quantidade de material mais graúdo foi reduzida, indicando que os agregados podem ter se quebrado, uma vez que também a quantidade de materiais finos aumentou, conforme pode ser observado na **Figura 50**, em que a curva fica fora dos limites da especificação. Isso pode ter acontecido devido a baixa resistência ao choque dos agregados, com indicada pelo resultado do desgaste de abrasão Los Angeles.

Foi realizada nova dosagem, onde foram moldados novos corpos de prova no compactador giratório empregando somente **50 giros**. Após a moldagem dos corpos de prova foram determinados os parâmetros volumétricos (V_v , VAM, RBV e massa específica aparente) e mecânicos de cada corpo de prova, CP preparados para determinar as características de resistência à tração (RT) e módulo de resiliência (MR). A partir desses resultados foram elaborados gráficos mostrando: variação de V_v , VAM e RBV versus o teor de ligante asfáltico. Os parâmetros volumétricos obtidos dos CPs estão apresentados na **Tabela 35** e na **Figura 51** se apresenta o gráfico Volume de vazios x Teor de ligante.

Tabela 35: Parâmetros volumétricos do SMA com CAP 30-45 moldados com 50 giros.

Teor de ligante (%)	Massa específica aparente (g/cm ³)	Densidade máxima da mistura	Volume de Vazios (%)	VAM (%)	RBV (%)	MR (MPa)	RT (MPa)
4,50%	2,459	2,589	4,99	15,53	67,89	10.105	1,63
5,00%	2,491	2,569	3,02	14,88	79,72	7.333	1,68
5,50%	2,509	2,549	1,57	14,71	89,33	7.252	1,69
6,00%	2,512	2,529	0,67	15,02	95,55	6.859	1,66

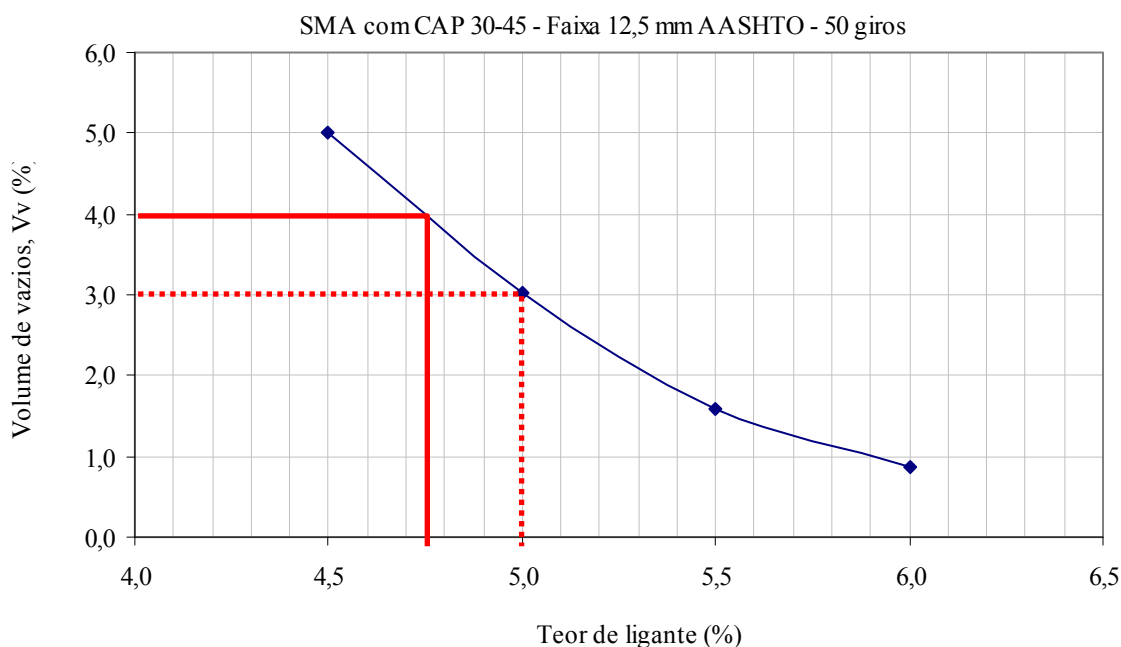


Figura 51: Vv x Teor de ligante de SMA com CAP 30-45, faixa 12,5 mm, 50 giros.

A partir desses resultados, pode-se verificar que o teor de projeto para a mistura de SMA com CAP 30-45, faixa 12,5 mm para Vv de 4,0% é de 4,75%. Se for considerado Vv de 3,0%, o teor de projeto é de 5,00%. Vale ressaltar que esses teores **não atendem** ao valor mínimo de 6,00% recomendado pela especificação AASHTO MP 325-08 e da EN-000/00-0000.00-GER-A1-PV/ES-E-006-R2.

6.3.2. SMA, Faixa 12,5mm AASHTO, com CAP 50-70

Para determinar o teor de projeto para mistura SMA, faixa granulométrica 12,5 mm da AASHTO MP 325-08, foram moldados 3 corpos de prova no compactador giratório para cada teor (4,50%, 5,00%, 5,50%, 6,00% e 6,50%) de ligante CAP 50-70. Inicialmente foram moldados os corpos de prova no compactador giratório com 75 giros. Na **Tabela 36** estão apresentados os resultados dos parâmetros volumétricos e na **Figura 52** é apresentado o gráfico Volume de vazios x Teor de ligante.

Tabela 36: Parâmetros volumétricos da mistura SMA com CAP 50-70 preparados com 75 giros.

Teor de ligante (%)	Massa específica aparente (g/cm ³)	Densidade máxima da mistura	Volume de Vazios (%)	VAM (%)	RBV (%)	MR (MPa)	RT (MPa)
4,50%	2,502	2,599	3,75	14,47	74,10	8503	1,67
5,00%	2,519	2,578	2,26	14,26	84,14	6815	1,69
5,50%	2,522	2,557	1,36	14,57	90,64	7737	1,66
6,00%	2,517	2,536	0,78	15,16	94,89	8606	1,67
6,50%	2,506	2,516	0,40	15,92	97,47	8678	1,39

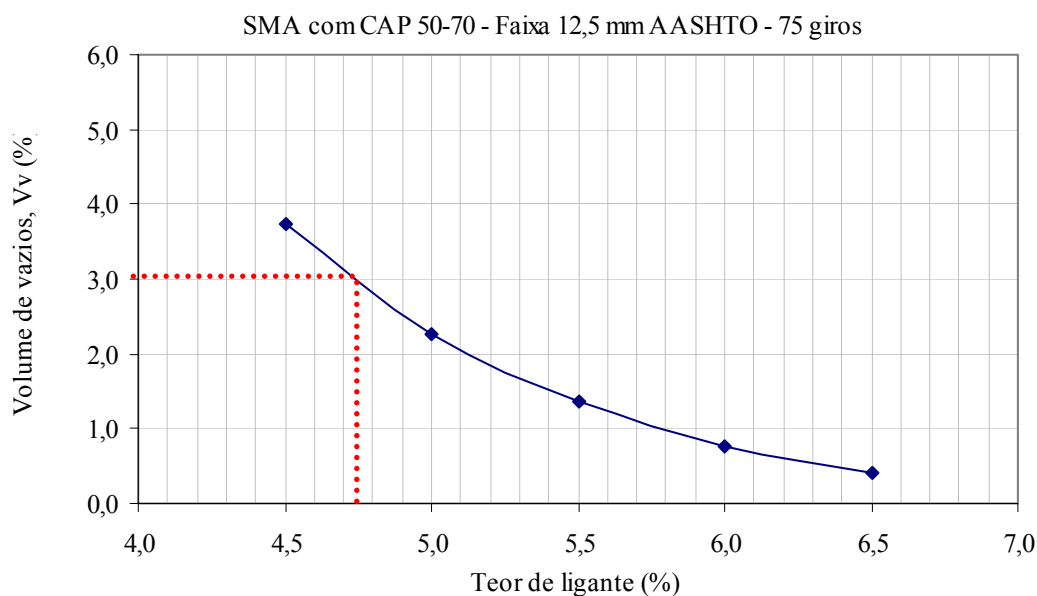


Figura 52: Vv x Teor de ligante de SMA com CAP 50-70, faixa 12,5 mm, 75 giros.

A partir dos resultados dos parâmetros volumétricos, não foi possível determinar o teor de projeto da mistura do tipo SMA, considerando o Vv de 4,0%, que atendesse o teor mínimo de ligante asfáltico de 6,00% e o valor mínimo de VAM de 17,0%.

Por esse motivo foi realizada nova dosagem, onde foram moldados corpos de prova, no compactador giratório, considerando **50 giros**. Após a moldagem dos corpos de prova foram determinados os parâmetros volumétricos (Vv, VAM, RBV e massa específica aparente) e mecânicos de cada corpo de prova (RT e MR). A partir desses resultados foram elaborados gráficos mostrando: variação da porcentagem de Vv, VAM e RBV versus o teor de ligante asfáltico. Os parâmetros volumétricos obtidos dos CPs estão apresentados na **Tabela 37** e na **Figura 53** é apresentado o gráfico Volume de Vazios x Teor de ligante.

Tabela 37: Parâmetros volumétricos da mistura SMA com CAP 50-70 preparado com 50 giros.

Teor de ligante (%)	Massa específica aparente (g/cm ³)	Densidade máxima da mistura	Volume de Vazios (%)	VAM (%)	RBV (%)	MR (MPa)	RT (MPa)
4,50%	2,465	2,608	5,49	16,06	65,79	7.941	1,67
5,00%	2,494	2,586	3,57	15,44	76,91	7.424	1,87
5,50%	2,510	2,565	2,17	15,32	85,82	7.356	1,84
6,00%	2,515	2,545	1,17	15,54	92,47	6.714	1,86

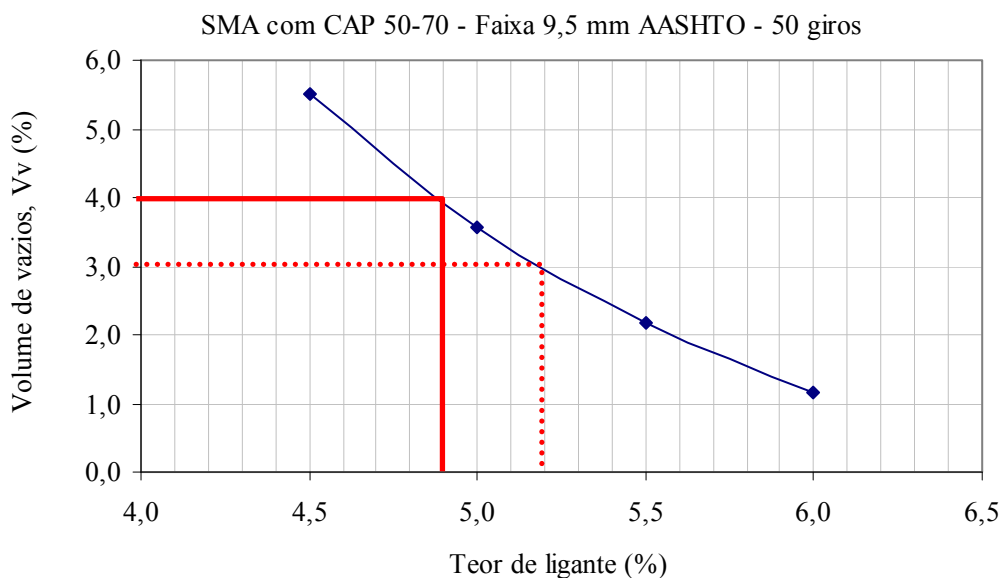


Figura 53: Vv x Teor de ligante de SMA com CAP 50-70, faixa 12,5 mm, 50 giros.

Segundo mostra a Figura 13, pode-se verificar que o teor de projeto correspondente ao volume de vazios de 4,0% para a mistura de SMA com CAP 50-70, faixa 12,5 mm AASHTO é de **4,90%**. Se for considerado volume de vazios de 3,0%, o teor de projeto é de **5,20%**. Vale ressaltar que esses teores **não atendem** ao valor mínimo de 6,00% recomendado pela especificação AASHTO MP 325-08 e da EN-000/00-0000.00-GER-A1-PV/ES-E-006-R2.

Como não foi possível atender as especificações com os agregados disponíveis, nem na condição de energia mínima, foi decidido pelos pesquisadores da Nova Dutra e COPPE/UFRJ que não seria realizada a moldagem dos CPs nos teores de projeto (e suas variações) com os compactadores Marshall e giratório.

6.4. RESUMO DAS DOSAGENS

Na **Tabela 38** está apresentado um resumo dos teores de projeto das misturas SMA estudadas, determinadas para volume de vazios de 4,0%.

Tabela 38: Resumo dos teores de ligante das misturas SMA estudadas nesta pesquisa.

Tipo de Mistura	Tipo de Ligante	Número de giros ou golpes	Teor de Projeto (%)	
			Nova Dutra	COPPE
SMA Faixa 12,5 mm AASHTO	CAP 30-45 - REVAP	75 golpes	5,40	-
		100 giros	-	*
		75 giros	-	*
		50 giros	-	4,75
	CAP 50-70 - REVAP	75 golpes	4,70	-
		100 giros	-	*
		75 giros	-	*
		50 giros	-	4,90

*não foi possível determinar o teor de projeto para 4,0% de Vv.

6.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE MISTURAS DO TIPO SMA

Geralmente misturas descontínuas do tipo SMA são aplicadas na construção de pavimentos com a função de suportar tráfego pesado. Isso torna imprescindível atender um padrão de qualidade dos materiais empregados, principalmente dos agregados, uma vez que esse tipo de mistura é composto por maior quantidade de agregados graúdos, que servem para formar o esqueleto mineral que suporta as cargas do tráfego. A resistência ao desgaste por abrasão Los Angeles é um dos parâmetros considerado na seleção dos agregados, juntamente com a composição granulométrica da mistura dos materiais, avaliada através do intertravamento das partículas. O intertravamento das partículas dos agregados é essencial, pois pode influenciar na estabilidade da mistura e se não atendido provocar o surgimento de deformações permanentes.

Nesse trabalho pode-se verificar que as misturas SMA testadas não atenderam as especificações, pois o teor de ligante mínimo não foi alcançado e também porque os agregados graúdos apresentaram desgaste elevado, apesar de apresentarem composição granulométrica adequada. Sendo assim, a recomendação é que, caso seja de interesse aplicar uma mistura do tipo SMA, deve ser realizada a troca da origem de agregados e uma nova dosagem. Também podem ser testados ligantes modificados.

7. GAP GRADED, GG

O *gap graded* consiste de uma mistura de graduação descontínua, porém densa, que resulta em macrotextura superficial aberta ou rugosa, atende limite de vazios entre 4,0% a 6,0%, com características de conforto e segurança adequadas ao tráfego. Sua drenagem se dá pelo escoamento superficial proporcionado pelo nível maior de rugosidade, sem haver percolação pelo interior da camada o que proporciona também maior desempenho às solicitações de cargas. Esse tipo de mistura tem sido empregado como camada estrutural de revestimento asfáltico e vem sendo utilizado no país com asfaltos modificados por polímero ou por borracha. Neste trabalho foi selecionada a faixa 19,0 mm da CALTRANS (Departamento de Transportes do Estado da Califórnia, EUA).

7.1. MATERIAIS

Os agregados utilizados nesta pesquisa para as misturas GG, provenientes da Pedreira Pombal, foram fornecidos pela Concessionária Nova Dutra. Na **Tabela 39** e na **Figura 54** apresentam as características granulométricas dos materiais. Na **Tabela 40** e na **Figura 55** são apresentadas: a faixa de trabalho e os limites da faixa de 19,0 mm da CALTRANS para misturas do tipo *Gap Graded*.

Tabela 39: Características dos materiais pétreos usados nesta pesquisa para mistura *gap graded*.

Peneira #	mm	Brita 1	Pedrisco	Pó de pedra	Cal CH I
1"	25,4	100,0	100,0	100,0	100,0
3/4"	19,1	98,7	100,0	100,0	100,0
1/2"	12,7	46,6	99,9	100,0	100,0
3/8"	9,52	19,2	89,4	100,0	100,0
Nº 4	4,75	3,0	19,2	98,6	98,0
Nº8	2,00	1,4	3,5	88,6	98,0
Nº 200	0,075	0,6	0,8	9,7	90,0
Densidade real		2,786	2,800	2,638	2,450
Densidade aparente		2,735	2,697	2,628	2,450

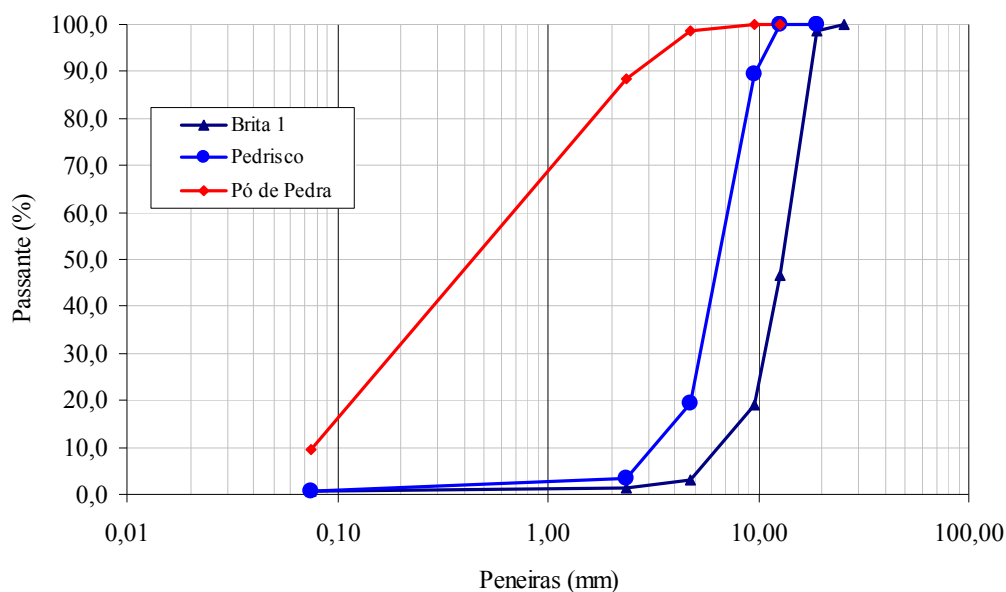


Figura 54: Curvas granulométricas dos materiais usados nesta pesquisa para mistura *gap graded*.

Tabela 40: Curva granulométrica do GG desta pesquisa e limites da faixa 19,0 mm CALTRANS.

Peneira		% Passante						
#	mm	Brita 1	Pedrisco	Pó de Pedra	Cal	Mínimo	Máximo	Curva granulométrica
1"	25,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
3/4"	19,0	98,7	100,0	100,0	100,0	95,0	100,0	99,6
1/2"	12,5	46,6	99,9	100,0	100,0	83,0	87,0	83,4
3/8"	9,5	19,2	89,4	100,0	100,0	65,0	70,0	69,6
Nº4	4,75	3,0	19,2	98,6	98,0	28,0	42,0	29,3
Nº8	2,36	1,4	3,5	88,6	98,0	14,0	22,0	19,2
Nº200	0,075	0,6	0,8	9,7	90,0	0,0	6,0	3,6
		31,0%	50,0%	17,5%	1,5%			

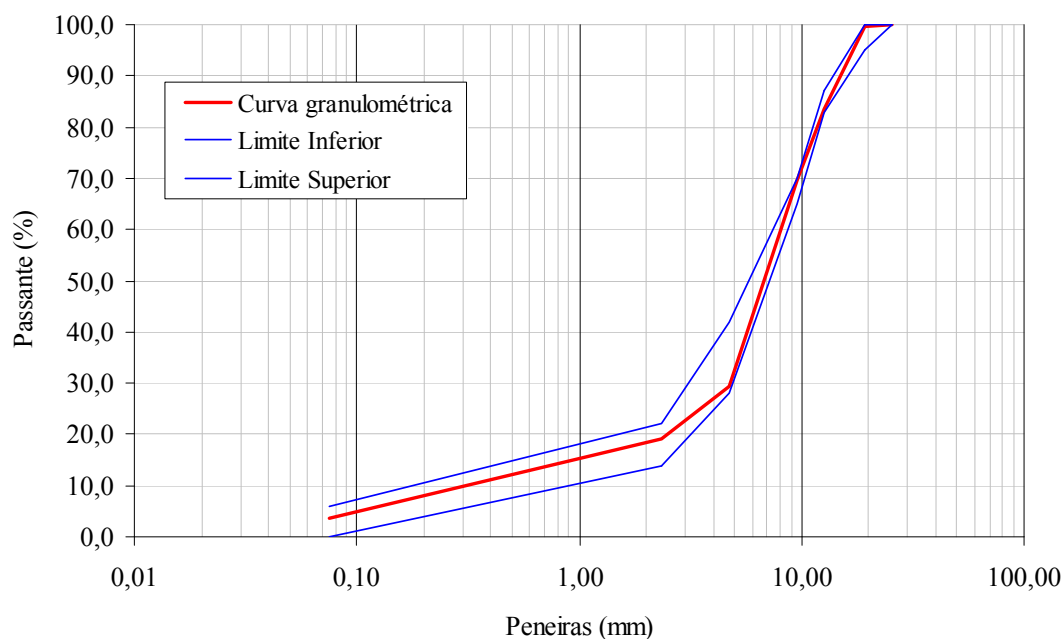


Figura 55: Curva granulométrica do GG desta pesquisa e limites da faixa 19,0 mm CALTRANS.

Para a produção das misturas do tipo *gap graded* foram selecionados dois ligantes modificados: CAP Borracha ECOFLEX Pave B e STYLINK Tipo 60/85 PG 76-22. Na **Tabela 41** são apresentadas as principais características dos ligantes utilizados nesta pesquisa para GG.

Tabela 41: Características dos ligantes asfálticos utilizados nesta pesquisa para mistura GG.

Características	Unidades	CAP Borracha ECOFLEX Pave B	STYLINK Tipo 60/85 PG 76-22
Densidade	-	1,030	1,008
Viscosidade Brookfield a 135°C, sp3, 20rpm	cP	-	1112
Viscosidade Brookfield a 150°C, sp3, 20rpm	cP	-	573
Viscosidade Brookfield a 175°C, sp3, 20rpm	cP	1650	218
Penetração (100g, 5s e 25°C)	0,1mm	55	43
Ponto de fulgor	°C	>240	>235
Ponto de amolecimento	°C	59	71
Recuperação elástica, 25°C	%	73	90

As temperaturas de mistura e de compactação foram fornecidas pelos fabricantes dos produtos e estão apresentados na **Tabela 42**: temperaturas do ligante de mistura, de compactação e dos agregados.

Tabela 42: Temperaturas de mistura, compactação e dos agregados.

Ligante	Temperatura de mistura (°C)	Temperatura de compactação (°C)	Temperatura dos agregados (°C)
CAP Borracha ECOFLEX Pave B	175	170	185
CAP STYLINK Tipo 60/85	164 a 170	145 a 151	174 a 180

7.2. DOSAGEM DE MISTURAS ASFÁLTICAS DO TIPO *GAP GRADED*

A dosagem das misturas asfálticas descontínuas no laboratório da COPPE/UFRJ foi realizada empregando o compactador giratório a 100 giros para moldar os corpos de prova nos diferentes teores escolhidos previamente. Foram realizadas as dosagens das seguintes misturas:

- *Gap Graded*, Faixa 19,0 mm CALTRANS, com CAP STYLINK Tipo 60/85;
- *Gap Graded*, Faixa 19,0 mm CALTRANS, com CAP Borracha ECOFLEX Pave B.

Após a moldagem dos corpos de prova foram determinados os parâmetros volumétricos (Vv, VAM, RBV e massa específica aparente) e mecânicos de cada corpo de prova (RT e MR), assim como as densidades máximas das misturas.

A partir desses resultados foram elaborados gráficos mostrando a variação de V_v , VAM, RBV, MR e RT versus o teor de ligante asfáltico. O teor de ligante asfáltico de projeto foi estabelecido para um volume de vazios de 5,0%, conforme especificação CALTRANS.

7.2.1. GAP GRADED, Faixa 19,0 mm CALTRANS, com Stylink 60/85

Para determinar o teor de projeto da mistura do tipo *gap graded*, faixa granulométrica 19,0 mm CALTRANS, foram moldados 3 corpos de prova no compactador giratório para cada teor (4,00%, 4,50% e 5,00%) de CAP STYLINK Tipo 60/85 PG 76-22. Na **Tabela 43** são mostrados os parâmetros volumétricos e mecânicos dos diferentes teores empregados na dosagem e na **Figura 56** é mostrada a variação $V_v \times$ teor de ligante.

Tabela 43: Parâmetros volumétricos e mecânicos de *gap graded* com Stylink 60/85 desta pesquisa.

Teor de ligante (%)	Massa específica aparente (g/cm ³)	Densidade máxima da mistura, Gmm	Volume de Vazios (%)	VAM (%)	RBV (%)	MR (MPa)	RT (MPa)
4,00%	2,400	2,586	7,8	17,3	55,1	3472	0,90
4,50%	2,412	2,565	6,4	17,1	62,9	3365	0,89
5,00%	2,423	2,540	4,8	16,8	71,3	3302	0,92

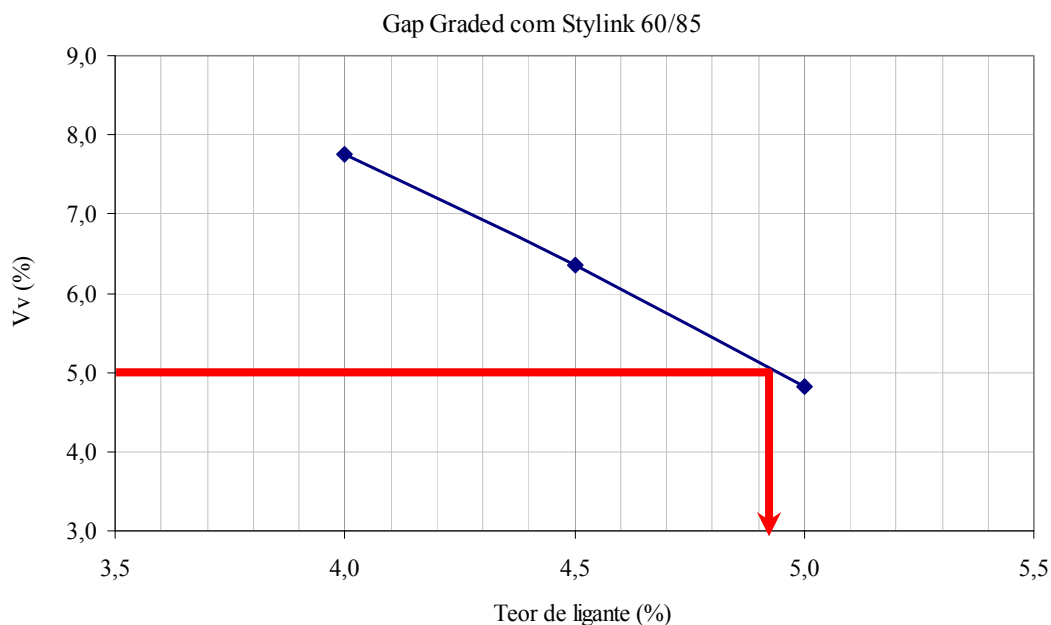


Figura 56: Variação $V_v \times$ teor de ligante Stylink 60/85.

Pode-se verificar pela **Figura 56** que o teor de projeto, determinado para um volume de vazios de 5,0%, para a mistura estudada é de **4,90%** e que todas as misturas atendem ao limite mínimo de VAM de 17,0%.

7.2.2. GAP GRADED, Faixa 19,0 mm CALTRANS, com Ecoflex Pavé B

Para determinar o teor de projeto da mistura tipo *gap graded*, faixa granulométrica 19,0 mm CALTRANS, foram moldados 3 corpos de prova para cada teor (5,50%, 6,00% e 6,50%) de ligante CAP Borracha ECOFLEX Pavé B. Os resultados dos parâmetros volumétricos e mecânicos estão apresentados na **Tabela 44** e na **Figura 57** é mostrada a variação do $V_v \times$ teor de ligante.

Tabela 44: Parâmetros volumétricos e mecânicos de *gap graded* com Ecoflex Pavé B desta pesquisa.

Teor de ligante (%)	Massa específica aparente (g/cm ³)	Densidade máxima da mistura, Gmm	Volume de Vazios (%)	VAM (%)	RBV (%)	MR (MPa)	RT (MPa)
5,50%	2,389	2,523	5,3	18,3	71,1	3313	0,82
6,00%	2,402	2,504	4,1	18,4	77,8	3250	0,91
6,50%	2,416	2,483	3,0	18,6	83,8	3289	0,86

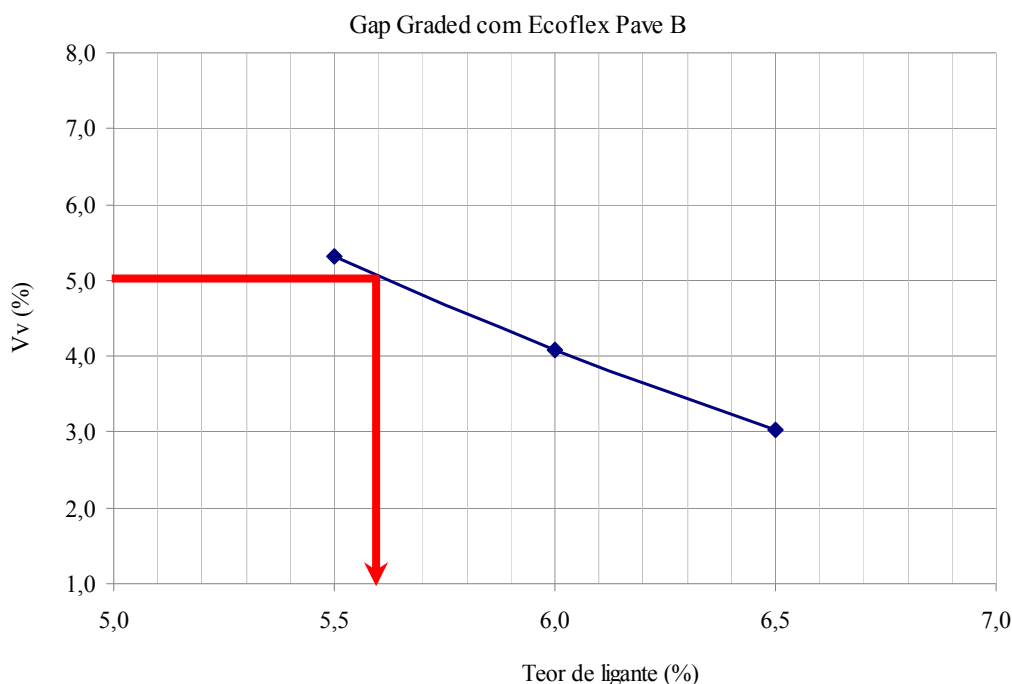


Figura 57: Variação $V_v \times$ teor de ligante Ecoflex Pavé B.

Pode-se verificar pela **Figura 57** que o teor de projeto, determinado para um volume de vazios de 5,0%, para a mistura estudada é de **5,65%** e que todas as misturas atendem ao limite mínimo de VAM de 17,0%.

7.3. RESUMO DAS DOSAGENS

Na **Tabela 45** está apresentado resumo dos teores de projeto das misturas *gap graded* estudadas nesta pesquisa.

Tabela 45: Resumo dos teores de ligante das misturas GG estudadas nesta pesquisa.

Tipo de Mistura	Tipo de Ligante	Granulometria	Teor de Projeto (%)	
			Nova Dutra	COPPE
GAP GRADED	CAP STYLINK Tipo 60/85	Faixa 19,0 mm CALTRANS	4,70	4,90
	CAP Borracha ECOFLEX Pave B	Faixa 19,0 mm CALTRANS	6,00	5,65

7.4. RESULTADOS DOS ENSAIOS VOLUMÉTRICOS

As **Tabelas 46** e **47** apresentam os valores das densidades máximas medidas, Gmm, das misturas em função do tipo (CAP STYLINK Tipo 60/85 e CAP Borracha ECOFLEX Pave B) e do teor de ligante asfáltico.

Tabela 46: Valores de Gmm das misturas com ligante Stylink 60/85.

Desvio	Teor	Gmm
-0,50	4,20	2,643
-0,25	4,45	2,623
0,00	4,70	2,603
+0,25	4,95	2,583
+0,50	5,20	2,563

Tabela 47: Valores de Gmm das misturas com ligante Ecoflex Pave B.

Desvio	Teor	Gmm
-0,50	5,50	2,593
-0,25	5,75	2,573
0,00	6,00	2,553
+0,25	6,25	2,533
+0,50	6,50	2,513

7.4.1. GAP GRADED, Faixa 19,0 mm CALTRANS, com Stylink 60/85

O teor de projeto obtido a partir da moldagem de corpos de prova empregando compactador giratório na COPPE foi de **4,90%**. E o teor de projeto de ligante para esta mistura apresentado pela Nova Dutra foi de **4,70%**. A partir desse teor, os demais teores utilizados para a moldagem dos corpos de prova no estudo são apresentados em seguida no Quadro 1.

Quadro 1 - Teores de ligante das misturas *gap graded* com Stylink usados nas moldagens dos CPs desta pesquisa.

Teor de ligante - NOVA DUTRA					Teor de ligante - COPPE
-0,50%	-0,25%	Teor de projeto	+0,25%	+0,50%	Teor de projeto
4,20%	4,45%	4,70%	4,95%	5,20%	4,90%
Foram moldados 22 corpos de prova de cada teor com compactador MARSHALL - 75 golpes					Foram moldados 22 corpos de prova com compactador giratório - 100 giros

Na **Tabela 48** está apresentado um resumo dos parâmetros volumétricos das misturas com CAP STYLINK Tipo 60/85. A **Figura 58** apresenta o gráfico de V_v em função do teor de ligante. Os resultados dos parâmetros volumétricos de todos os corpos de prova das misturas com STYLINK Tipo 60/85 moldadas com compactador Marshall são apresentados no **ANEXO 2**.

Tabela 48: Resumo dos parâmetros volumétricos das misturas com Stylink 60/85 desta pesquisa.

Teor de ligante	Teor de ligante (%)	Gmm	MEA _{médio}	Vv _{médio} (%)	VCB _{médio}	VAM _{médio}	RBV _{médio}
-0,50%	4,20	2,643	2,398	9,3	9,8	19,0	51,3
-0,25%	4,45	2,623	2,411	8,1	10,4	18,5	56,3
T.Proj. N.Dutra	4,70	2,603	2,424	6,9	11,1	17,9	61,7
+0,25%	4,95	2,583	2,430	5,9	11,7	17,6	66,3
+0,50%	5,20	2,563	2,439	4,9	12,3	17,2	71,8
T.Proj. COPPE	4,90	2,553	2,434	4,7	11,8	16,5	71,7

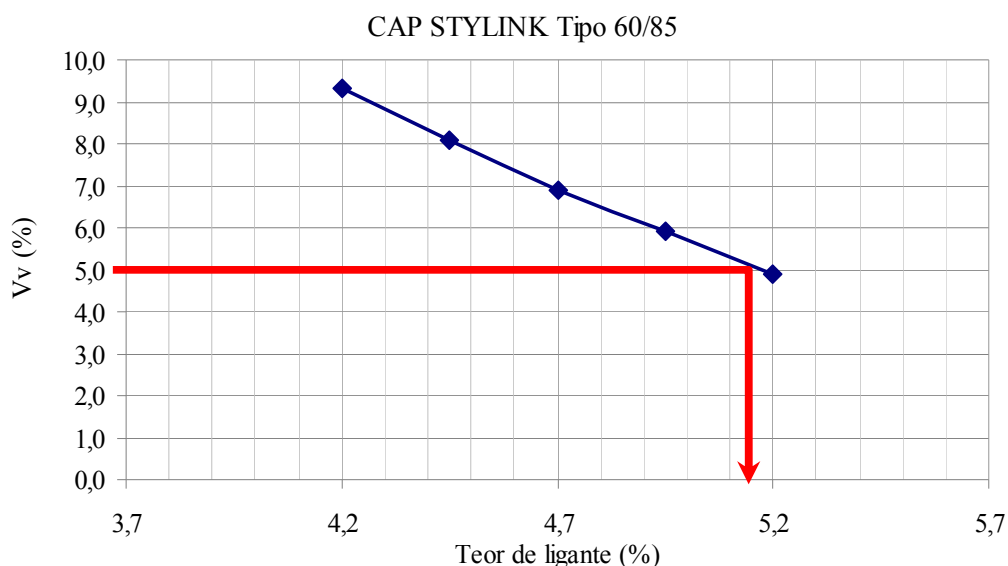


Figura 58: Determinação do teor de projeto da mistura com Stylink 60/85 moldadas com compactador Marshall, em função do V_v .

Pode-se verificar que o teor de projeto do CAP STYLINK Tipo 60/85 correspondente a 5,0% de vazios, obtido com o compactador giratório foi mais alto (4,90%) do que o obtido com o compactador Marshall (4,70%). No entanto, após a determinação dos parâmetros volumétricos dos corpos de prova moldados com o compactador Marshall pode-se constatar que o teor de projeto correspondente a 5,0% de vazios para essas misturas deveria ter sido de 5,15%. Pode ter havido um engano nas moldagens pelo Marshall.

7.4.2. GAP GRADED, Faixa 19,0mm CALTRANS, com Ecoflex Pave B

O teor de projeto obtido a partir da moldagem de corpos de prova empregando compactador giratório na COPPE foi de 5,65%. Já o teor de projeto de ligante para esta mistura apresentado pela Nova Dutra foi de 6,00%. A partir desse teor, os demais teores utilizados para a moldagem dos corpos de prova para os ensaios mecânicos são apresentados em seguida no Quadro 2.

Quadro 2 - Teores de ligante das misturas *gap graded* com Ecoflex usados nas moldagens dos CPs desta pesquisa.

Teor de ligante - NOVA DUTRA					Teor de ligante - COPPE
-0,50%	-0,25%	Teor de projeto	+0,25%	+0,50%	Teor de projeto
5,50%	5,75%	6,00%	6,25%	6,50%	5,65%
Foram moldados 22 corpos de prova de cada teor com compactador MARSHALL - 75 golpes					Foram moldados 22 corpos de prova com compactador giratório - 100 giros

Na **Tabela 49** está apresentado um resumo dos parâmetros volumétricos das misturas GG com CAP Borracha ECOFLEX Pave B. A **Figura 59** mostra o gráfico de V_v em função do teor de ligante das misturas moldadas com compactador Marshall. Os resultados detalhados dos parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com CAP Borracha ECOFLEX Pave B moldadas com compactador Marshall são apresentados no **ANEXO 2**.

Tabela 49: Resumo dos parâmetros volumétricos das misturas com Ecoflex Pave B.

Teor de ligante	Teor de ligante (%)	Gmm	MEA _{médio}	V _v _{médio} (%)	VCB _{médio}	VAM _{médio}	RBV _{médio}
-0,50%	5,50	2,593	2,430	6,3	13,0	19,3	67,4
-0,25%	5,75	2,573	2,426	5,7	13,5	19,3	70,3
T.Proj. N.Dutra	6,00	2,553	2,423	5,1	14,1	19,2	73,5
+0,25%	6,25	2,533	2,434	3,9	14,8	18,7	79,1
+0,50%	6,50	2,513	2,432	3,2	15,3	18,6	82,6
T.Proj. COPPE	5,65	2,510	2,381	5,2	13,1	18,2	71,8

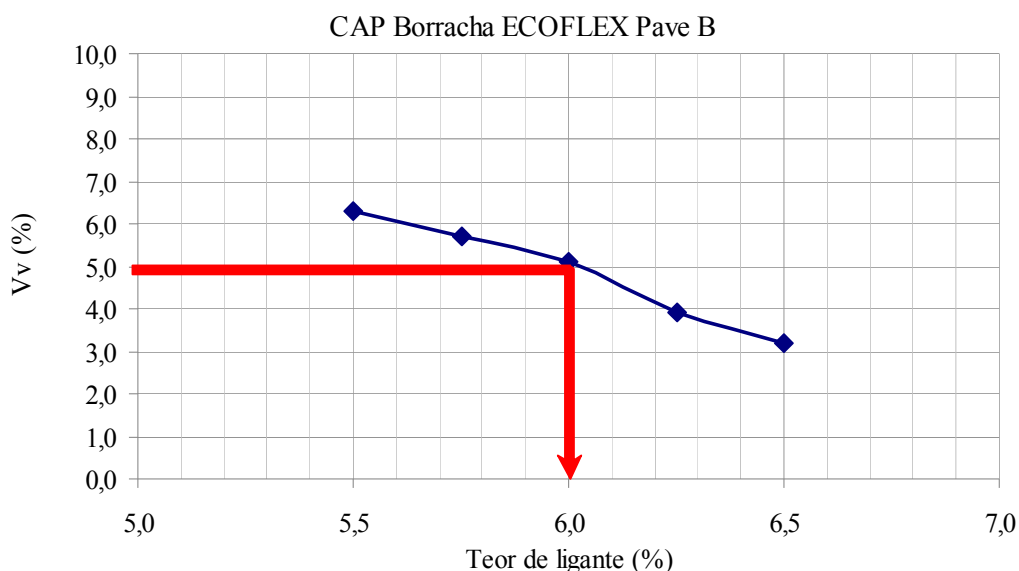


Figura 59: Determinação do teor de projeto da mistura com Ecoflex Pave B moldadas com compactador Marshall, em função do Vv.

Pode-se verificar que o teor de projeto obtido com o compactador giratório foi ligeiramente mais baixo (5,65%) do que o obtido com o compactador Marshall (6,00%), conforme esperado.

7.5. RESULTADOS DOS ENSAIOS MECÂNICOS

Os resultados dos ensaios mecânicos da mistura asfáltica do tipo *Gap Graded*, faixa 19,0 mm CALTRANS, com CAP STYLINK Tipo 60/85 e com CAP Borracha ECOFLEX Pave B, estão apresentados nas **Tabelas 50 e 51**, respectivamente. As **Figuras 60 a 64** mostram a variação dos resultados dos ensaios volumétricos e mecânicos em função do tipo e teor de ligante das misturas de *gap graded* avaliadas nesta pesquisa. Os resultados detalhados e os gráficos são apresentados no **ANEXO 2**.

Tabela 50: Resultados dos ensaios mecânicos do *gap-graded* com Stylink 60/85 desta pesquisa.

Parâmetros	-0,50%	-0,25%	T.Projeto N.Dutra	+0,25%	+0,50%	T.Projeto COPPE
MR (MPa)	4169	3161	4503	3529	3778	4151
RT (MPa)	1,12	1,12	1,31	1,27	1,17	1,07
CREEP (%)	0,159	0,158	0,162	0,149	0,164	0,184

Tabela 51: Resultados dos ensaios mecânicos do *gap-graded* com Ecoflex Pave B desta pesquisa.

Parâmetros	-0,50%	-0,25%	T.Projeto N.Dutra	+0,25%	+0,50%	T.Projeto COPPE
MR (MPa)	3518	3252	3568	3603	3204	3676
RT (MPa)	1,07	0,97	1,18	1,06	1,19	0,89
CREEP (%)	0,255	0,26	0,191	0,021	0,331	0,372

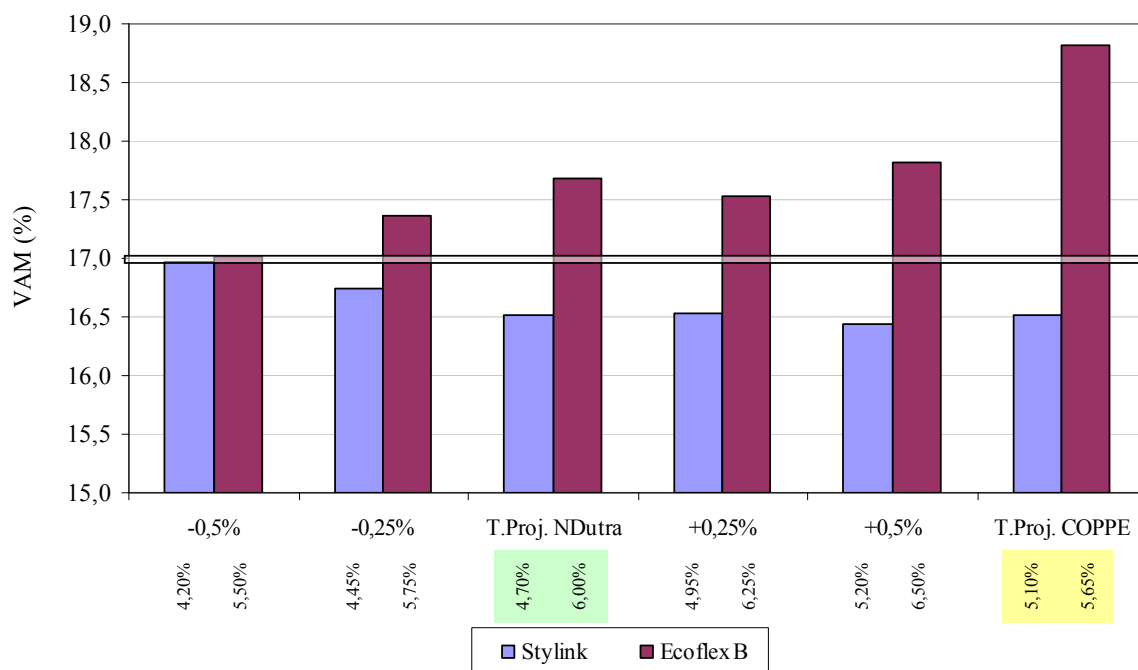


Figura 60: Variação de VAM em função do tipo e teor de ligante das misturas *gap graded*.

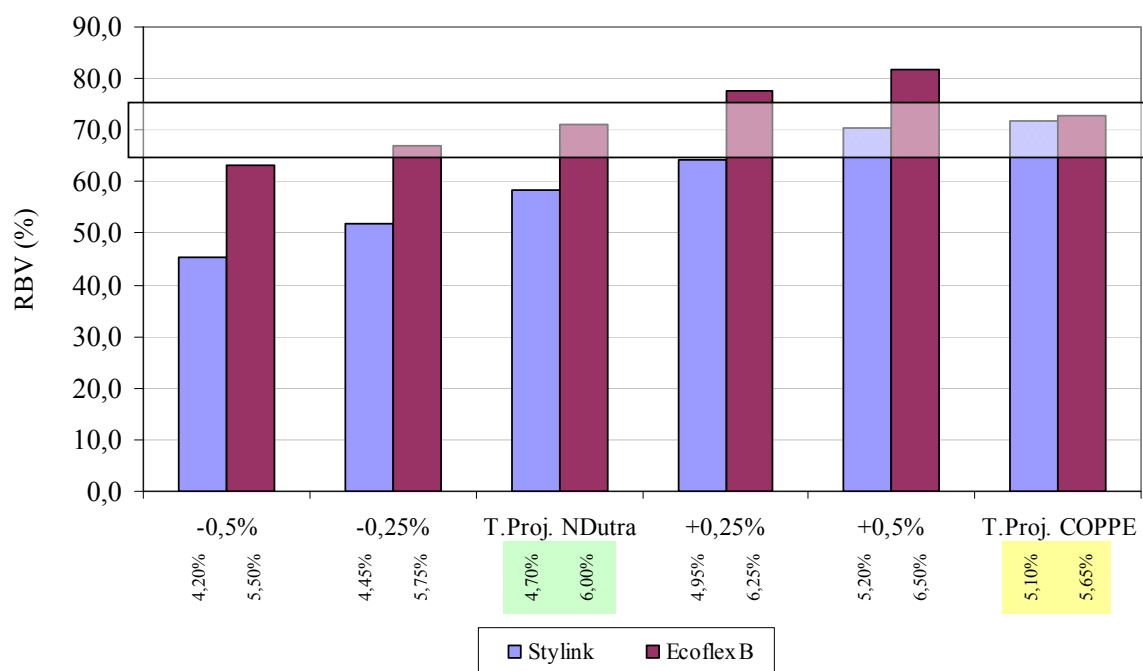


Figura 61: Variação de RBV em função do tipo e teor de ligante das misturas *gap graded*.

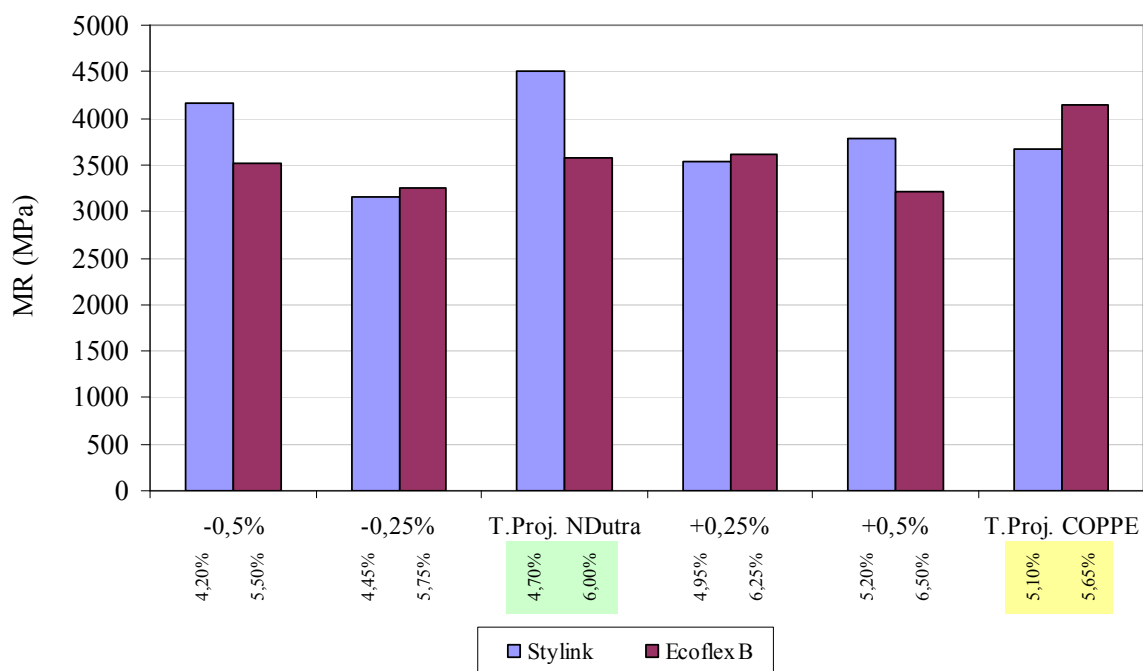


Figura 62: Variação de MR em função do tipo e teor de ligante das misturas *gap graded*.

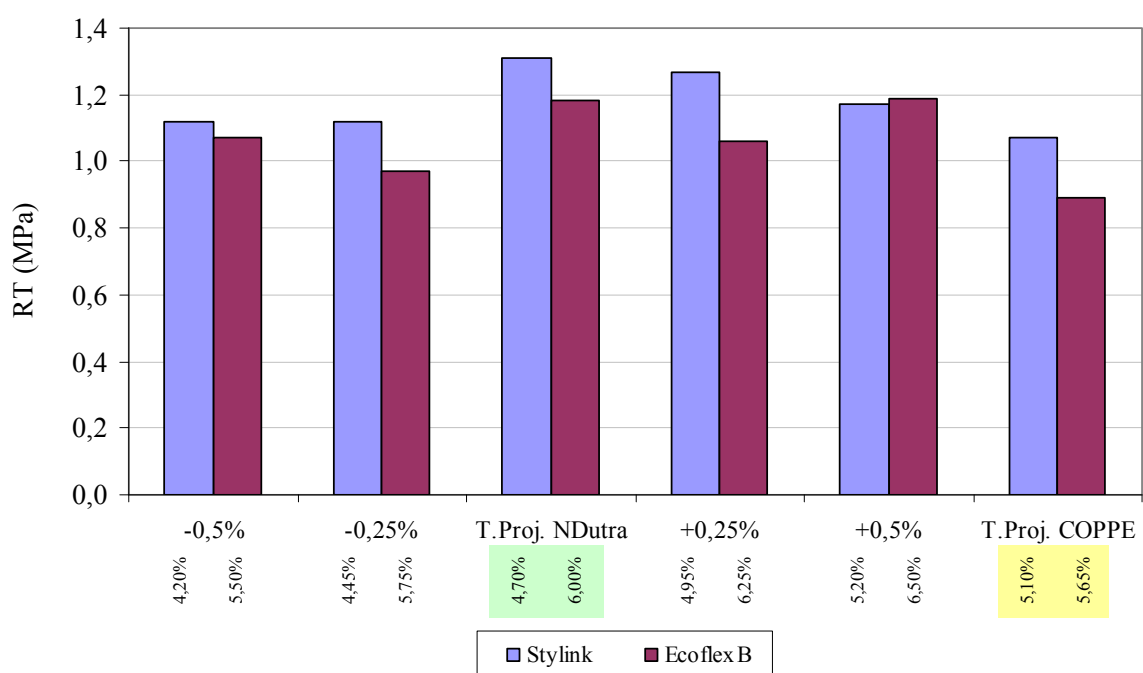


Figura 63: Variação de RT em função do tipo e teor de ligante das misturas *gap graded*.

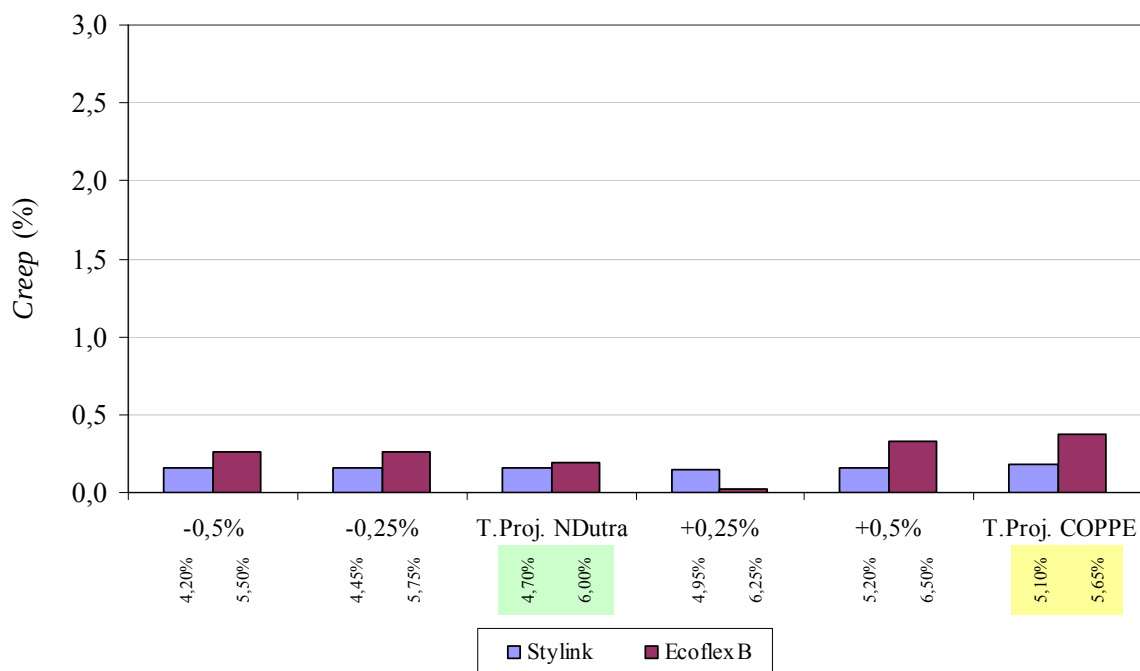


Figura 64: Variação de *creep* em função do tipo e teor de ligante das misturas *gap graded*.

Pode-se verificar pela **Figura 60**, que as misturas *gap graded* com CAP STYLINK não atendem ao valor mínimo de VAM (de 17,0%). No entanto, todas as misturas *gap graded* com CAP Borracha ECOFLEX Pave B atenderam ao valor mínimo.

Quando analisado a RBV, pode-se observar na **Figura 61** que a maioria das misturas com CAP STYLINK não atende aos valores de RBV (de 65,0% a 75,0%), apenas as misturas moldadas com compactador giratório e a mistura com +0,50% moldada com compactador Marshall apresentam valores dentro do intervalo de 65,0% a 75,0%. Quanto às misturas com ECOFLEX Pave B, pode-se verificar que as duas misturas moldadas no teor de projeto atenderam ao valor de RBV.

Em relação ao MR, pode-se verificar pela **Figura 62** que o maior valor de MR das misturas com CAP STYLINK Tipo 60/85 foi atingida pela mistura moldada no teor de projeto com compactador Marshall. Para misturas moldadas com o ECOFLEX Pave B com compactador Marshall a variação foi pequena, sendo que o valor mais alto foi obtido pela mistura moldada no teor de projeto com compactador giratório.

Quanto à RT, pode-se observar pela **Figura 63** que as misturas com CAP STYLINK apresentaram os valores mais altos quando comparadas com as misturas com

ECOFLEX Pave B, sendo que os maiores valores foram obtidos pelas misturas moldadas com compactador Marshall no teor de projeto.

Em relação ao *creep*, pode-se verificar na **Figura 64** que todas as misturas apresentaram valores bem abaixo de 3,0% (“limite possível”).

7.6. RESULTADOS DOS ENSAIOS DE FADIGA - ANÁLISE MECANÍSTICA PARA MISTURA GG

Foram elaborados gráficos do número de ciclos em função da diferença de tensões, em escala logarítmica para expressar a fadiga das misturas *gap graded* desta pesquisa. Para cada gráfico foi feita regressão obtendo-se a equação da curva de fadiga.

Nas **Tabelas 52 e 53** e nas **Figuras 65 e 66** estão mostrados resumos dos resultados dos ensaios de fadiga das misturas GG, considerando duas estruturas hipotéticas. Os gráficos e os resultados detalhados dos ensaios estão apresentados no **ANEXO 2**.

Com os resultados obtidos, fez-se a comparação das misturas avaliadas com STYLINK e com ECOFLEX Pave B através da simulação de duas estruturas de pavimento hipotéticas. A análise tensional foi feita com o programa ELSYM 5. Na **Tabela 54** é apresentada a comparação da vida de fadiga das misturas *gap graded* analisadas.

Tabela 52: Resumo dos resultados de fadiga das misturas GG desta pesquisa aplicados à Estrutura 1.

Teor de ligante	N	
	Stylink 65/90	Ecoflex B
-0,50%	3432	10148
-0,25%	5969	6122
Teor de Projeto Nova Dutra	11431	12434
+0,25%	8800	4414
+0,50%	9161	5366
Teor de Projeto COPPE	16454	3682

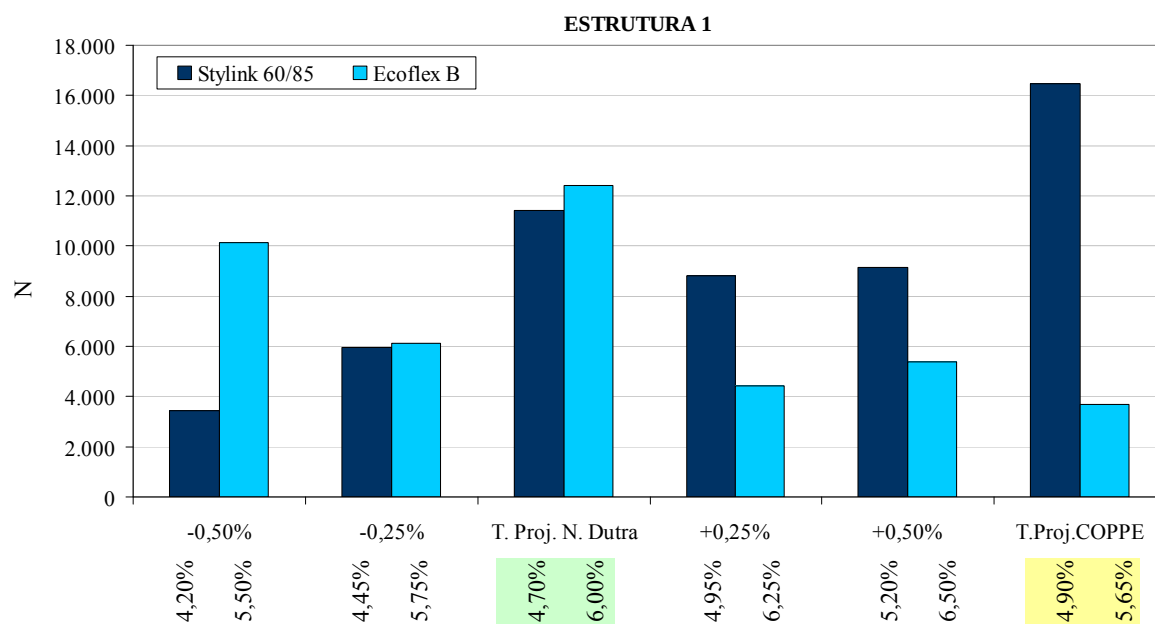


Figura 65: Resultados da análise de vida de fadiga das misturas GG desta pesquisa para a Estrutura 1.

Tabela 53: Resumo dos resultados de fadiga das misturas GG desta pesquisa para a Estrutura 2.

Teor de ligante	N	
	Stylink 65/90	Ecoflex B
-0,50%	2542	8509
-0,25%	5328	5294
Teor de Projeto Nova Dutra	7540	10035
+0,25%	7249	3507
+0,50%	7035	4716
Teor de Projeto COPPE	12585	2393

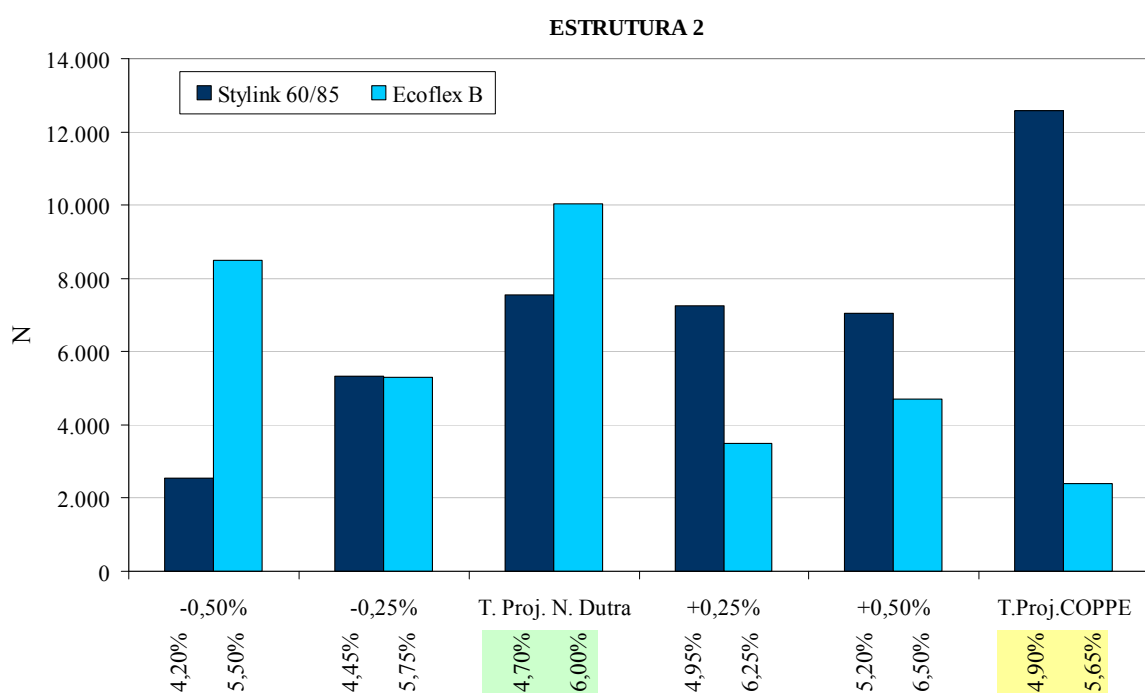


Figura 66: Resultados da análise de vida de fadiga das misturas GG desta pesquisa para a Estrutura 2.

Tabela 54: Comparação da vida de fadiga para as duas misturas GG desta pesquisa.

Teor de Ligante	STYLINK 60/85	ECOFLEX Pave B
-0,50%	0,30N a 0,34N	0,82N a 0,85N
-0,25%	0,52N a 0,71N	0,49N a 0,53N
Teor de Projeto Nova Dutra	1,00N	1,00N
+0,25%	0,77N a 0,96N	0,35N a 0,36N
+0,50%	0,80N a 0,93N	0,43N a 0,47N
Teor de Projeto COPPE	1,44N a 1,67N	0,24N a 0,30N

Pode-se observar pela **Tabela 54**, que para as misturas com moldadas com CAP STYLINK Tipo 60/85, a maior vida de fadiga foi obtida pela mistura moldada no teor de projeto com o compactador giratório. No caso das misturas moldadas com o CAP Borracha ECOFLEX Pave B, a maior vida de fadiga foi obtida pela mistura moldada no teor de projeto com o compactador Marshall, apesar de que os CPs com ECOFLEX moldados no Marshall estavam abaixo do teor correto determinado para 5,0% vazios. Comparando os dois tipos de compactadores, pode-se observar que a maior vida de fadiga para as misturas com STYLINK foi obtida com moldagem com compactador giratório (cerca de 44,0% mais alta). No entanto, para as misturas com ECOFLEX a maior vida de fadiga foi obtida com moldagem com compactador Marshall (cerca de 3,4 vezes mais alta).

7.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE MISTURAS DO TIPO *GAP GRADED*

De forma geral, pode-se verificar que as misturas *gap graded* com asfalto modificado por polímero STYLINK apresentaram desempenho inferior quando comparadas com as misturas com asfalto modificado por borracha ECOFLEX Pave B, sendo que as misturas com STYLINK não atenderam ao valor mínimo de VAM (de 17,0%) e que a maioria não atende a RBV (de 65,0% a 75,0%).

Quanto à vida de fadiga, pode-se verificar que as misturas com STYLINK moldadas no teor de projeto, tanto com o compactador Marshall, quanto com o giratório, apresentaram as maiores vidas de fadiga. Já as misturas moldadas com o ECOFLEX Pave B, a maior vida de fadiga foi obtida pela mistura moldada no teor de projeto com compactador Marshall, sendo que a menor vida foi obtida pela mistura moldada com o compactador giratório.

8. CAMADA POROSA DE ATRITO, CPA

A Camada Porosa de Atrito, CPA, também conhecida como PFC (*Permeable Friction Course*), é composta por uma mistura aberta (OGFC - *Open-Graded Friction Courses*) e tem como objetivo principal proporcionar ao revestimento asfáltico maior atrito entre o pneu e o pavimento. Além de aumentar a rugosidade do revestimento, este tipo de mistura evita a aquaplanagem por possibilitar a passagem da água por possuir alto teor de vazios com ar, na faixa de 18,0% a 25,0%, que auxilia na remoção da água da superfície do pavimento durante o período de chuva.

As misturas abertas são empregadas em camadas delgadas sobrepostas a uma camada de revestimento densa existente, que tem função estrutural. Em função do seu elevado teor de vazios, a CPA apresenta resistência à tração mais baixa e maior flexibilidade ($RT \sim 0,6 \text{ MPa}$ e $MR < 2000 \text{ MPa}$) quando comparada com misturas densas.

Para definir o teor de ligante devem ser consideradas algumas características dos materiais empregados, como tipo, forma, natureza e granulometria dos agregados disponíveis, assim como tipo e viscosidade do ligante empregado. Um dos fatores que deve ser avaliado durante a etapa de caracterização dos materiais e dosagem da mistura é quanto à resistência ao choque dos agregados, que deve apresentar desgaste por abrasão Los Angeles inferior a 30,0%.

No Brasil, a CPA é normatizada pela Especificação de Serviço ES 386 do DNER (DNER, 1999), que recomenda o uso de asfalto modificado por polímero SBS. O uso de ligantes asfálticos modificados é comum nesse tipo de mistura, pois reduz o escoamento do ligante devido à falta de agregados finos. No entanto, dependendo do tipo de ligante modificado empregado é necessário o uso de fibras para evitar o escoamento do ligante, em proporção de cerca de 0,3% a 0,4%. No caso de misturas com asfalto borracha, em função da maior viscosidade do produto, não há necessidade do emprego das fibras. Para verificar a quantidade de fibras necessária deve ser realizado o ensaio AASHTO T 305-09 - *Draindown Sensivity*, evitando o escoamento do ligante durante as etapas de mistura, transporte e aplicação da massa asfáltica.

Nas **Tabelas 55 e 56** são apresentadas, respectivamente, as faixas granulométricas do DNER ES 386/99 e do NCHRP 09-33 / 2005 (*A Mix Design Manual for Hot Mix Asphalt*). Na **Tabela 57** está apresentada a faixa de CPA do ARIZONA, que foi adotada pela Nova Dutra.

Tabela 55: Faixas granulométricas de CPA - DNER ES 386/99

Peneira	Abertura (mm)	Faixas (% passante)				
		I	II	III	IV	V
¾"	19,0	-	-	-	-	100
½"	12,5	100	100	100	100	70-100
3/8"	9,5	80-100	70-100	80-90	70-90	50-80
Nº 4	4,75	20-40	20-40	40-50	15-30	18-30
Nº 10	2,00	12-20	5-20	10-18	10-22	10-22
Nº 40	0,42	8-14	-	6-12	6-13	6-13
Nº 80	0,18	-	2-8	-	-	-
Nº 200	0,075	3-5	0-4	3-6	3-6	3-6
Ligante polimerizado solúvel em tricloroetileno (%)		4,0 - 6,0				

Tabela 56: Especificação OGFC/PFC - Faixas granulométricas de CPA - NCHRP 09-33

Peneira (mm)	Faixas (% passante)		
	9,5 mm	12,5 mm	19,0 mm
25,0	100	100	100
19,0	100	100	85-100
12,5	100	80-100	55-70
9,5	85-100	35-60	---
4,75	20-30	10-25	10-25
2,36	5-15	5-10	5-10
0,075	0-4	0-4	0-4

Tabela 57: Faixa 9,5 mm ARIZONA de CPA

Peneira (mm)	% passante
12,5	100
9,5	100
4,75	30-46
2,36	2-6
0,075	0-3

No Brasil, a dosagem de CPA é realizada empregando o método Marshall, de acordo com a ABNT NBR 12891/1993. No caso da dosagem pelo método Superpave, a moldagem dos corpos de prova deve ser feita com o compactador giratório, atendendo as recomendações do NCHRP 09-33 (2005).

Quanto ao teor de ligante, o manual citado recomenda os valores apresentados na **Tabela 58**, em que o teor de ligante varia em função da densidade aparente dos agregados combinados ou da mistura de agregados. Segundo o manual, para agregados com densidade aparente igual ou inferior a 2,750, o teor de ligante mínimo recomendado é de 6,00% a 6,50%. No caso da dosagem Marshall, a especificação do DNER ES 386/99 recomenda para CPA cinco faixas granulométricas com teor de ligante variando de 4,00 a 6,00%.

Tabela 58: Teor de ligante mínimo em função da densidade aparente dos agregados.

Densidade aparente dos agregados combinados	Teor de ligante mínimo (%)
2,400	6,80
2,450	6,70
2,500	6,60
2,550	6,50
2,600	6,30
2,650	6,20
2,700	6,10
2,750	6,00
2,800	5,90
2,850	5,80
2,900	5,70
2,950	5,60
3,000	5,50

Fonte: NCHRP 09-33 - *A Mix Design Manual for Hot Mix Asphalt* (NCHRP, 2005).

Um dos ensaios fundamentais para determinar o teor de projeto das misturas de CPA é o desgaste Cantabro, no qual é empregado o mesmo equipamento do ensaio de abrasão Los Angeles sem as esferas de aço. Segundo a especificação DNER-ES 386/99, a perda máxima admitida neste ensaio é de 25% (**Tabela 59**), para misturas com volume de vazios entre 18,0% e 25,0%. No entanto, a especificação Superpave admite somente até 15,0% de perda (**Tabela 60**) e volume de vazios de 18,0% a 22,0%.

Tabela 59: Limites para misturas de CPA - DNER ES 386/99.

Propriedade	Especificação - limite
Teor de ligante	4,00% a 6,00%
Volume de vazios	18,0% a 25,0%
Desgaste Cantabro	Máximo 25,0%
Resistência à tração	Mínimo 0,55 MPa

Tabela 60: Limites para misturas OGFC/PFC moldadas com compactador giratório.

Propriedade	Especificação - limite
Teor de ligante	Tabela 10-6
Volume de vazios	18,0% a 22,0%
Desgaste Cantabro	Máximo 15,0%
Resistência à tração	Mínimo 0,70 MPa
Escorrimento	Máximo de 0,30%

Fonte: NCHRP 09-33 - *A Mix Design Manual for Hot Mix Asphalt* (NCHRP, 2005).

As misturas do tipo CPA não têm função estrutural e não são usadas isoladamente como revestimento asfáltico, porém, além do desgaste Cantabro, outro parâmetro mecânico avaliado é a resistência à tração, RT, sendo que a especificação do DNER determina um valor mínimo de 0,55 MPa, e para o Superpave o valor mínimo aceitável é de 0,70 MPa.

8.1. MOLDAGEM DE CORPOS DE PROVA DE CPA

Segundo as especificações DNIT ME 043/95 e ABNT NBR 12891:1993, a moldagem de CPs de misturas densas deve ser feita com o compactador Marshall, empregando 75 golpes por face para misturas aplicadas em pavimentos de rodovias de tráfego pesado. Além disso, a ABNT NBR 12891:1993 recomenda 50 golpes por face para rodovias de tráfego mais leve. No caso de moldagem de CPs com compactador giratório, a especificação americana para misturas de CPA recomenda a aplicação de no máximo 50 giros, para evitar esforço excessivo e consequentemente quebra dos agregados.

Nos Estados Unidos, vários projetos de mistura de CPA com asfalto modificado foram desenvolvidos empregando 25, 50 e 75 golpes por face com o compactador Marshall. A justificativa para o número de golpes reduzido é de que alguns agregados apresentavam valores de desgaste por abrasão Los Angeles acima de 30,0%, o que poderia ocasionar quebra dos agregados.

Num estudo desenvolvido no Departamento de transportes do Estado da Geórgia - EUA (*Georgia Department of Transportation - GDOT*) foi utilizado agregado de granulometria 12,5 mm, asfalto modificado por polímero (SBS) e dois tipos de fibras (celulose e mineral). Foram produzidas 4 misturas diferentes de CPA, variando o teor de ligante de 5,80 a 6,30% e volume de vazios de 15,0% a 19,0%. Os CPs foram

moldados com o compactador Marshall empregando 25 golpes por face, visto não ter função estrutural, sim de drenar a água da superfície (COOLEY *et al.*, 2000).

No estado do Arizona, EUA, foi desenvolvida uma pesquisa de CPA empregando asfalto modificado por borracha e um tipo de agregado. Os CPs foram moldados com compactador Marshall, sendo aplicados 50 golpes por face. As misturas de CPA foram produzidas com 7,00 a 8,50% de ligante, com 16,0% a 19,0% de vazios (SMITH, 2002).

No Brasil, trabalho desenvolvido por PINHEIRO (2004) utilizou asfalto modificado por borracha, e produzidas duas misturas com 6,00% de teor de ligante e volume de vazios de 19,5% e 20,8%. Os CPs foram moldados com compactador giratório, empregando 50 giros. Os resultados de MR obtidos foram 1723 MPa e 1527 MPa, e de RT foram 0,45 MPa e 0,42 MPa, respectivamente.

Na **Tabela 61** está apresentado um resumo de alguns trabalhos realizados com CPA, em que corpos de prova foram moldados com dois tipos de compactadores: Marshall e giratório.

Tabela 61: Resumo de trabalhos de CPA moldados com compactadores Marshall e giratório, de referências comparadas a resultados desta pesquisa*.

Mistura	Compactador	Número de golpes por face ou giros	Tipo de ligante	Teor de ligante (%)	Vv (%)	Referência
1	Marshall	25 golpes	asfalto polímero	5,80 a 6,30	15,0 a 19,0	COOLEY <i>et al.</i> , 2000
2	Marshall	50 golpes	asfalto borracha	7,00 a 8,50	16,0 a 19,0	SMITH, J.R., 2002
3	Marshall	50 golpes	asfalto borracha	6,25	22,0	COPPE, 2010*
4	Marshall	50 golpes	asfalto polímero	6,30	22,0	COPPE, 2010*
5	Marshall	75 golpes	asfalto borracha	6,00	17,8 a 23,0	KATMAN <i>et al.</i> , 2005
6	Marshall	75 golpes	asfalto borracha	5,20	21,5	Nova Dutra, 2009**
7	Marshall	75 golpes	asfalto polímero	4,70	20,4	Nova Dutra, 2009**
8	Giratório	50 giros	asfalto borracha	6,00	19,5 e 20,8	PINHEIRO, 2004
9	Giratório	50 giros	asfalto borracha	8,10	22,0	COPPE, 2010*
10	Giratório	50 giros	asfalto polímero	7,30 a 7,50	22,0	COPPE, 2010*
11	Giratório	100 giros	asfalto borracha	5,10	25,0	COPPE, 2010*
12	Giratório	100 giros	asfalto polímero	4,90	25,0	COPPE, 2010*
13	Giratório	100 giros	asfalto borracha	6,00	22,0	COPPE, 2010*
14	Giratório	100 giros	asfalto polímero	7,10	22,0	COPPE, 2010*

* COPPE, 2010 - Relatório Final do Projeto: Estudo comparativo do comportamento de fadiga de misturas betuminosas com diferentes teores de asfalto.

**Nova Dutra, 2009 - Dosagem das misturas de CPA realizada pela Nova Dutra.

Pode-se observar na **Tabela 61** que, para misturas com asfalto polímero moldadas com compactador Marshall com número de golpes diferentes, o teor de ligante variou de 4,70% (Mistura 7) até 6,30% (Misturas 1 e 4) e volume de vazios variou de 15,0% até 20,4%, sendo maior para o menor teor de ligante, como esperado. No caso das misturas com asfalto borracha, moldadas com compactador Marshall com mesmo número de golpes, o teor de ligante variou de 6,25% (Mistura 3) a 8,50% (Mistura 2) para 50 golpes e de 5,20% (Mistura 6) a 6,00% (Mistura 5) para 75 golpes, com volume de vazios variando de 16,0% a 19,0% e de 17,8% a 23,0%.

Outro aspecto que pode ser observado é que misturas moldadas com asfalto borracha com 75 golpes com compactador Marshall (Mistura 5) apresentaram o mesmo teor de ligante que misturas moldadas com 50 giros (Mistura 8) e 100 giros (Mistura 13) no compactador giratório. Quando comparadas misturas com diferentes tipos de ligantes, pode-se verificar que o teor de ligante é maior para misturas com asfalto borracha, mesmo empregando número de golpes maior, talvez devido à maior viscosidade desse tipo de ligante.

Na presente pesquisa inicialmente foi feita a moldagem dos CPs de CPA empregando 50 giros com o compactador giratório, conforme recomendado pela especificação SUPERPAVE (NCHRP, 2005). Como complemento, também foram moldados CPs com o compactador Marshall empregando 50 golpes.

8.2. MATERIAIS

Os agregados utilizados na dosagem da mistura da camada porosa de atrito, provenientes da Pedreira Riuma, foram fornecidos pela Concessionária Nova Dutra. Na **Tabela 62** e na **Figura 67** são apresentadas: características granulométricas, densidades e desgaste Los Angeles dos materiais. Na **Tabela 63** e na **Figura 68** são apresentadas: a faixa de trabalho e limites da faixa de 9,5 mm do ARIZONA para misturas de CPA.

Tabela 62: Características dos materiais pétreos usados nesta pesquisa para CPA.

Peneira	Abertura (mm)	% passante		
		Pedrisco Grosso	Pedrisco Fino	Cal
1/2"	12,5	100,0	100,0	100,0
3/8"	9,5	98,9	100,0	100,0
Nº 4	4,75	28,6	41,9	98,0
Nº 8	2,36	4,0	9,4	98,0
Nº 30	0,60	2,0	3,3	98,0
Nº 200	0,075	0,9	1,2	90,0
Densidade real (g/cm ³)		2,684	2,680	2,450
Densidade aparente (g/cm ³)		2,599	2,592	2,450
Abrasão los angeles		25,8%	24,0%	-

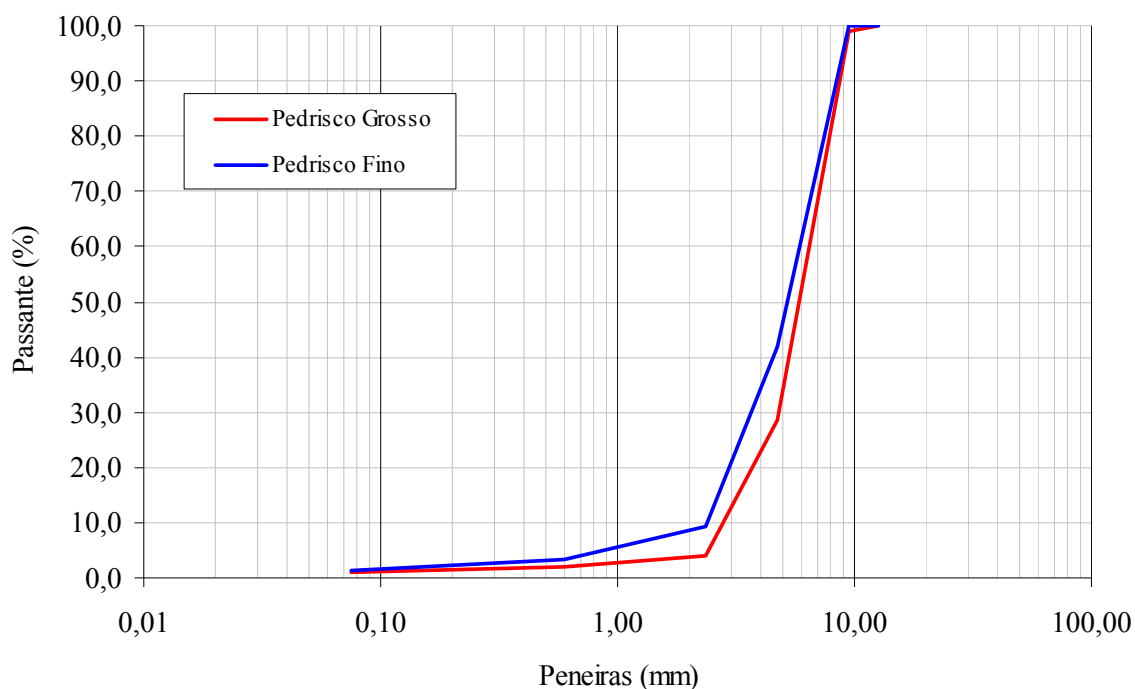


Figura 67: Curvas granulométricas dos materiais usados nesta pesquisa para CPA.

Tabela 63: Curva granulométrica da mistura CPA desta pesquisa e os limites da faixa 9,5 mm do ARIZONA para CPA.

Peneira		% Passante					Curva granulométrica
#	mm	Pedrisco Grosso	Pedrisco Fino	Cal	Mínimo	Máximo	
1/2"	12,5	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
3/8"	9,5	98,9	100,0	100,0	100,0	100,0	99,5
Nº4	4,75	28,6	41,9	98,0	30,0	46,0	36,1
Nº8	2,36	4,0	9,4	98,0	3,0	9,0	8,1
Nº30	0,60	2,0	3,3	98,0	2,0	6,0	4,0
Nº200	0,075	0,9	1,2	90,0	0,0	3,0	2,4
		50,0%	48,5%	1,5%			

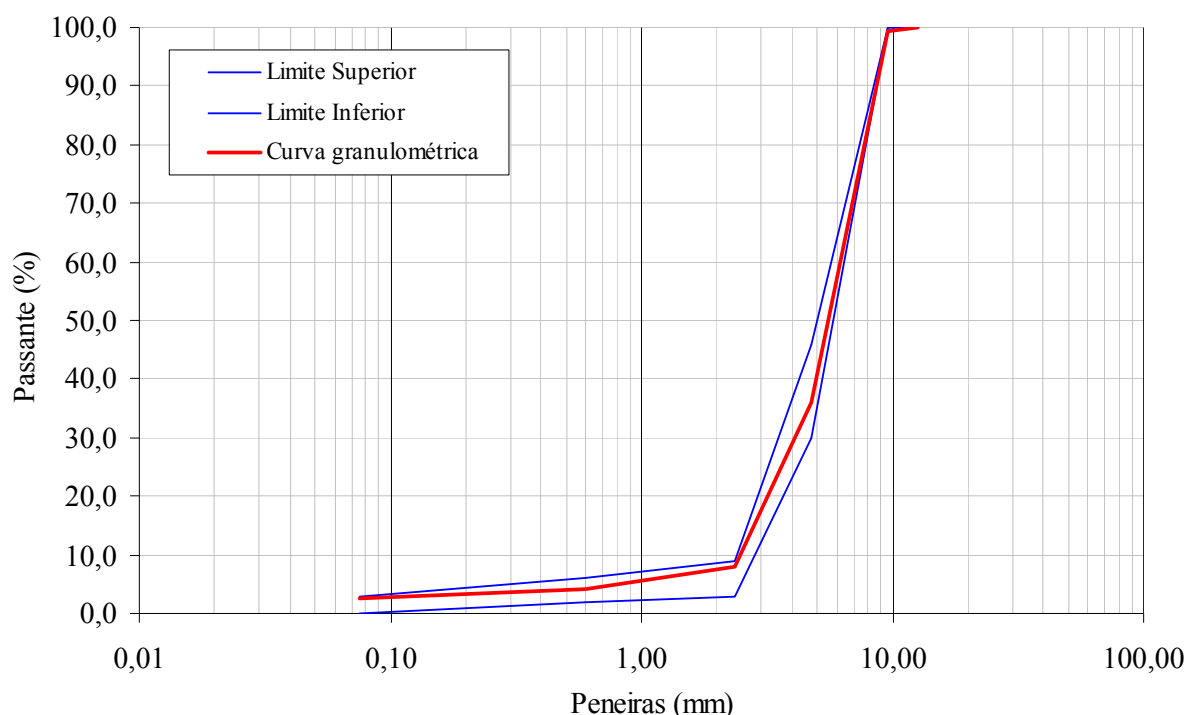


Figura 68: Faixa de trabalho de CPA desta pesquisa e limites da faixa 9,5 mm do ARIZONA.

Nesta pesquisa foram selecionados dois ligantes modificados: um asfalto borracha, o CAP Ecoflex Pave B e um asfalto polímero, o CAP FlexPave 65/90, ambos da Greca Asfaltos. Os ligantes foram enviados ao laboratório da COPPE pela Concessionária Nova Dutra, acompanhados das fichas de caracterização dos produtos mostradas na **Tabela 64**, assim como as temperaturas de mistura e de compactação fornecidas pelo fabricante (**Tabela 65**).

Tabela 64: Características dos ligantes asfálticos usados nesta pesquisa para CPA.

Características	Unidades	Ecoflex Pave B	FlexPave 65/90
Densidade	g/cm ³	1,031	1,018
Viscosidade Brookfield a 135°C, sp*, 20 rpm	cP	-	1263
Viscosidade Brookfield a 145°C, sp*, 50 rpm	cP	-	619
Viscosidade Brookfield a 175°C, sp*, 100 rpm	cP	1580	230
Penetração (100g, 5s e 25°C)	0,1 mm	57	48
Ponto de amolecimento	°C	58	70
Recuperação elástica, 25°C	%	71	94,5

* Para determinar a viscosidade Brookfield do Ecoflex Pave B foi empregado o *spindle* 3, enquanto que no caso do FlexPave 65/90 foi utilizado o *spindle* 21.

Tabela 65: Temperaturas de mistura, de compactação e dos agregados, em oC, usadas nesta pesquisa para CPA.

Ligante	Temperatura de mistura	Temperatura de compactação	Temperatura dos agregados
CAP Ecoflex Pave B	175	170	185
CAP FlexPave 65/90	167	155	175

A fibra empregada é de celulose VIATOP 66 (**Figura 69**), que se apresenta na forma de peletes, composto por 66,6% em peso de fibra ARBOCEL®ZZ 8-1 e por 33,3% de asfalto. A densidade aparente da fibra informada no catálogo do fabricante é de $1,300 \text{ g/cm}^3$, conforme confirmada por MOURÃO (2003).



Figura 69: Fibra de celulose usada nesta pesquisa de CPA.

8.3. DOSAGEM DE CPA

Inicialmente, a dosagem das misturas da camada porosa de atrito, CPA, foi realizada no laboratório da COPPE/UFRJ empregando o compactador giratório a 50 giros para moldar os corpos de prova nos diferentes teores, conforme recomendação da norma americana. Dessa forma, foram realizadas as dosagens das seguintes misturas:

- CPA, Faixa 9,5 mm ARIZONA, com CAP Ecoflex Pave B;
- CPA, Faixa 9,5 mm ARIZONA, com CAP FlexPave 65/90.

A quantidade de massa para moldar cada CP no molde de 10,0 cm de diâmetro foi determinada considerando a densidade aparente da mistura compactada ($\sim 1,800 \text{ g/cm}^3$) e as dimensões do CP, sendo estabelecida altura provável em torno de 6,3 cm. Dessa forma, a massa empregada para cada CP foi de 910 g. No entanto, após a moldagem, pode-se verificar que alguns CPs apresentaram altura $\sim 7,0$ cm. Por esse motivo, foi reduzida a quantidade de massa de cada CP para 865 g.

Como complemento foram moldados corpos de prova com o compactador Marshall, empregando 50 golpes por face. Durante a moldagem dos CPs, pode-se verificar que a mistura não apresentava estabilidade mínima, ocorrendo em alguns casos desmoldagem da massa quando o corpo de prova era virado de cabeça pra baixo para realizar a compactação da outra face do CP. Por esse motivo alguns CPs foram descartados.

Após a moldagem foram determinados os parâmetros volumétricos (V_v , VAM , RBV e massa específica aparente) de cada corpo de prova assim como o desgaste Cantabro, a resistência à tração, RT , e módulo de resiliência, MR .

A massa específica aparente da mistura compactada, Gmb , de misturas do tipo CPA deve ser determinada de acordo com a especificação ABNT NBR 15573:2008, que estabelece para corpos de prova com volume de vazios maior que 7,0%, a determinação da Gmb através da relação entre massa do corpo de prova seco ao ar (em gramas) e o volume do corpo de prova calculado por medidas diretas das dimensões (em cm^3).

$$Gmb = \frac{\text{massa seca do CP}}{V} \quad (14)$$

Para determinar o volume do corpo de prova deve ser utilizada a equação (15), a partir de quatro medições de altura e quatro medições do diâmetro com um paquímetro calibrado.

$$V = H \times \pi \times \frac{D^2}{4} \quad (15)$$

onde:

H = altura média do CP

D = diâmetro médio do CP

Para determinar a densidade máxima teórica, Gmm , foi utilizada amostra não compactada de acordo com a AASHTO T 209/2008.

Como comentado, um ensaio importante para avaliar misturas do tipo CPA é o de desgaste Cantabro. O ensaio consiste em submeter amostras (uma por vez) de concreto asfáltico a 300 revoluções (33 rpm), dentro da máquina de abrasão Los Angeles (**Figura 70**), sem as esferas metálicas. O ensaio é realizado a temperatura de 25°C. A perda de massa por desgaste é calculada através da diferença de massa das amostras antes e depois do ensaio. Este ensaio avalia de maneira indireta a coesão, a resistência à abrasão e a resistência à desagregação de misturas asfálticas.



Figura 70: Máquina Los Angeles.

Os resultados dos parâmetros volumétricos e mecânicos são apresentados em seguida.

8.3.1. CPA, Faixa 9,5 mm ARIZONA, com Ecoflex Pave B

Para atender a faixa granulométrica 9,5 mm ARIZONA foram moldados 4 corpos de prova no compactador giratório para cada teor tentativa de 4,50%, 5,00%, 5,50% e 6,00% de ligante CAP Ecoflex Pave B. Além disso, foram preparadas 2 misturas de cada teor de ligante para realizar o ensaio de massa específica máxima, através do método *Rice*.

Na **Tabela 66** são apresentados os parâmetros volumétricos e mecânicos dos diferentes teores de ligante CAP Ecoflex Pave B empregados na dosagem dos corpos de prova moldados com compactador giratório. A **Figura 71** mostra a variação do V_v da mistura moldada com compactador giratório e a estimativa do teor de projeto para um $V_v = 22,0\%$.

Tabela 66: Parâmetros volumétricos e mecânicos das misturas com Ecoflex Pave B - moldadas com 50 giros nesta pesquisa.

Teor de ligante (%)	Gmb	Gmm	V_v (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)	A (%)	MR (MPa)	RT (MPa)
4,50	1,706	2,441	30,1	7,5	37,6	19,8	18,0	772	0,20
5,00	1,726	2,420	28,7	8,4	37,1	22,6	11,4	935	0,27
5,50	1,727	2,399	28,0	9,2	37,2	24,8	5,3	891	0,24
6,00	1,735	2,378	27,0	10,1	37,2	27,2	5,1	1045	0,27

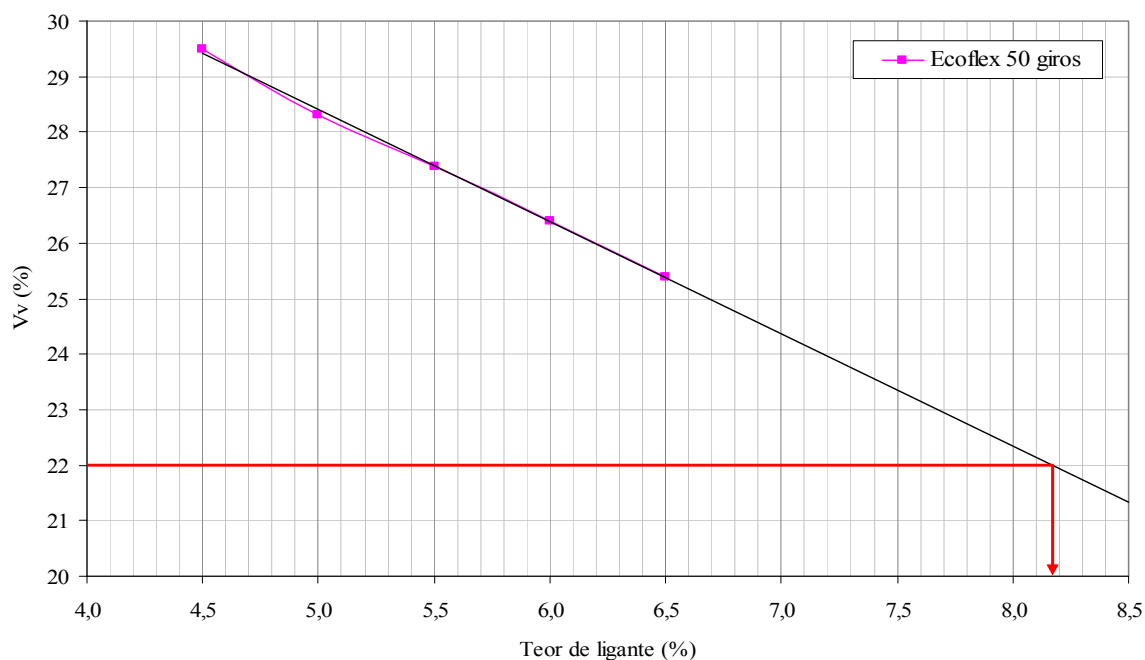


Figura 71: Variação do Vv da mistura com Ecoflex moldada com compactador giratório a 50 giros, nesta pesquisa.

Na **Tabela 67** são mostrados os parâmetros volumétricos dos diferentes teores de ligante CAP Ecoflex Pave B empregados na dosagem dos corpos de prova moldados com compactador Marshall. A **Figura 72** mostra a variação do Vv dos CPs moldados com compactador Marshall e a estimativa do teor de projeto, considerando $V_v = 22,0\%$.

Tabela 67: Parâmetros volumétricos das misturas com Ecoflex Pave B - moldadas com 50 golpes Marshall nesta pesquisa.

Teor de Ligante (%)	Gmb	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
4,50	1,814	2,420	25,0	7,9	33,0	24,1
5,00	1,805	2,399	24,0	8,8	33,5	26,2
6,00	1,828	2,357	22,5	10,6	33,1	32,2

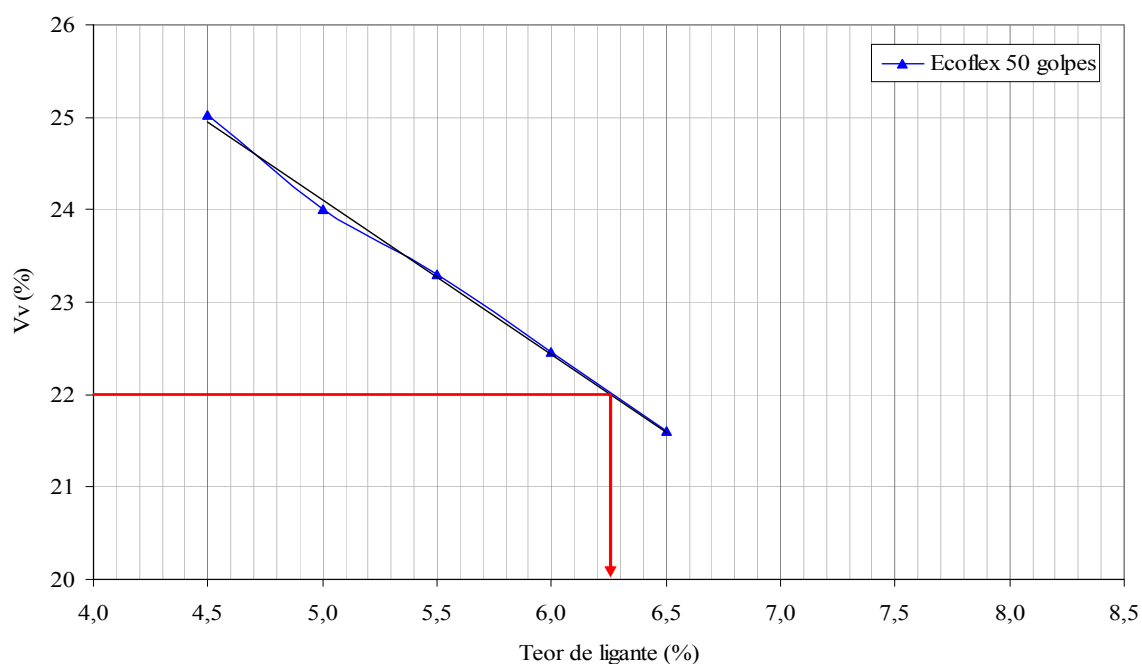


Figura 72: Variação do Vv da mistura com Ecoflex Pave B moldada com 50 golpes Marshall nesta pesquisa.

8.3.2. CPA, Faixa 9,5 mm ARIZONA, com FlexPave 65/90

Para atender a faixa granulométrica 9,5 mm ARIZONA foram moldados 4 corpos de prova no compactador giratório para cada teor tentativa (4,00%, 4,50%, 5,00% e 5,50%) de ligante CAP FlexPave 65/90. Além disso, foram preparadas 2 amostras de cada teor de ligante para realizar o ensaio de massa específica máxima, através do método *Rice*.

Nas **Tabelas 68 e 69** são mostrados os parâmetros volumétricos e mecânicos dos diferentes teores de CAP FlexPave 65/90 empregados na dosagem dos corpos de prova moldados com compactador giratório e com o compactador Marshall, respectivamente. As **Figuras 73 e 74** mostram as variações do Vv das misturas moldadas com compactador giratório e compactador Marshall, respectivamente.

Tabela 68: Parâmetros volumétricos e mecânicos das misturas de CPA com FlexPave moldadas com 50 giros nesta pesquisa.

Teor de ligante (%)	Gmb	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)	A (%)	MR (MPa)	RT (MPa)
4,00	1,694	2,428	30,2	6,7	36,9	18,1	16,4	1037	0,30
4,50	1,761	2,407	26,8	7,8	34,6	22,9	11,6	1090	0,37
5,00	1,734	2,388	27,4	8,5	35,9	23,7	8,8	827	0,32
5,50	1,710	2,364	27,7	9,2	36,9	25,1	7,4	902	0,34

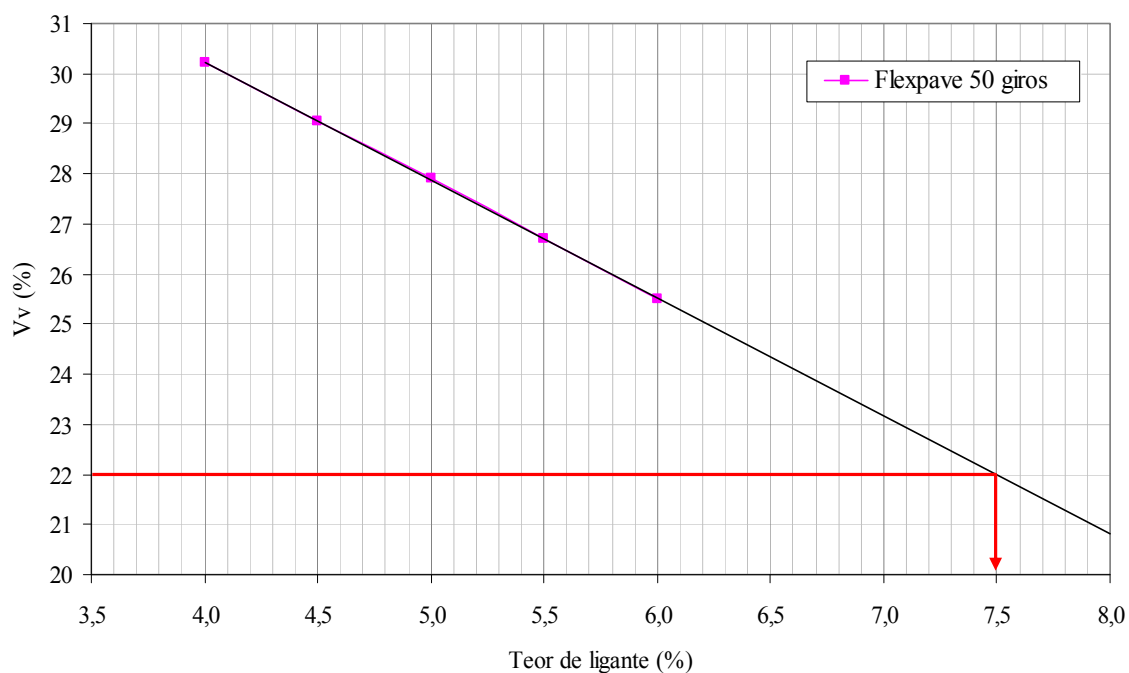


Figura 73: Variação do Vv das misturas CPA com FlexPave moldadas com 50 giros nesta pesquisa.

Tabela 69: Parâmetros volumétricos e mecânicos das misturas de CPA com FlexPave 65/90 moldadas com 50 golpes Marshall nesta pesquisa.

Teor de ligante (%)	Gmb	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)	MR (MPa)	RT (MPa)
4,00	1,774	2,428	28,5	7,0	33,9	20,7	1398	0,38
4,50	1,785	2,407	26,9	7,9	33,7	23,4	1805	0,42
5,00	1,684	2,388	25,6	8,3	37,8	22,5	1038	0,29
5,50	1,750	2,364	24,2	9,5	35,4	26,9	1334	0,35

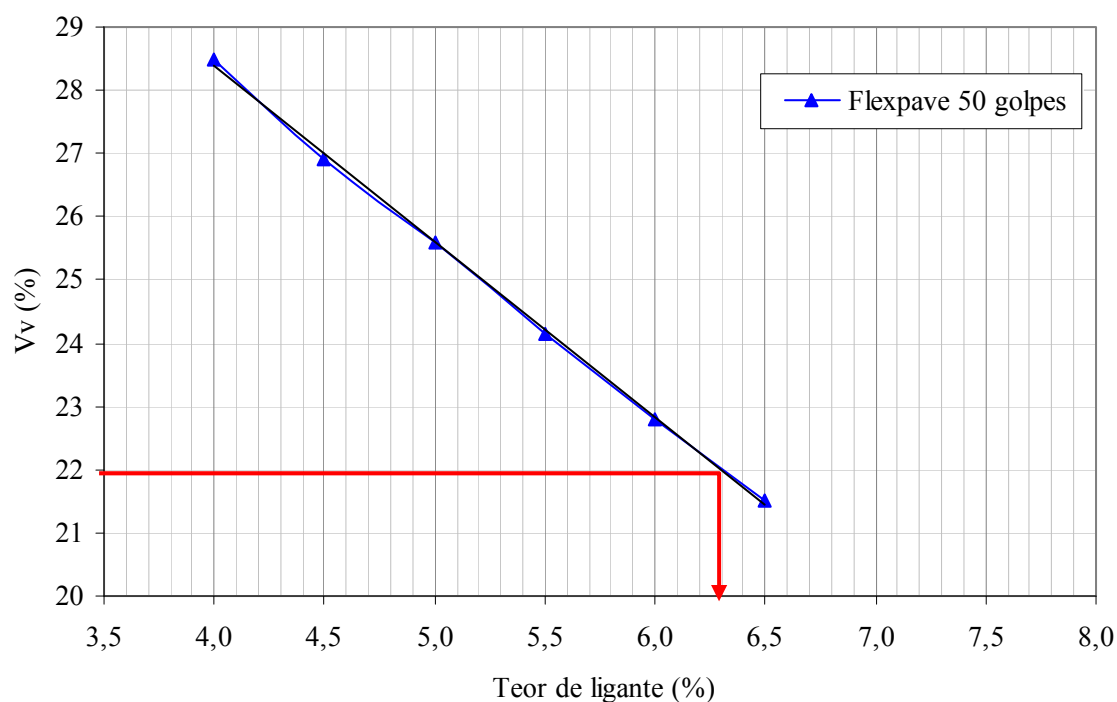


Figura 74: Variação do Vv da mistura CPA com FlexPave moldada com 50 golpes Marshall nesta pesquisa.

Pode-se verificar que não foi possível determinar os teores de projeto das misturas moldadas com compactador giratório para volume de vazios entre 18,0 e 25,0%, uma vez que todos os corpos de prova apresentaram valores superiores a 27,0% de vazios. No caso da mistura moldada com compactador Marshall, o teor de projeto considerando volume de vazios de 22,0% foi de 6,3% para o ligante Flexpave 65/90 e de 6,25% para o ligante Ecoflex Pave B, o que não atende a especificação brasileira, mas atende a especificação americana.

8.3.3. Ensaio de Desgaste Cantabro

O ensaio de desgaste Cantabro foi realizado na máquina de abrasão Los Angeles, sem as esferas metálicas, segundo a ABNT NBR 15140:2004. As amostras foram submetidas, uma por vez, a 300 revoluções (33 rpm). Nas **Tabelas 70 e 71** são apresentados os resultados de desgaste Cantabro das misturas moldadas com Ecoflex Pave B e FlexPave 65/90, respectivamente e nas **Figuras 75 e 76** mostram-se os CPs antes e após a realização do ensaio.

Pode-se verificar que todas as misturas atendem aos valores da especificação brasileira, que determina que o desgaste seja inferior a 25,0%. No entanto, as misturas moldadas com 4,50% de Ecoflex B e 4,00% de FlexPave não atendem a especificação americana, que determina o máximo de 15,0% de desgaste Cantabro.

Tabela 70: Valores de desgaste Cantabro das misturas CPA moldadas com Ecoflex Pave B nesta pesquisa.

Teor de ligante (%)	Desgaste Cantabro (%)
4,50	18,0
5,00	11,4
5,50	5,3
6,00	5,1

Tabela 71: Valores de desgaste Cantabro das misturas CPA moldadas com FlexPave 65/90 nesta pesquisa.

Teor de ligante (%)	Desgaste Cantabro (%)
4,00	16,4
4,50	11,6
5,00	8,8
5,50	7,4



Figura 75: Corpos de prova de CPA antes de realizar o ensaio de desgaste Cantabro nesta pesquisa.



Figura 76: Corpos de prova de CPA após a realização do ensaio de desgaste Cantabro nesta pesquisa.

8.3.4. Ensaio de Escorrimento

Foi realizado o ensaio de escorrimento, segundo a AASHTO T 305-09, com o objetivo de verificar se o teor de fibras adotado (0,4%) era adequado para evitar o escorrimento de material asfáltico, conforme recomendação da especificação de CPA que é máximo de 0,3% de escorrimento.

Inicialmente foi preparada quantidade de mistura asfáltica com FlexPave 65/90 correspondente a um corpo de prova de cerca de 900,0 g com a adição das fibras (**Figura 77**). No processo de produção da mistura asfáltica, as fibras foram adicionadas ao agregado quente antes da adição do ligante asfáltico. Com a colocação do ligante e início do processo de mistura, as fibras se espalharam por toda a mistura.



Figura 77: Exemplo da preparação da mistura asfáltica CPA com adição da fibra de celulose nesta pesquisa.

A mistura pronta foi colocada em uma cesta de arame (**Figura 78**), sendo determinada a massa do conjunto cesta + massa asfáltica, assim como do papel. Em seguida, a cesta foi colocada suspensa sobre o papel distante de cerca de 25,0 mm deste (**Figura 79**), permanecendo em estufa durante o período de 60 ± 5 minutos.



Figura 78: Mistura asfáltica sendo colocada dentro da cesta de arame para ensaio de escorrimento nesta pesquisa.



Figura 79: Cestas de arame suspensas sobre os papéis dentro da estufa para ensaio de escorrimento nesta pesquisa.

No final do período de uma hora, a cesta com a amostra e o papel foram removidos da estufa e foram determinadas as massas da cesta e do papel. As características de escorrimento de cada mistura foram determinadas em duas diferentes temperaturas, uma na temperatura de mistura do ligante e outra na temperatura do ligante mais 15°C .

Na **Tabela 72** são apresentados os resultados do escorrimento das misturas com FlexPave 65/90. Na **Figura 80** estão mostrados os papéis após o ensaio de escorrimento das misturas com 6,0% de ligante ensaiadas a temperatura de 182°C .

Tabela 72: Resultados do ensaio de escorrimento da CPA desta pesquisa.

Teor de ligante (%)	Teor de fibra (%)	Temperatura (°C)	Escorrimento médio (%)
4,90	0,4	167	0,00
4,90	0,4	182	0,00
6,00	0,0	182	0,27
6,00	0,4	182	0,19



Figura 80: Ensaio de escorrimento da mistura CPA com 6,0% de ligante e 0,0% e 0,4% de fibras.

A partir dos resultados obtidos na **Tabela 72** pode-se verificar que as misturas não necessitariam de fibras, uma vez que todas apresentaram escorrimento menor que 0,3% sem fibra. Vale salientar que, no caso da mistura produzida com 6,0% de ligante, não foi realizado ensaio a uma temperatura de 167°C, uma vez que os resultados do ensaio a 182°C já apresentaram valores abaixo do limite exigido pela especificação (máximo de 0,3%).

8.4. ANÁLISE PRELIMINAR DOS RESULTADOS OBTIDOS NA DOSAGEM

A partir dos resultados obtidos, pode-se verificar que não foi possível determinar os teores de projeto para um volume de vazios de 22,0%, dentro do limite de 4,00% a 6,00% de ligante, conforme especificação brasileira: todos os corpos de prova moldados apresentaram valores superiores a 27,0% de vazios. Além disso, os resultados do ensaio de resistência à tração mostraram que essas misturas não atingiram o valor mínimo recomendado pelas normas brasileira e americana, ficando abaixo de 0,5 MPa, as moldadas com compactador giratório e com Marshall.

Por esse motivo, foi feita análise de alguns trabalhos da literatura sobre misturas abertas realizados em outros laboratórios de pesquisa, buscando compreender os motivos do não atendimento dos limites dos parâmetros especificados nas normas.

Uma das causas do elevado volume de vazios poderia ser a granulometria da mistura. Por esse motivo, foi feita pesquisa em trabalhos que mostram a influência da variação da granulometria na resistência da mistura. As misturas abertas, do tipo CPA (OGFC), são aplicadas nos Estados Unidos desde a década de 1950. Em 1998, foi feita uma avaliação das experiências com misturas abertas realizadas nos diversos estados americanos durante cerca de 50 anos (KANDHAL e MALLICK, 1998). Como resultado, pode-se verificar que a maioria das experiências apresentava bons resultados, mas em alguns casos o desempenho das misturas ficou aquém do esperado: 22,0% dos pavimentos analisados apresentaram problemas quanto à durabilidade e 4,0% quanto ao atrito pneu-revestimento. Este estudo mostrou que o método de dosagem e o tipo de ligante empregado, assim como a execução do revestimento, variava bastante em cada estado americano, o que ocasionava desempenhos diferenciados.

Tentando superar os insucessos de algumas misturas abertas, o NCAT, *National Center for Asphalt Technology* americano, estudou novo procedimento para a dosagem de misturas abertas, OGFC. Este procedimento incluiu o estudo de nova faixa para os agregados minerais e de novos ensaios, como escoamento, Cantabro, permeabilidade, deformação permanente e umidade induzida. A recomendação final para a dosagem de misturas abertas tem as seguintes etapas: seleção dos materiais; seleção da granulometria dos agregados; determinação do teor ótimo levando-se em consideração o volume de vazios, ensaio Cantabro e escoamento; e ensaio de umidade induzida. Uma importante conclusão deste estudo de dosagem foi o valor máximo de 20,0% de material passante na peneira #4 (4,75mm) para se ter o contato entre os agregados graúdos e para se garantir a permeabilidade da mistura.

Considerando os resultados desse estudo foi feita uma alteração na granulometria da mistura usada até este ponto da pesquisa, estabelecendo valor máximo de 20,0% do material passante na peneira #4, conforme pode ser observado na **Tabela 73**. Pode-se verificar que, dessa forma, a faixa de trabalho não atende os limites da especificação. Mesmo assim foi feita outra tentativa de dosagem com essa alteração granulométrica: moldados corpos de prova em 3 teores de ligante, empregando 50 giros recomendados pela especificação Superpave.

Tabela 73: Nova faixa de trabalho desta pesquisa e os limites da faixa 9,5 mm ARIZONA para CPA.

Peneira		% Passante		
#	mm	Mínimo	Máximo	Faixa de trabalho
1/2"	12,5	100,0	100,0	100,0
3/8"	9,5	100,0	100,0	99,5
Nº4	4,75	30,0	46,0	20,0
Nº8	2,36	3,0	9,0	8,1
Nº30	0,60	2,0	6,0	4,0
Nº200	0,075	0,0	3,0	2,4

Nas **Tabelas 74 e 75** são mostrados os parâmetros volumétricos dos diferentes teores de ligante Ecoflex Pave B e de ligante FlexPave 65/90 empregados na dosagem dos corpos de prova moldados com compactador giratório, respectivamente.

Tabela 74: Parâmetros volumétricos de CPA com Ecoflex Pave B - moldado com 50 giros nesta pesquisa.

Teor de Ligante (%)	Gmb	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
4,50	1,748	2,420	29,4	7,5	36,9	20,2
5,00	1,720	2,399	28,3	8,3	36,7	22,8
5,50	1,720	2,378	27,4	9,2	36,6	25,2

Tabela 75: Parâmetros volumétricos de CPA com FlexPave 65/90 - moldado com 50 giros nesta pesquisa.

Teor de Ligante (%)	Gmb	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
4,00	1,736	2,407	28,7	7,5	36,2	20,7
4,50	1,740	2,388	27,3	8,4	35,8	23,6
5,00	1,757	2,364	26,2	9,3	35,5	26,3

Nas **Figuras 81 e 82** são mostradas as variações do volume de vazios em função do teor de ligante para as duas misturas (especificação Arizona e especificação Superpave) moldadas com os ligantes Ecoflex Pave B e FlexPave 65/90, respectivamente, considerando 50 giros com o compactador giratório.

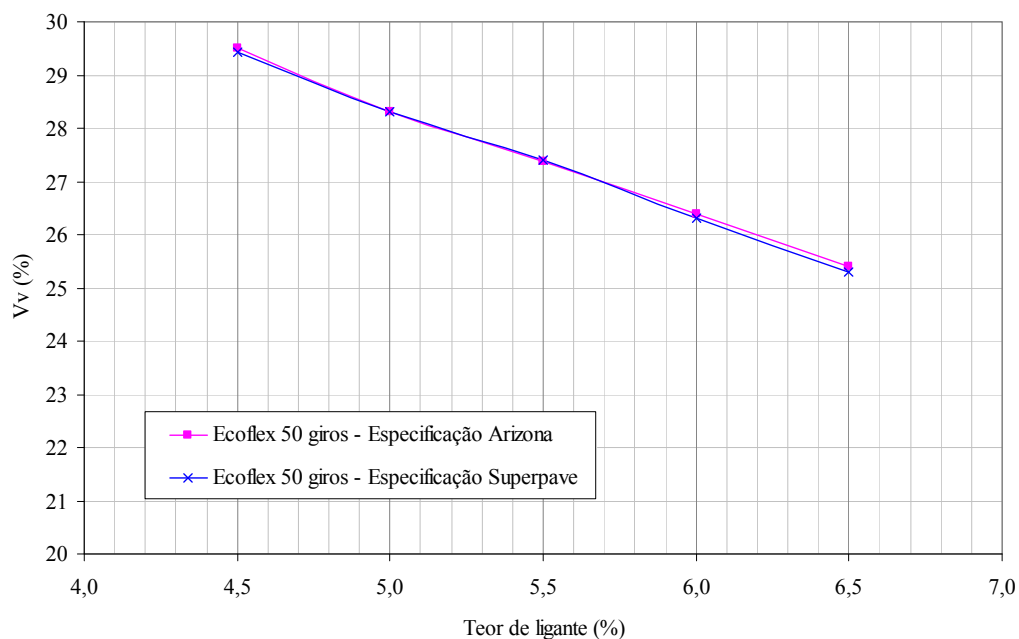


Figura 81: Variação do Vv das misturas CPA com Ecoflex Pave B - moldadas com 50 giros nesta pesquisa.

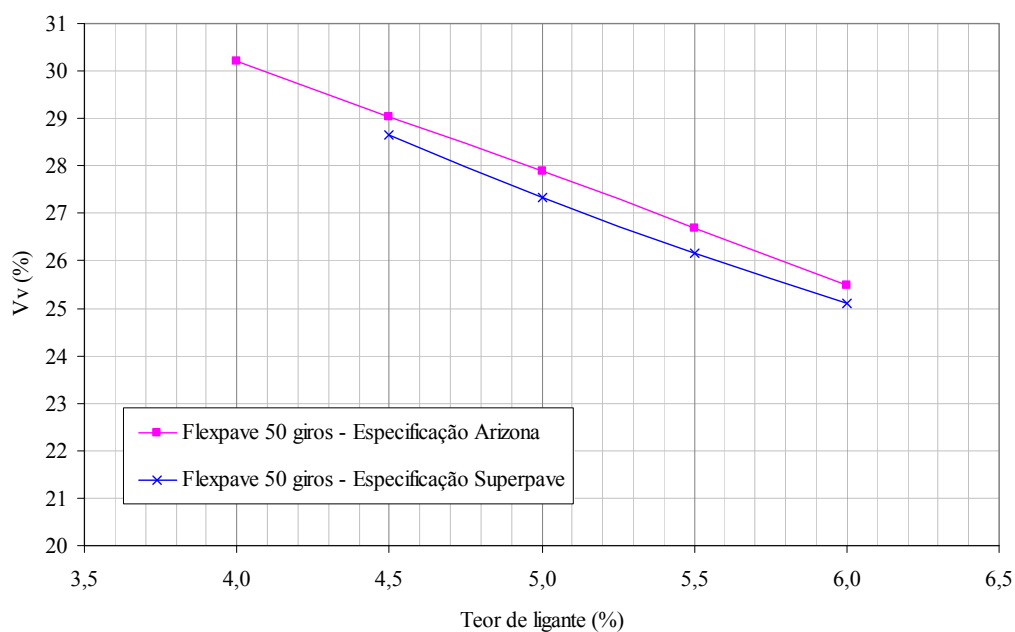


Figura 82: Variação do Vv das misturas CPA com FlexPave 65/90 - moldadas com 50 giros nesta pesquisa.

Pode-se verificar que as misturas apresentaram comportamento semelhante ao traço anterior, mesmo com a quantidade de material passante na peneira #4 sendo reduzida para 20,0%, o que mostra que a granulometria da mistura não era o motivo do elevado valor do volume de vazios.

Outro aspecto analisado foi quanto à forma de compactação das misturas. Inicialmente, o objetivo do estudo era seguir a especificação do Arizona para dosagem de CPA, que estabelece como 50 o número máximo de giros quando empregado o compactador giratório para moldar corpos de prova desse tipo de mistura. No entanto, em função dos resultados obtidos nas **Tabelas 66, 68, 74 e 75** pode-se verificar que esse número de giros não corresponde ao 75 golpes do compactador Marshall utilizado pela Nova Dutra na dosagem das misturas de CPA. Por esse motivo, foi adotado o número de 100 giros para moldar os CPs com o compactador giratório, uma vez que esse número de giros em geral corresponde aos 75 golpes com o compactador Marshall, quando se moldam misturas densas.

Nas **Tabelas 76 e 77** são mostrados os parâmetros volumétricos dos diferentes teores de ligante Ecoflex Pave B e de ligante FlexPave 65/90, respectivamente, dos corpos de prova moldados com a aplicação de 100 giros com o compactador giratório e com a curva granulométrica original. Nas **Figuras 83 e 84** são mostradas as variações do V_v em função do teor de ligante das misturas moldadas com 100 giros com o compactador giratório.

Tabela 76: Parâmetros volumétricos de CPA com Ecoflex B moldado com 100 giros nesta pesquisa.

Teor de ligante (%)	Gmb	Gmm	V_v (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)	MR (MPa)	RT (MPa)
4,50	1,765	2,420	27,1	7,7	34,8	22,2	1159	0,35
5,00	1,783	2,399	25,5	8,7	34,3	25,2	990	0,42
5,50	1,813	2,378	23,8	9,7	33,4	29,0	906	0,40

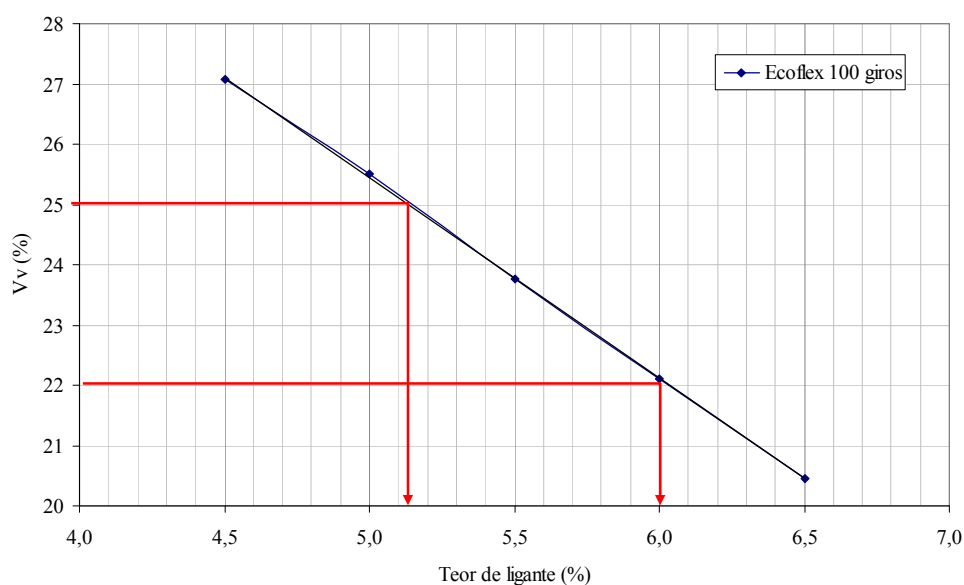


Figura 83: Variação do V_v das misturas CPA com Ecoflex B moldadas com 100 giros nesta pesquisa.

Tabela 77: Parâmetros volumétricos de CPA com FlexPave - moldado com 100 giros nesta pesquisa.

Teor de ligante (%)	Gmb	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)	MR (MPa)	RT (MPa)
4,00	1,770	2,407	26,3	7,0	33,4	20,8	1415	0,88
4,50	1,796	2,388	25,1	7,9	32,7	24,3	1380	0,48
5,00	1,772	2,364	25,0	8,7	33,8	25,8	1316	0,52

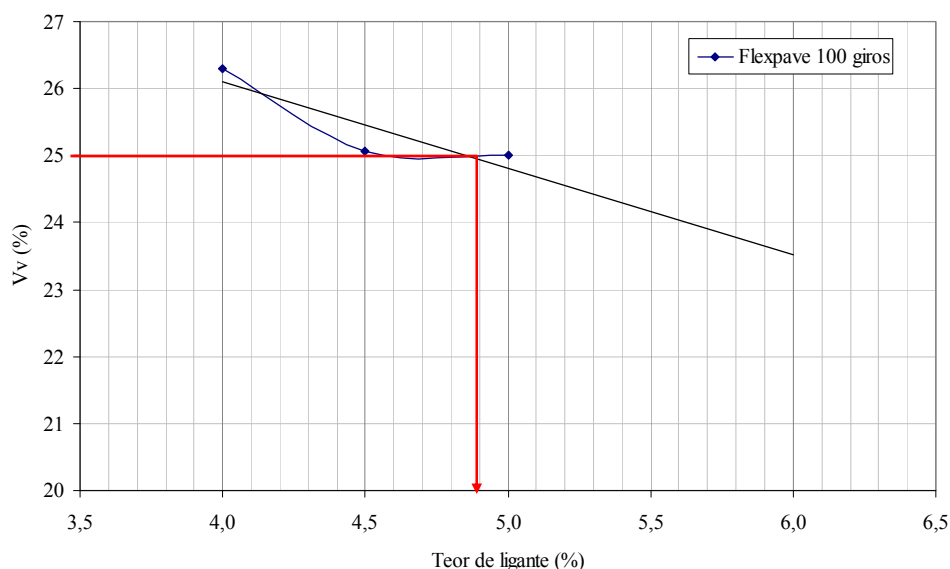


Figura 84: Variação do Vv das misturas CPA com FlexPave 65/90 moldadas com 100 giros nesta pesquisa.

A partir dos resultados apresentados nas **Figuras 83 e 84** pode-se verificar que o teor de projeto considerando volume de vazios de 22,0% foi de 7,10% para o ligante Flexpave 65/90, o que não atende a especificação brasileira, e foi de 6,00% para o ligante Ecoflex Pave B. Se for considerado o volume de vazios de 25,0%, o teor de projeto para o ligante Flexpave 65/90 é 4,90% e para o ligante Ecoflex Pave B é 5,10%, o que atende a especificação brasileira.

Com estas dificuldades constatadas, para definir os teores de projeto para moldagem dos CPs com compactador giratório foi considerado os teores de projeto informados pela Nova Dutra pela dosagem Marshall para cada ligante: adotados os valores correspondentes a vazios de 25,0%, ou seja, de 4,90% para o ligante Flexpave 65/90 e de 5,10% para o ligante Ecoflex Pave B. Esses valores foram selecionados levando em conta que, geralmente, as misturas moldadas com compactador giratório apresentam teores mais baixos do que as misturas moldadas com compactador Marshall e também para que os teores não fossem muito diferentes para comparação entre as misturas moldadas através das duas formas de compactação.

Como complemento foram moldados 3 CPs com 6,00% de ligante Flexpave 65/90 e 3 CPs com 6,00% de ligante Ecoflex Pave B, atendendo o teor mínimo de ligante determinado pela especificação Superpave e o valor máximo estabelecido pela especificação brasileira. Nas **Tabelas 78 e 79** são mostrados os parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas moldadas com 6,0% de ligante Ecoflex Pave B e de ligante FlexPave 65/90, respectivamente, através da aplicação de 100 giros com o compactador giratório.

Tabela 78: Parâmetros volumétricos de CPA com Ecoflex Pave B - moldado com 100 giros nesta pesquisa.

Número do CP	Teor de ligante (%)	Gmb	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)	MR (MPa)	RT (MPa)
1	6,00	1,794	2,378	24,5	10,6	35,1	30,1	948	0,28
2	6,00	1,810	2,378	23,9	10,7	34,6	30,9	1200	0,36
3	6,00	1,798	2,378	24,4	10,6	35,0	30,3	988	0,32
Média	6,00	1,801	2,378	24,3	10,6	34,9	30,4	1045	0,32

Tabela 79: Parâmetros volumétricos de CPA com FlexPave 65/90 - moldado com 100 giros nesta pesquisa.

Número do CP	Teor de ligante (%)	Gmb	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)	MR (MPa)	RT (MPa)
1	6,00	1,810	2,346	22,8	10,7	33,5	31,8	983	0,41
2	6,00	1,797	2,346	23,4	10,6	34,0	31,1	847	0,37
3	6,00	1,809	2,346	22,9	10,7	33,6	31,8	946	0,45
Média	6,00	1,805	2,346	23,1	10,6	33,7	31,6	925	0,41

Pode-se observar pelos resultados das **Tabelas 78 e 79**, que o valor mínimo de RT de 0,55 não foi atendido pelas misturas testadas com estas moldagens.

8.5. RESUMO DAS DOSAGENS DE CPA

Na **Tabela 80** é apresentado resumo dos valores de teor de projeto para as misturas CPA moldadas com o compactador giratório e com o compactador Marshall, considerando 22,0% e 25,0% de volume de vazios.

Tabela 80: Resumo dos teores de ligante das misturas de CPA desta pesquisa.

Tipo de Ligante	Número de golpes ou giros	Teor de Projeto (%)	
		Nova Dutra	COPPE
CAP Ecoflex Pave B	75 golpes - Vv = 22,0%	5,20	-
	50 golpes - Vv = 22,0%	-	6,25
	50 giros - Arizona - Vv = 22,0%	-	8,15*
	50 giros - Superpave - Vv = 22,0%	-	8,15*
	100 giros - Vv = 22,0%	-	6,00
	100 giros - Vv = 25,0%	-	5,10
CAP FlexPave 65/90	75 golpes - Vv = 22,0%	4,70	-
	50 golpes - Vv = 22,0%	-	6,30
	50 giros - Arizona - Vv = 22,0%	-	7,55*
	50 giros - Superpave - Vv = 22,0%	-	7,30*
	100 giros - Vv = 22,0%	-	7,10
	100 giros - Vv = 25,0%	-	4,90

* teor de projeto estimado.

8.6. RESULTADOS DOS ENSAIOS VOLUMÉTRICOS

Nas **Tabelas 81 e 82** são apresentados os valores das densidades máximas da mistura, Gmm, em função do tipo de ligante (CAP Ecoflex Pave B e CAP Flexpave 65/90) e do teor de ligante asfáltico.

Tabela 81: Valores de Gmm das misturas com Ecoflex Pave B moldadas com compactador Marshall desta pesquisa

Desvio	Teor	Gmm	Def agr
-0,50	4,70	2,483	2,668
-0,25	4,95	2,473	2,668
0,00	5,20	2,465	2,668
+0,25	5,45	2,456	2,668
+0,50	5,70	2,447	2,668

Tabela 82: Valores de Gmm das misturas com FlexPave 65/90 moldadas com compactador Marshall desta pesquisa.

Desvio	Teor	Gmm	Def agr
-0,50	4,20	2,323	2,461
-0,25	4,45	2,315	2,461
0,00	4,70	2,307	2,461
+0,25	4,95	2,300	2,461
+0,50	5,20	2,292	2,461

8.6.1. CPA, Faixa 9,5 mm ARIZONA, com CAP Ecoflex Pave B

O teor de projeto obtido a partir da moldagem de corpos de prova empregando compactador giratório na COPPE foi de 5,10%; o teor de projeto de ligante para esta mistura apresentado pela Nova Dutra foi de 5,20%. A partir desse teor, os demais teores utilizados para a moldagem dos corpos de prova no estudo são apresentados em seguida no Quadro 3.

Quadro 3 - Teores de ligante das misturas CPA usados nas moldagens dos CPs desta pesquisa para os ensaios mecânicos.

Teor de ligante - NOVA DUTRA					Teor de ligante - COPPE
-0,50%	-0,25%	Teor de projeto	+0,25%	+0,50%	Teor de projeto
4,70%	4,95%	5,20%	5,45%	5,70%	5,10%
Foram moldados 22 corpos de prova de cada teor com compactador MARSHALL - 75 golpes					Foram moldados 22 corpos de prova com compactador giratório - 100 giros

Na **Tabela 83** está apresentado um resumo dos parâmetros volumétricos das misturas com CAP Ecoflex Pave B moldadas com o compactadores Marshall e giratório.

Tabela 83: Resumo dos parâmetros volumétricos das misturas CPA com Ecoflex Pave B deste estudo.

Teor de ligante	Teor de ligante (%)	Gmm	MEA (g/cm ³)	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
-0,50%	4,70	2,483	1,921	22,6	8,9	31,5	28,2
-0,25%	4,95	2,473	1,932	21,9	9,4	31,3	30,1
T.Proj. N.Dutra	5,20	2,465	1,922	22,0	9,8	31,9	30,9
+0,25%	5,45	2,456	1,939	21,0	10,4	31,4	33,1
+0,50%	5,70	2,447	1,932	21,0	10,8	31,9	34,0
T.Proj. COPPE	5,10	2,416	1,861	23,0	9,3	32,3	28,9

8.6.2. CPA, Faixa 9,5 mm ARIZONA, com CAP FlexPave 65/90

O teor de projeto obtido a partir da moldagem de corpos de prova empregando compactador giratório na COPPE foi de 4,90%. E o teor de projeto de ligante para esta mistura apresentado pela Nova Dutra foi de 4,70%. A partir desse teor, os demais teores utilizados para a moldagem dos corpos de prova no estudo são apresentados em seguida no Quadro 4.

Quadro 4 - Teores de ligante das misturas CPA com CAP FlexPave usados nas moldagens dos CPs desta pesquisa.

Teor de ligante - NOVA DUTRA					Teor de ligante - COPPE
-0,50%	-0,25%	Teor de projeto	+0,25%	+0,50%	Teor de projeto
4,20%	4,45%	4,70%	4,95%	5,20%	4,90%
Foram moldados 22 corpos de prova de cada teor com compactador MARSHALL - 75 golpes					Foram moldados 22 corpos de prova com compactador giratório - 100 giros

Na **Tabela 84** é apresentado um resumo dos parâmetros volumétricos das misturas com FlexPave 65/90 moldadas com o compactadores Marshall e giratório desta pesquisa.

Tabela 84: Resumo dos parâmetros volumétricos das misturas CPA com FlexPave 65/90.

Teor de ligante	Teor de ligante (%)	Gmm	MEA (g/cm ³)	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
-0,50%	4,20	2,323	1,917	17,5	7,9	25,4	31,2
-0,25%	4,45	2,315	1,897	18,1	8,3	26,4	31,5
T.Proj. N.Dutra	4,70	2,307	1,925	16,6	8,9	25,4	35,0
+0,25%	4,95	2,300	1,907	17,1	9,3	26,4	35,3
+0,50%	5,20	2,292	1,941	15,3	9,9	25,2	39,4
T.Proj. COPPE	4,90	2,392	1,841	23,0	8,8	31,8	27,5

8.7. RESULTADOS DOS ENSAIOS MECÂNICOS

Um resumo dos resultados dos ensaios mecânicos (MR e RT) das misturas CPA é apresentado na **Tabela 85** e os resultados detalhados são apresentados no **ANEXO 3**, divididos em função do tipo de ligante, da granulometria e do tipo da energia de compactação utilizada para a confecção dos corpos de prova.

Tabela 85: Resumo dos parâmetros mecânicos das misturas de CPA desta pesquisa.

Ligante	Teor de ligante	Teor de ligante (%)	Gmm	MEA (g/cm ³)	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)	MR (MPa)	RT (MPa)	Creep	Fadiga	
												N	N
FlexPave 65/90	-0,50%	4,20	2,323	1,917	17,5	7,9	25,4	31,2	2.360	0,64	0,475	1.468	1.540
	-0,25%	4,45	2,315	1,897	18,1	8,3	26,3	31,5	2.679	0,62	0,362	1.201	1.184
	T.Proj. NDutra	4,70	2,307	1,925	16,6	8,9	25,4	34,9	2.508	0,73	0,563	3.233	3.277
	+0,25%	4,95	2,300	1,907	17,1	9,3	26,4	35,2	2.072	0,57	0,527	2.037	2.279
	+0,50%	5,20	2,292	1,941	15,3	9,9	25,2	39,3	2.717	0,67	0,311	1.485	1.443
Ecoflex Pave B	T.Proj. COPPE	4,90	2,392	1,841	23,0	8,9	31,9	27,8	1.580	0,63	0,753	2.368	2.968
	-0,50%	4,70	2,483	1,921	22,6	8,8	31,4	27,9	2.820	0,56	0,408	1.919	1.817
	-0,25%	4,95	2,473	1,932	21,9	9,3	31,2	29,8	2.647	0,55	0,348	1.248	1.234
	T.Proj. NDutra	5,20	2,465	1,922	22,0	9,7	31,7	30,6	2.592	0,57	0,887	2.301	2.301
	+0,25%	5,45	2,456	1,939	21,1	10,3	31,3	32,8	2.769	0,58	0,572	1.707	1.643
	+0,50%	5,70	2,447	1,932	21,0	10,7	31,7	33,7	2.414	0,56	0,405	1.065	1.114
	T.Proj. COPPE	5,10	2,416	1,861	23,0	9,2	32,2	28,6	1.645	0,41	0,775	3.171	3.890

Os resultados apresentados na **Tabela 85** mostram que as misturas de CPA moldadas com o compactador giratório apresentaram maiores valores de *creep*, ou seja, maior deformação, indicando uma menor resistência, que também pode ser verificada pelos resultados dos ensaios de resistência à tração e módulo de resiliência.

8.8. RESULTADOS DOS ENSAIOS DE FADIGA DE CPA - ANÁLISE MECANÍSTICA

Foram elaborados gráficos do número de ciclos em função da diferença de tensões, em escala logarítmica. Para cada gráfico foi feita a regressão da curva de fadiga, obtendo-se a equação correspondente. Nas **Tabelas 86 e 87** e nas **Figuras 85 e 86** são mostrados resultados dos ensaios de fadiga, considerando duas estruturas hipotéticas. Os gráficos e os resultados detalhados dos ensaios estão apresentados no **ANEXO 3**.

Com os resultados obtidos, fez-se a comparação das misturas CPA avaliadas (com FlexPave 65/90 e com Ecoflex Pave B) através de simulação de duas estruturas de pavimento hipotéticas. A análise tensional foi feita com o programa ELSYM 5. Na **Tabela 88** é apresentada comparação da vida de fadiga das misturas para CPA analisadas.

Tabela 86: Resumo dos resultados de fadiga das misturas CPA - Estrutura 1.

Teor de ligante	N	
	FlexPave 65/90	Ecoflex Pave B
-0,50%	1.468	1.919
-0,25%	1.201	1.248
Teor de Projeto Nova Dutra	3.233	2.301
+0,25%	2.037	1.707
+0,50%	1.485	1.065
Teor de Projeto COPPE	2.368	3.171

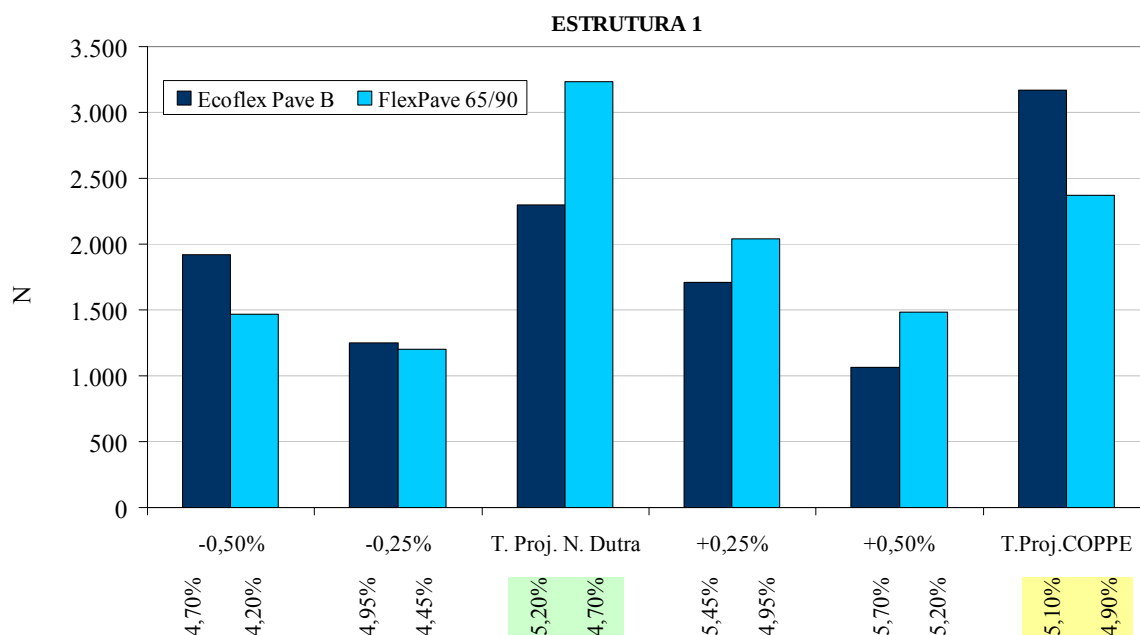


Figura 85: Resultados da análise de vida de fadiga das misturas CPA - Estrutura 1.

Tabela 87: Resumo dos resultados de fadiga das misturas CPA - Estrutura 2.

Teor de ligante	N	
	FlexPave 65/90	Ecoflex Pave B
-0,50%	1.540	1.817
-0,25%	1.184	1.234
Teor de Projeto Nova Dutra	3.277	2.301
+0,25%	2.279	1.643
+0,50%	1.443	1.114
Teor de Projeto COPPE	2.968	3.890

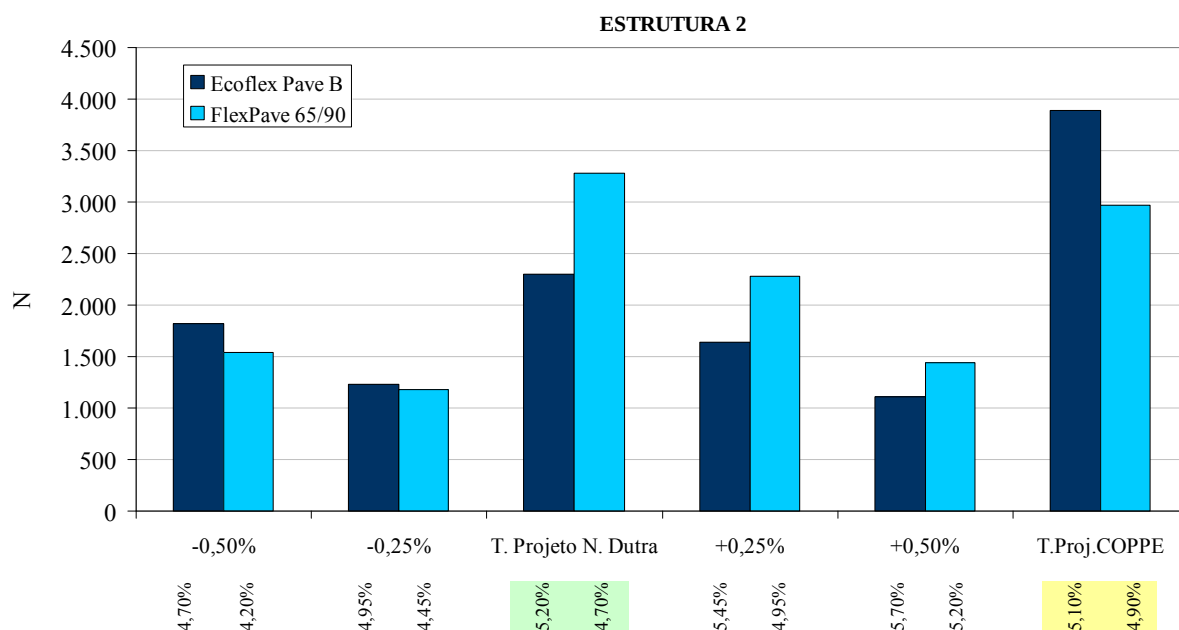


Figura 86: Resultados da análise de vida de fadiga das misturas CPA - Estrutura 2.

Tabela 88: Comparação da vida de fadiga das misturas CPA deste estudo.

Teor de Ligante	FlexPave 65/90	Ecoflex Pave B
-0,50%	0,45N a 0,47N	0,79N a 0,83N
-0,25%	0,36N a 0,37N	0,54N
Teor de Projeto Nova Dutra	1,00N	1,00N
+0,25%	0,63N a 0,70N	0,71N a 0,74N
+0,50%	0,44N a 0,46N	0,46N a 0,48N
Teor de Projeto COPPE	0,73N a 0,91N	1,38N a 1,69N

Pode-se observar pela **Tabela 86**, que para as misturas moldadas com FlexPave, a maior vida de fadiga foi obtida pela mistura moldada no teor de projeto com o compactador Marshall. No caso das misturas moldadas com o Ecoflex Pave B, a maior vida de fadiga foi obtida pela mistura moldada no teor de projeto com o compactador giratório.

8.9. CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE MISTURAS CPA

Pode-se verificar que as misturas abertas, do tipo CPA, sofrem grande influência da forma de compactação empregada na moldagem dos CPs. Além disso, a partir dos teores de projeto obtidos na dosagem Superpave, pode-se verificar que, no caso de misturas abertas, o número de giros não corresponde ao mesmo número de golpes da compactação de misturas densas.

Pode-se verificar que a maioria das misturas com CAP FlexPave 65/90 moldadas nesta pesquisa com compactador Marshall não atende a especificação brasileira quanto ao volume de vazios, de 18,0 a 25,0%.

Os resultados de resistência à tração mostram que todas as misturas com CAP FlexPave 65/90 atendem a especificação brasileira (RT mínimo de 0,55 MPa), mas que apenas a mistura moldada com compactador Marshall no teor de projeto atende a especificação americana (RT mínimo de 0,70 MPa). Quanto às misturas com CAP Ecoflex Pave B moldadas com compactador Marshall pode-se verificar que todas apresentaram valores de RT dentro dos limites da especificação brasileira, mas não atendem a especificação americana. A mistura moldada com compactador giratório não atende aos valores mínimos recomendados pelas especificações: brasileira (0,55 MPa) e americana (RT mínimo de 0,70 MPa).

Quanto ao tipo de compactador, pode-se verificar que todas as misturas CPA com os dois asfaltos modificados, moldadas com compactador Marshall, atenderam a especificação brasileira, mas apenas a mistura com asfalto modificado por polímero moldada no teor de projeto atendeu a especificação americana. No caso das misturas moldadas com compactador giratório, pode-se verificar que a mistura com asfalto modificado por borracha não atende aos valores mínimos recomendados pelas especificações brasileira e americana.

Quanto ao tipo de ligante, pode-se verificar que as misturas moldadas com asfalto modificado por polímero apresentaram melhores resultados quando comparadas com as misturas com asfalto modificado por borracha.

Vale ressaltar que foi adotada a CPA como única camada asfáltica na análise das estruturas. No entanto, pode-se verificar pelos resultados de fadiga que a CPA não pode ser empregada como única camada de revestimento, sendo necessário aplicar uma camada mais impermeável antes.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De forma geral, pode-se verificar que **todos os tipos de misturas** analisadas sofrem **influência da variação do teor de ligante na vida de fadiga**.

No caso de misturas densas do tipo CA, pode-se verificar que, na maioria dos casos, um menor teor de ligante em relação ao de projeto é pior do ponto de vista da fadiga. No entanto, em alguns casos, um pequeno aumento do teor de ligante proporcionou aumento da vida de fadiga. No caso de misturas densas de granulometria 9,5 mm e 12,5 mm, a influência é maior para misturas com asfaltos modificados, em que um aumento de ligante implica quase sempre em um aumento de vida de fadiga. No caso de misturas de granulometria 19,0 mm ocorreu o inverso, onde a maioria das misturas apresentou uma redução da vida de fadiga com aumento do teor de ligante. Cabe lembrar que, apesar de pequeno aumento do teor de ligante proporcionar, em alguns casos, um aumento de vida de fadiga, é importante analisar também o comportamento de resistência à deformação permanente e exsudação, uma vez que o excesso de ligante pode originar eventualmente esses tipos de defeitos no pavimento.

Misturas descontínuas do tipo SMA dependem muito da qualidade dos agregados, uma vez que a mistura é composta por maior fração de agregados graúdos que deverão estar em contato, interligados através de um mástique, composto de material fino e ligante asfáltico. Esse tipo de mistura deve apresentar granulometria específica, em que o intertravamento das partículas é fundamental, e a resistência dos grãos é um dos principais parâmetros que deve ser considerado, pois pode influenciar na determinação do teor de projeto e na resistência à deformação permanente e vida de fadiga. A resistência à tração da mistura está diretamente relacionada com a permanência do esqueleto mineral formado pelo contato entre as partículas de agregados graúdos.

Quando analisadas as misturas descontínuas do tipo *gap graded* pode-se verificar que a variação do teor de ligante, para cima ou para baixo, implica na redução da vida de fadiga, independente do tipo de ligante, o que implica em dizer que, nesse tipo de mistura, o teor de projeto deve ser sempre atendido.

Quanto às misturas abertas, do tipo CPA, pode-se verificar que esse tipo de mistura sofre grande influência da forma de compactação empregada na moldagem dos CPs, uma vez que a curva granulométrica é uniforme, formada por agregados quase exclusivamente de mesmo tamanho, com muitos vazios interconectados e quantidade reduzida de material fino. Outro fator importante que foi identificado é que, a partir dos teores de projeto obtidos na dosagem Superpave, pode-se verificar que, no caso de misturas descontínuas e de misturas abertas, o número de giros para moldar os CPs não corresponde ao mesmo número de golpes utilizado na compactação de misturas densas.

Apesar de algumas especificações permitirem a variação do teor de projeto da mistura em usina no intervalo de $\pm 0,3\%$, deve-se tomar cuidado para evitar que isso não seja refletido no pavimento em forma de defeitos.

De forma geral, alguns resultados mostraram que a variação do teor de ligante influencia o desempenho das misturas asfálticas em laboratório. Além disso, algumas misturas com o mesmo tipo de ligante apresentaram grande variação na vida de fadiga, o que pode ter acontecido em função do tipo e da forma de compactação das misturas. No entanto, esse comportamento não foi uniforme, sendo que para algumas misturas ocorria aumento da vida de fadiga com o aumento de $+0,25\%$ do teor de ligante e redução com um aumento de $+0,50\%$ do teor de ligante. Outro fator observado é quanto à influência do tipo de compactação, que ainda precisa ser mais explorado, pois o comportamento não é o mesmo para os diferentes tipos de misturas.

Dessa forma, fica evidente a necessidade de dar continuidade ao estudo de sensibilidade dos ligantes, através da moldagem de novos CPs de algumas misturas e da realização de ensaios complementares.

REFERÊNCIAS

- AASHTO M 323-04. *Superpave Volumetric Mix Design*. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO M 323-04, Washington, D.C., 2004.
- AASHTO MP 2. *Standard Specifications for SUPERPAVE Volumetric Mix Design*. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO MP2-01, Washington, D. C., 2001.
- AASHTO MP 325. *Stone Matrix Asphalt*. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO MP 325-08, Washington, D. C., 2008.
- AASHTO PP 2. *Standard Practice for Mixture Conditioning of Hot Mix Asphalt (HMA)*. American Association of State Highway and Transportation Officials. AASHTO PP2-01, Washington, D.C., 2001.
- AASHTO PP 28. *Standard Practice for SUPERPAVE Volumetric Design for Hot-Mix Asphalt (HMA)*. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO PP28-01, Washington, D. C., 2001.
- AASHTO T 209. *Theoretical Maximum Specific Gravity And Density Of Bituminous Paving Mixtures*. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO T 09-08, Washington, D.C., 2008.
- AASHTO T 305. *Determination of Draindown Characteristics in Uncompacted Asphalt Mixtures*. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO PP28, Washington, D.C., 2009.
- AASHTO T 84. *Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregates*. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO T84-09, Washington, D.C., 2009.
- AASHTO T 85. *Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate*. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO T85-08, Washington, D.C., 2008.
- ABNT NBR 12891. *Dosagem de Misturas Betuminosas pelo Método Marshall*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 12891:2003, Rio de Janeiro, RJ, 2003.
- ABNT NBR 15140. *Determinação do Desgaste por Abrasão Cantabro*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 15140:2004, Rio de Janeiro, RJ, 2004.

- ABNT NBR 15573. *Misturas Asfálticas - Determinação da Massa Específica Aparente de Corpos de Prova Compactados*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 15573:2008, Rio de Janeiro, RJ, 2008.
- ASTM C 128. *Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate*. American Society for Testing and Materials, ASTM C 128-07 REV A, USA, 2007.
- ASTM C 131. *Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*. American Society for Testing and Materials, ASTM C 131-06, USA, 2006.
- ASTM C127. *Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate*. American Society for Testing and Materials, ASTM C 127-07, USA, 2007.
- ASTM D 2041. *Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures*. American Society for Testing and Materials, ASTM D 2041-00, USA, 2000.
- BERNUCCI, L. L. B.; MOTTA, L. M. G. da; CERATTI, J. A.; SOARES, J. B. *Pavimentação Asfáltica - Formação Básica para Engenheiros*. ABEDA. PETROBRAS. 1ª Edição, Rio de Janeiro, RJ, 2007.
- CARNEIRO, F. L. L. Um novo Método para a Determinação da Resistência à Tração dos Concretos. *5ª Reunião da ABNT*. Rio de Janeiro, RJ, 1943.
- CAVALCANTI, L. S. *Efeito de Alguns Modificadores de Ligantes na Vida de Fadiga e Deformação Permanente de Misturas Asfálticas*. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, RJ, 177 p., 2010.
- COOLEY, JR., L. A.; BROWN, E. R.; WATSON, D. E. *Evaluation Of OGFC Mixtures Containing Cellulose Fibers*. NCAT Report No. 2000-05. National Center for Asphalt Technology of Auburn University. Alabama, USA, 2000.
- COPPE. *Relatório Final: Estudo comparativo do comportamento de fadiga de misturas betuminosas com diferentes teores de asfalto*. Convênio PEC 8650. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, RJ, 2010.
- CUNHA, M. B. *Avaliação do Método de Bailey de Seleção Granulométrica de Agregados para Misturas Asfálticas*. Dissertação de M.Sc. EESC/USP - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2004.

- DNER ES 386. *Pavimentação - Pré-Misturado a Quente com Asfalto Polímero - Camada porosa de atrito*. DNER ES 386/99. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, RJ, 1999.
- DNER ME 043. *Misturas Betuminosas a Quente - Ensaio Marshall*. Método de Ensaio DNER ME 043/95. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, RJ, 1995.
- DNER ME 081. *Agregados - Determinação da Absorção e da Densidade de Agregado Graúdo*. Método de Ensaio DNER ME 081/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, RJ, 1994.
- DNER ME 084. *Agregado Miúdo - Determinação da Densidade Real*. Método de Ensaio DNER ME 084/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, RJ, 1994.
- KANDHAL, P. S. e R. B. MALLICK. *Open-Graded Friction Course: State of the Practice*. Transportation Research Circular Number E-C005, Transportation Research Board - TRB, Washington D.C., 1998.
- KATMAN, H. Y.; KARIM, M. R.; IBRAHIM, M. R.; MAHREZ, A. Effect Of Mixing Type On Performance Of Rubberised Porous Asphalt. *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*. Vol. 5, pp. 762-771, 2005.
- MOURÃO, F. A. L. *Misturas Asfálticas de Alto Desempenho Tipo SMA*. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2003.
- NAPA. *Design And Construction SMA Mixtures: State Of The Practice*. National Asphalt Pavement Association. Quality Improvement Series 122. 43p., USA, 1999.
- NASCIMENTO, L. A. H. *Nova Abordagem da Dosagem de Misturas Asfálticas Densas com Uso do Compactador Giratório e Foco na Deformação Permanente*. Dissertação de Mestrado. Programa de Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2008.
- NCHRP. *A Mix Design Manual for Hot Mix Asphalt*. National Cooperative Highway Research Program. NCHRP 09-33. Transportation Research Board, 2005.
- NOVA DUTRA. *Dosagem de Camada Porosa de Atrito (CPA)*. CPA - Faixa Arizona. CCR-RMA-CPA AZN-032/2009 - CAP M DE 14/04/2009. Grupo CCR - ENGELOG. 2009.

- PINHEIRO, J. H. M. *Incorporação de Borracha de Pneu em Misturas Asfálticas de Diferentes Granulometrias - Processos Úmido e Seco*. Dissertação de Mestrado, PETRAN/UFC, Fortaleza, CE, 2004.
- PINTO, S. *Estudo do Comportamento à Fadiga de Misturas Betuminosas e Aplicação na Avaliação Estrutural de Pavimentos*. Tese de Doutorado, Programa de Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 1991.
- PINTO, S., *Materiais Pétreos e Concreto Asfáltico: Conceituação e Dosagem*. Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, 1996.
- QUEIROZ, C. A. V. *Performance Prediction Models for Pavement Management in Brazil*. Tese (Ph.D., Civil Eng.), Univ. Texas, Austin, 1981. 334p. (Traduzido para o português: modelos de previsão de desempenho para a gerência de pavimentos no Brasil. Brasília. GEIPOT, 1984. 366p).
- SMITH J. R. *Asphalt Rubber Open Graded Friction Course*. Asphalt Rubber Information. General Information. Disponível em: <http://www.asphaltrubber.org/ari/>. 2002.
- VAVRIK, W. R.; HUBER, G.; PINE, W.; CARPENTER, S. H.; BAILEY, R. *Bailey Method for Gradation Selection in HMA Mixture Design*. Transportation Research Board of the National Academies. Transportation Research E-Circular. Number E-C044, Washington, D. C., EUA. Outubro, 2002.
- VIANNA, A. A. D.; MOTTA, L. M. G.; DOMINGUES, R. G. *Ensaio de Compressão Axial de CBUQ - Uma Nova Técnica de Medição das Deformações - XVI ANPET - novembro de 2003 - Rio de Janeiro, RJ, 2003*.

ANEXO 1 - CA: Dosagem e Resultados dos Ensaios Volumétricos e Mecânicos

A1.1. Dosagem de CA

A1.1.1. CA, CAP 30-45, Faixa 9,5 mm

Para atender a faixa granulométrica 9,5 mm SUPERPAVE foram moldados 3 corpos de prova no compactador giratório para cada teor (4,50%, 5,00%, 5,50% e 6,00%) de CAP 30-45. Na **Tabela A1.1** e na **Figura A1.1** são mostrados os parâmetros volumétricos e mecânicos dos diferentes teores empregados na dosagem. O teor de projeto para a mistura é de 5,50%.

Tabela A1.1: Parâmetros volumétricos e mecânicos das misturas com CAP 30-45, faixa 9,5 mm.

Teor de ligante (%)	Massa específica aparente, Gmb (g/cm ³)	Densidade máxima da mistura, Gmm	Volume de vazios (%)	VAM	RBV	MR (MPa)	RT (MPa)
4,50%	2,384	2,602	8,40	17,97	53,27	6.863	1,33
5,00%	2,423	2,582	6,17	17,06	63,81	8.498	1,50
5,50%	2,455	2,563	4,20	16,40	74,42	7.961	1,52
6,00%	2,460	2,543	3,27	16,67	80,39	8.527	1,58

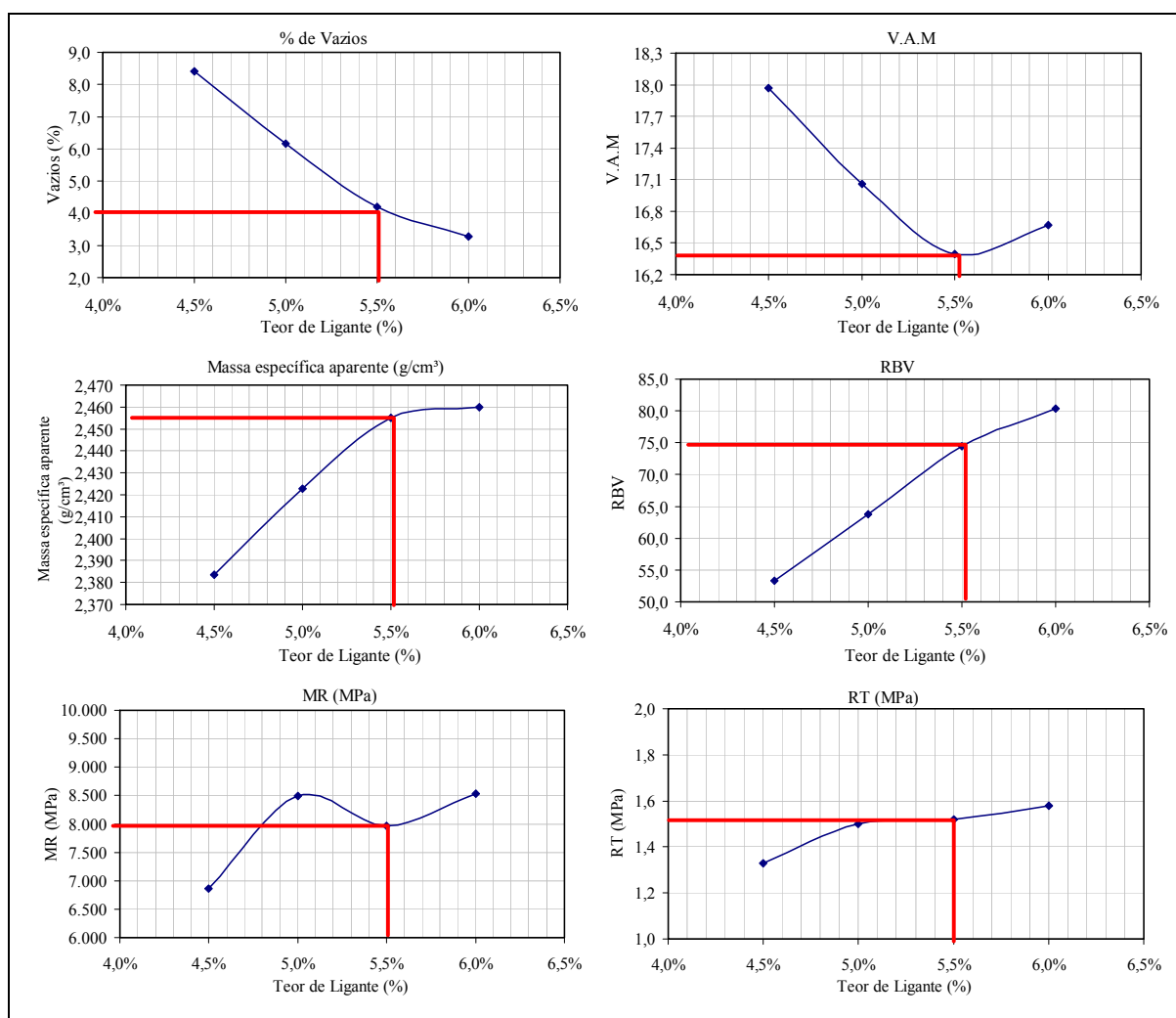


Figura A1.1: Variação dos parâmetros volumétricos e mecânicos de misturas com CAP 30-45, faixa 9,5 mm.

A1.1.2. CA, CAP 30-45, Faixa 12,5 mm

Para atender a faixa granulométrica 12,5 mm do DNIT foram moldados 3 corpos de prova para cada teor (4,00%, 4,50% e 5,00%) de ligante CAP 30-45. Os resultados dos parâmetros volumétricos e mecânicos estão apresentados na **Tabela A1.2**. A **Figura A1.2** mostra os gráficos representativos dos parâmetros volumétricos e mecânicos versus os teores de asfalto. O teor de projeto segundo a metodologia MARSHALL para a mistura estudada é de **4,70%**.

Tabela A1.2: Parâmetros volumétricos e mecânicos de misturas asfálticas com CAP 30-45, faixa 12,5 mm.

Teor de ligante (%)	Massa específica aparente, Gmb (g/cm ³)	Densidade máxima da mistura, Gmm	Volume de vazios (%)	VAM	RBV	MR (MPa)	RT (MPa)
4,00%	2,478	2,635	5,95	15,39	61,34	9.706	1,38
4,50%	2,500	2,614	4,38	15,10	71,96	9.926	1,76
5,00%	2,506	2,594	3,40	15,33	77,82	10.190	1,81

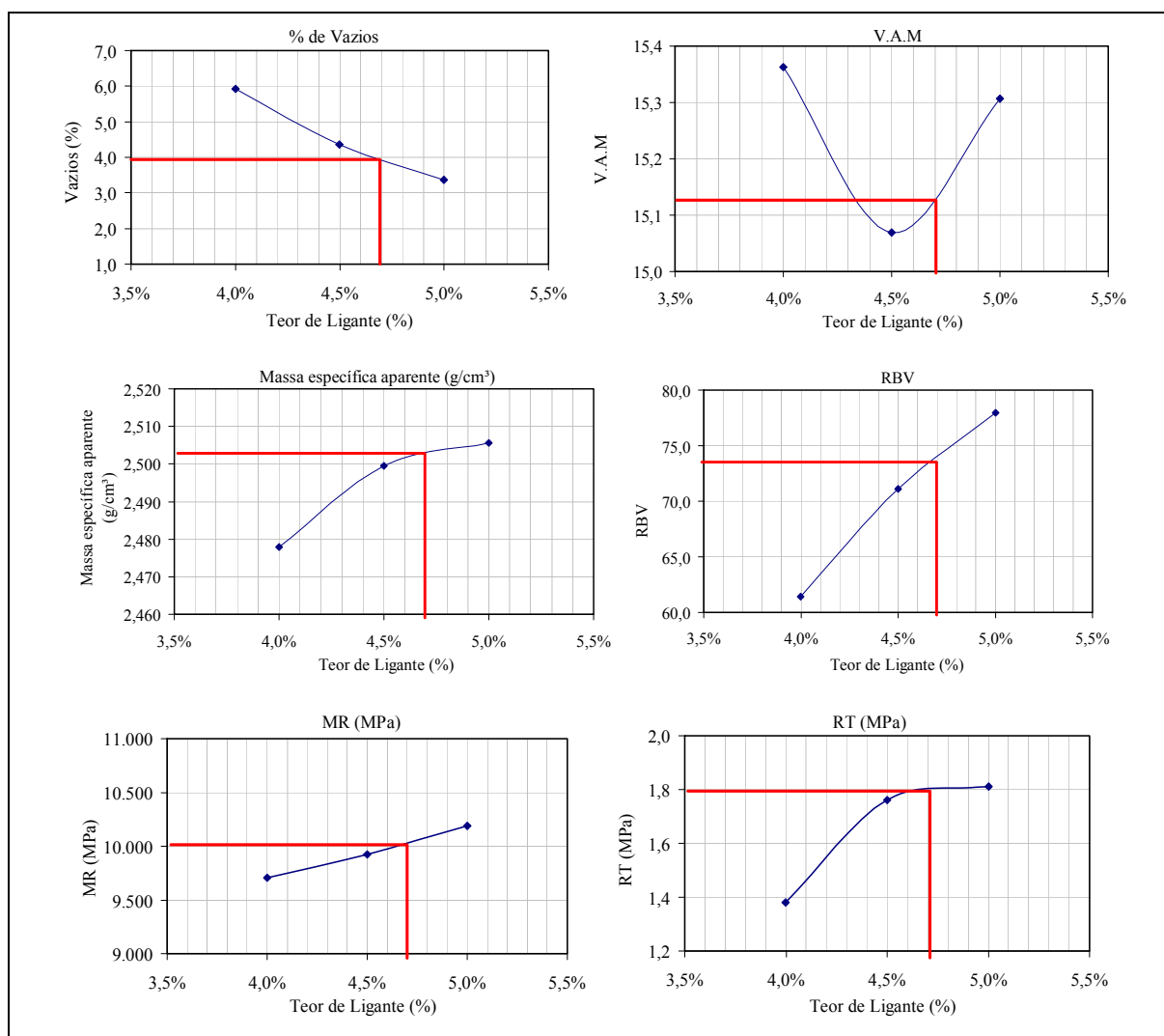


Figura A1.2: Variação dos parâmetros volumétricos e mecânicos das misturas com CAP 30-45, faixa 12,5 mm.

A1.1.3. CA, CAP 30-45, Faixa 19,0 mm

Para atender a faixa granulométrica 19,0 mm SUPERPAVE foram moldados 3 corpos de prova para cada teor (4,50%, 5,00%, 5,50% e 6,00%) de ligante CAP 30-45, atendendo o procedimento de dosagem de misturas asfálticas. A partir dos parâmetros volumétricos dos corpos de prova confeccionados para a realização das dosagens (**Tabela A1.3**), foram montados gráficos mostrando a variação da % Vv, VAM e RBV versus o teor de ligante asfáltico (**Figura A1.3**). O teor de projeto segundo a metodologia MARSHALL para a mistura estudada é de **4,60%**.

Tabela A1.3: Parâmetros volumétricos e mecânicos das misturas com CAP 30-45, faixa 19,0 mm.

Teor de ligante (%)	Massa específica aparente, Gmb (g/cm ³)	Densidade máxima da mistura, Gmm	Volume de vazios (%)	VAM	RBV	MR (MPa)	RT (MPa)
4,50%	2,500	2,610	4,21	14,92	71,78	9.239	1,63
5,00%	2,514	2,590	2,93	14,90	80,34	9.007	1,58
5,50%	2,538	2,570	1,25	14,54	91,40	8.973	1,82
6,00%	2,526	2,550	0,94	15,37	93,88	8.462	1,64

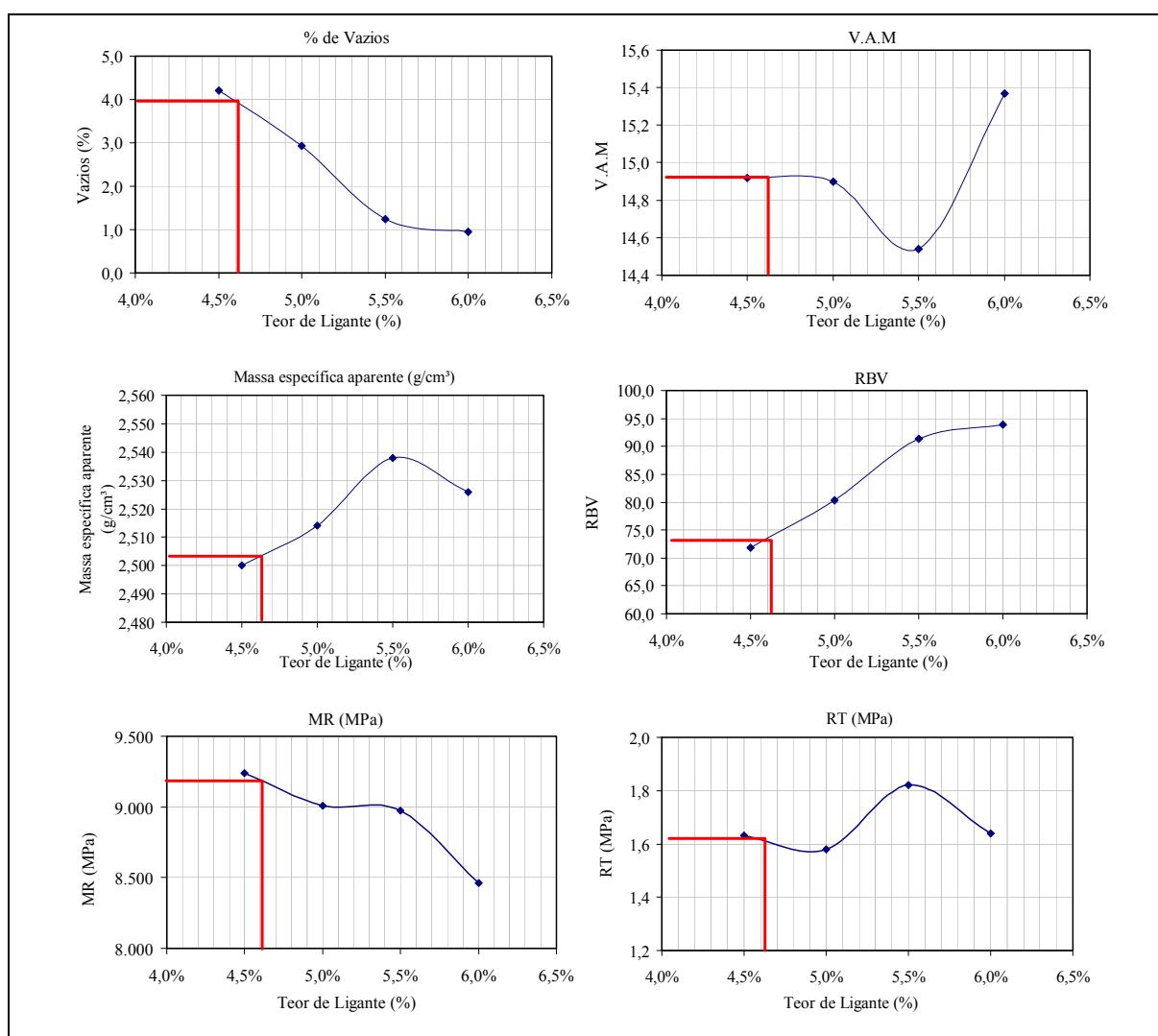


Figura A1.3: Variação dos parâmetros volumétricos e mecânicos das misturas com CAP 30-45, faixa 19,0 mm.

A1.1.4. CA, CAP 50-70, Faixa 9,5 mm

Para atender a faixa granulométrica 9,5 mm SUPERPAVE foram moldados 3 corpos de prova no compactador giratório para cada teor (4,50%, 5,00%, 5,50% e 6,00%) de CAP 50-70. Na **Tabela A1.4** e na **Figura A1.4** são mostrados os valores obtidos para os parâmetros volumétricos dos corpos de prova moldados para a dosagem. O teor de projeto segundo a metodologia MARSHALL para a mistura estudada é de **5,10%**.

Tabela A1.4: Parâmetros volumétricos e mecânicos das misturas com CAP 50-70, faixa 9,5 mm.

Teor de ligante (%)	Massa específica aparente, Gmb (g/cm ³)	Densidade máxima da mistura, Gmm	Volume de vazios (%)	VAM	RBV	MR (MPa)	RT (MPa)
4,50%	2,442	2,591	5,75	15,97	64,00	12.444	2,00
5,00%	2,456	2,570	4,43	15,92	72,20	12.579	2,07
5,50%	2,490	2,549	2,32	15,21	84,76	11.466	2,08
6,00%	2,505	2,529	0,95	15,16	93,74	9.587	2,09

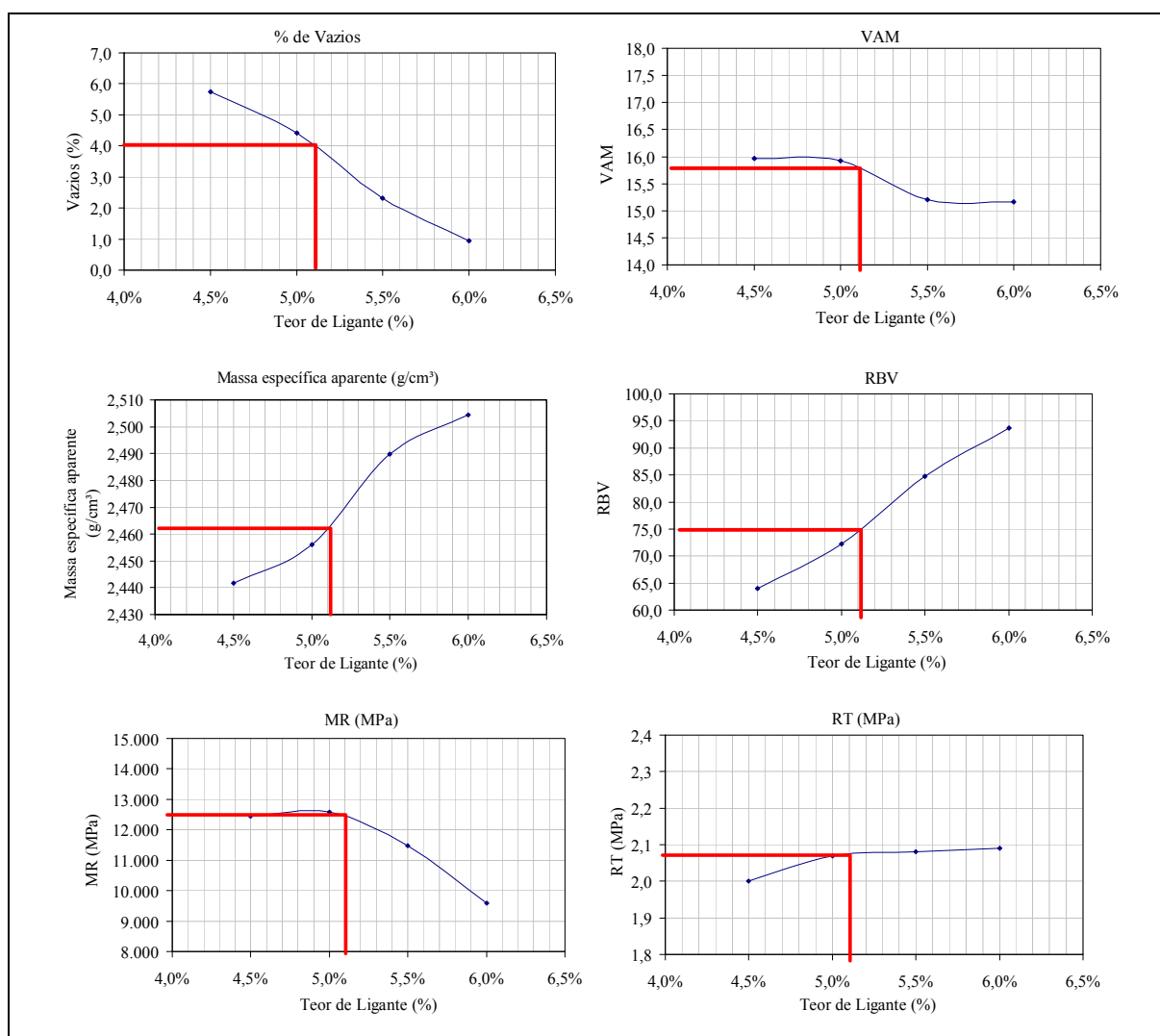


Figura A1.4: Variação dos parâmetros volumétricos e mecânicos de misturas com CAP 50-70, faixa 9,5 mm.

A1.1.5. CA, CAP 50-70, Faixa 12,5 mm

Para atender a faixa granulométrica 12,5 mm do DNIT foram moldados 3 corpos de prova no compactador giratório para cada teor (4,00%, 4,50% e 5,00%) de ligante CAP 50-70. Na **Tabela A1.5** são mostrados os valores obtidos para os parâmetros volumétricos e mecânicos dos corpos de prova moldados para a dosagem. Na **Figura A1.5** são mostrados os gráficos representativos da variação dos parâmetros volumétricos e mecânicos versus os teores de asfalto. O teor de projeto segundo a metodologia MARSHALL para a mistura estudada é de **4,60%**.

Tabela A1.5: Parâmetros volumétricos e mecânicos das misturas com CAP 50-70, faixa 12,5 mm.

Teor de ligante (%)	Massa específica aparente, Gmb (g/cm ³)	Densidade máxima da mistura, Gmm	Volume de vazios (%)	VAM	RBV	MR (MPa)	RT (MPa)
4,00%	2,474	2,617	5,45	15,25	64,25	12,125	2,26
4,50%	2,485	2,596	4,25	15,32	72,28	12,270	2,13
5,00%	2,490	2,574	3,29	15,61	78,95	12,211	2,23

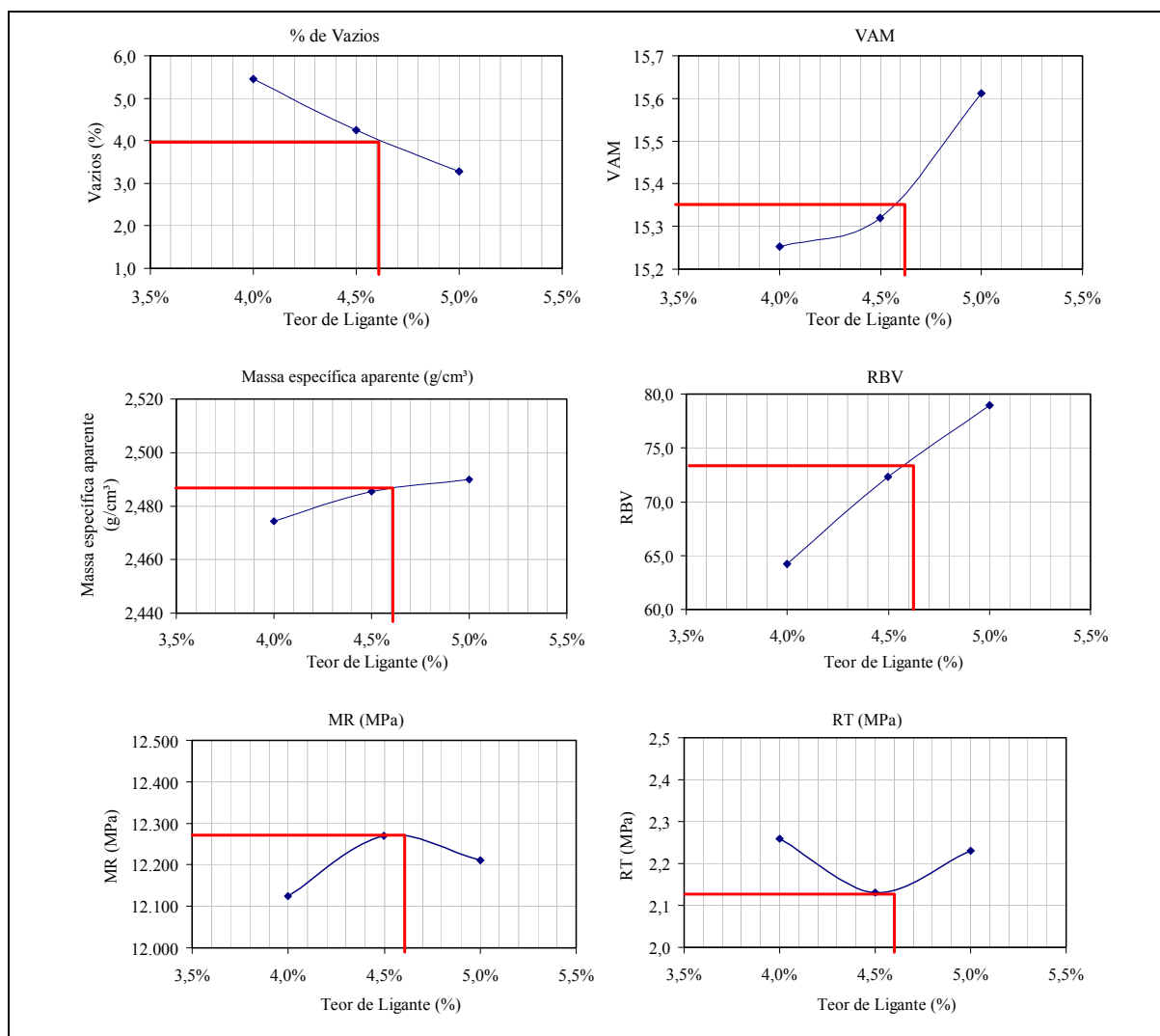


Figura A1.5: Variação dos parâmetros volumétricos e mecânicos de misturas com CAP 50-70, faixa 12,5 mm.

A1.1.6. CA, CAP 50-70, Faixa 19,0 mm

Para atender a faixa granulométrica 19,0 mm SUPERPAVE foram moldados 3 corpos de prova no compactador giratório para cada teor (3,50%, 4,00%, 4,50% e 5,00%) de ligante CAP 50-70. Na **Tabela A1.6** são mostrados os valores obtidos para os parâmetros volumétricos dos corpos de prova moldados para a dosagem. Na **Figura A1.6** são mostrados os gráficos representativos da variação dos parâmetros volumétricos versus os teores de asfalto. O teor de projeto segundo a metodologia MARSHALL para a mistura estudada é de **4,50%**.

Tabela A1.6: Parâmetros volumétricos e mecânicos das misturas com CAP 50-70, faixa 19,0 mm.

Teor de ligante (%)	Massa específica aparente, Gmb (g/cm ³)	Densidade máxima da mistura, Gmm	Volume de Vazios (%)	VAM	RBV	MR (MPa)	RT (MPa)
3,50%	2,470	2,624	5,89	13,76	57,27	8,083	1,50
4,00%	2,475	2,603	4,91	14,04	65,00	8,034	1,53
4,50%	2,477	2,582	4,07	13,85	71,81	8,030	1,70
5,00%	2,507	2,561	2,12	14,23	84,73	8,008	1,78

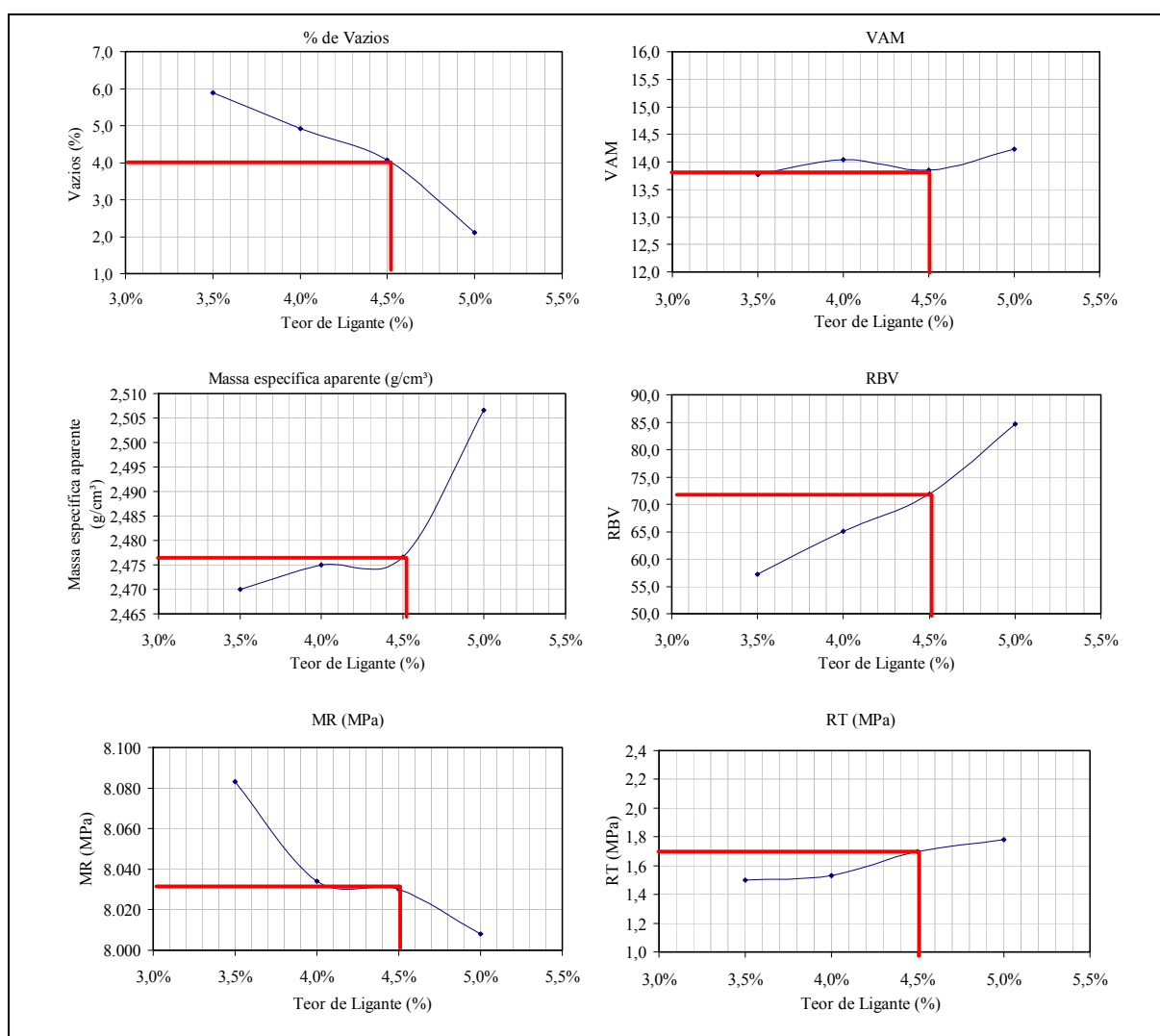


Figura A1.6: Variação dos parâmetros volumétricos e mecânicos de misturas com CAP 50-70, faixa 19,0 mm.

A1.1.7. CA, CAP SBS da Ipiranga, Faixa 9,5 mm

Para atender a faixa granulométrica 9,5 mm SUPERPAVE foram moldados 3 corpos de prova no compactador giratório para cada teor (4,50%, 5,00%, 5,50% e 6,00%) de ligante CAP SBS da Ipiranga. Na **Tabela A1.7** e na **Figura A1.7** são mostrados os parâmetros volumétricos e mecânicos dos corpos de prova moldados para a dosagem versus os teores de asfalto experimentados. O teor de projeto segundo a metodologia MARSHALL para a mistura estudada é de **5,15%**.

Tabela A1.7: Parâmetros volumétricos das misturas com CAP SBS da Ipiranga, faixa 9,5 mm.

Teor de ligante (%)	Massa específica aparente, Gmb (g/cm^3)	Densidade máxima da mistura, Gmm	Volume de Vazios (%)	VAM	RBV	MR (MPa)	RT (MPa)
4,50%	2,427	2,606	6,90	17,71	61,04	4.523	1,24
5,00%	2,467	2,585	4,58	16,79	72,72	4.515	1,34
5,50%	2,490	2,564	2,89	16,45	82,43	4.384	1,48
6,00%	2,507	2,543	1,44	16,33	91,18	4.059	1,48

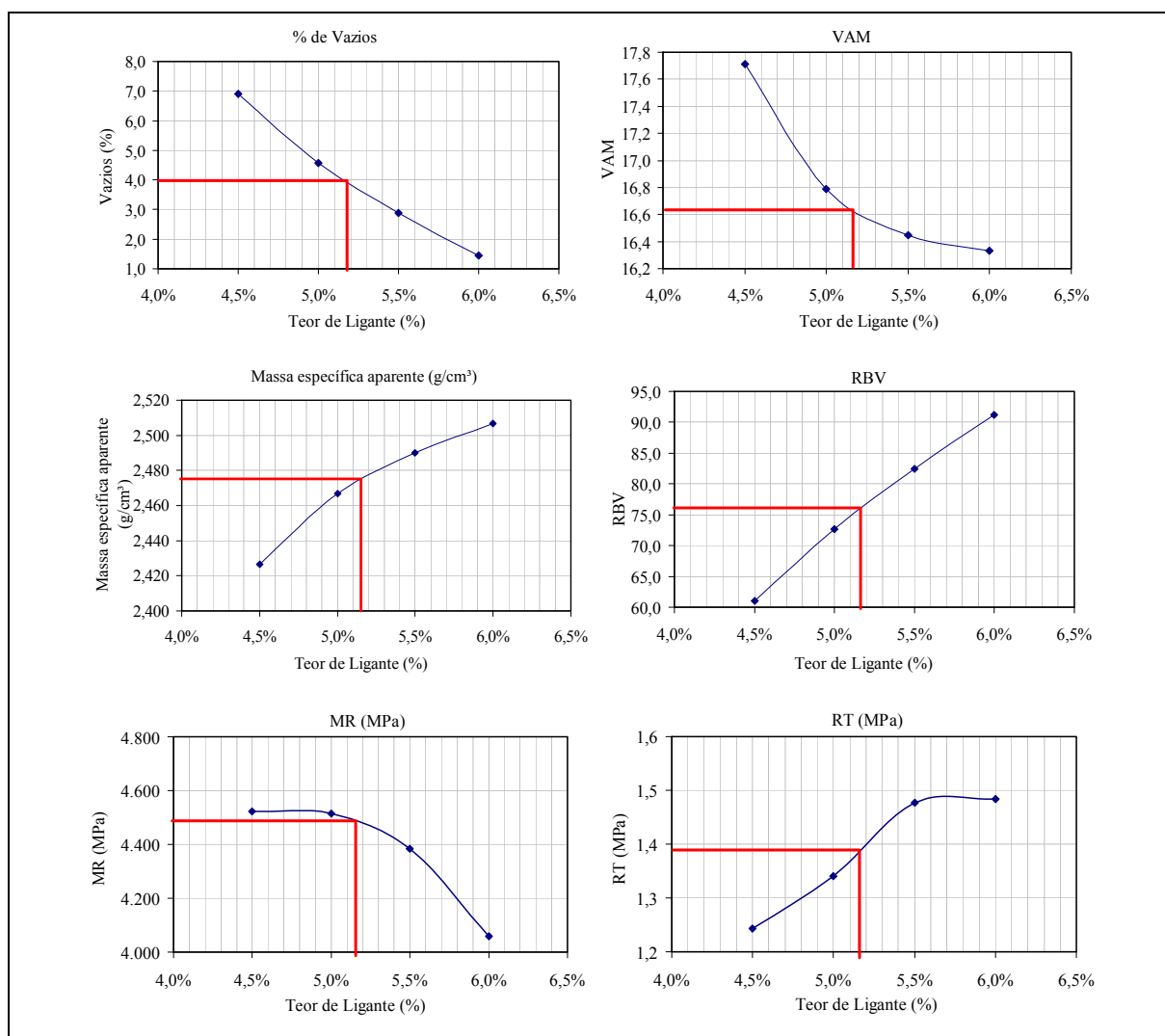


Figura A1.7: Variação dos parâmetros volumétricos da dosagem de misturas com CAP SBS, faixa 9,5 mm.

A1.1.8. CA, CAP SBS da Ipiranga, Faixa 12,5 mm

Para atender a faixa granulométrica 12,5 mm do DNIT foram moldados 3 corpos de prova no compactador giratório para cada teor (4,50%, 5,00%, 5,50% e 6,00%) de ligante CAP SBS da Ipiranga. Na **Tabela A1.8** e na **Figura A1.8** são mostrados os parâmetros volumétricos e mecânicos dos corpos de prova moldados para a dosagem versus os teores de asfalto experimentados. O teor de projeto segundo a metodologia MARSHALL para a mistura estudada é de **4,70%**.

Tabela A1.8: Parâmetros volumétricos das misturas com CAP SBS da Ipiranga, faixa 12,5 mm.

Teor de ligante (%)	Massa específica aparente, Gmb (g/cm ³)	Densidade máxima da mistura, Gmm	Volume de vazios (%)	VAM	RBV	MR (MPa)	RT (MPa)
4,50%	2,480	2,600	4,62	15,67	70,52	4.972	1,37
5,00%	2,490	2,580	3,10	15,48	79,97	5.467	1,45
5,50%	2,520	2,560	1,56	15,28	89,79	4.072	1,38
6,00%	2,510	2,540	1,18	16,09	92,67	3.483	1,33

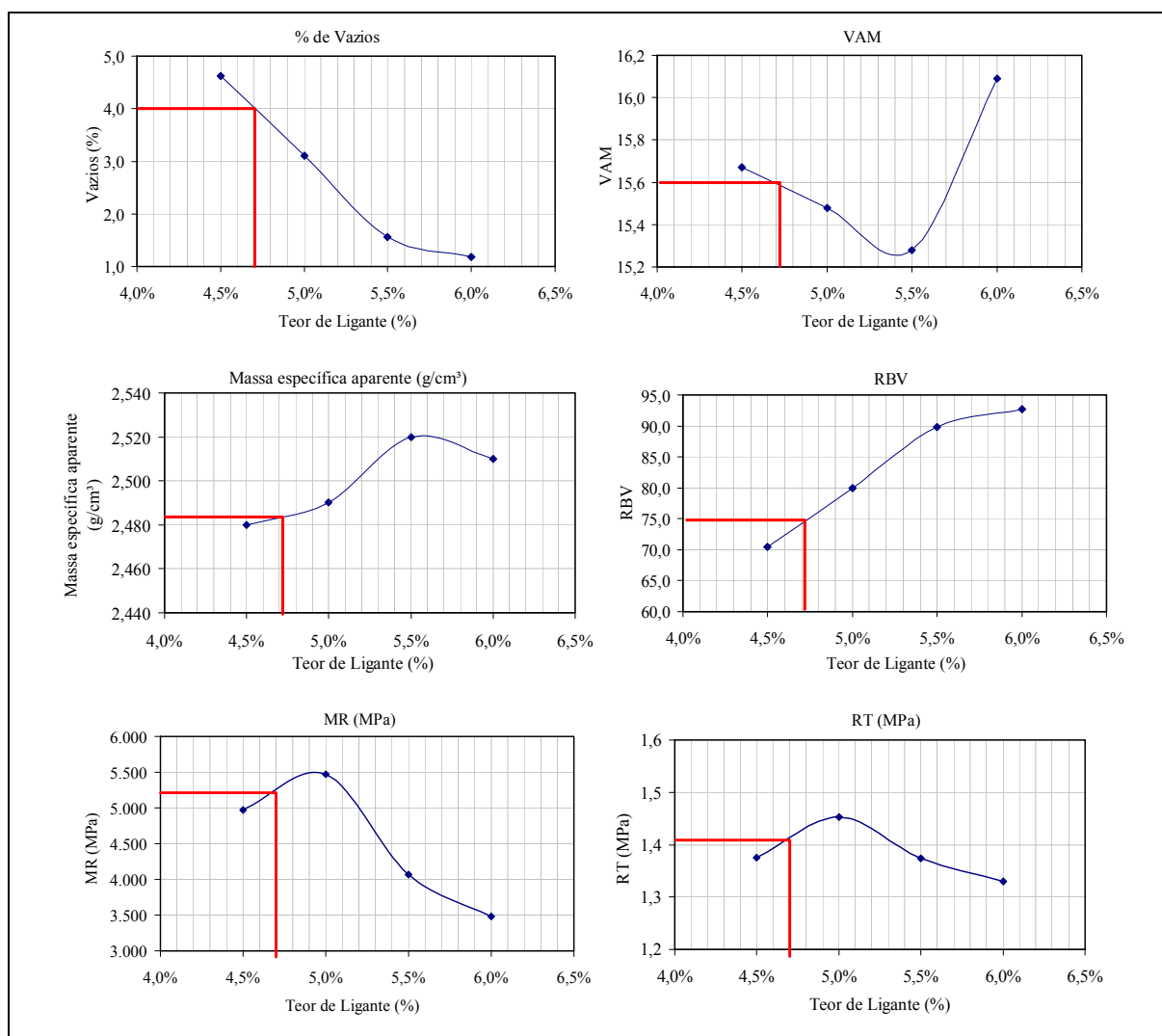


Figura A1.8: Variação dos parâmetros volumétricos da dosagem de misturas com CAP SBS, faixa 12,5 mm.

A1.1.9. CA, CAP SBS da Ipiranga, Faixa 19,0 mm

Para atender a faixa granulométrica 19,0 mm SUPERPAVE foram moldados 3 corpos de prova no compactador giratório para cada teor (4,00%, 4,50%, 5,00% e 5,50%) de ligante CAP SBS da Ipiranga. Na **Tabela A1.9** e na **Figura A1.9** são mostrados os parâmetros volumétricos e mecânicos dos corpos de prova moldados para a dosagem versus os teores de asfalto. O teor de projeto segundo a metodologia MARSHALL para a mistura estudada é de **4,10%.**

Tabela A1.9: Parâmetros volumétricos das misturas com CAP SBS da Ipiranga, faixa 19,0 mm.

Teor de ligante (%)	Massa específica aparente, Gmb (g/cm ³)	Densidade máxima da mistura, Gmm	Volume de vazios (%)	VAM	RBV	MR (MPa)	RT (MPa)
4,00%	2,503	2,621	4,48	14,39	68,87	5928	1,46
4,50%	2,530	2,599	2,65	13,92	80,96	6243	1,61
5,00%	2,520	2,578	2,24	14,72	84,78	4598	1,42
5,50%	2,510	2,557	1,83	15,50	88,19	4073	1,31

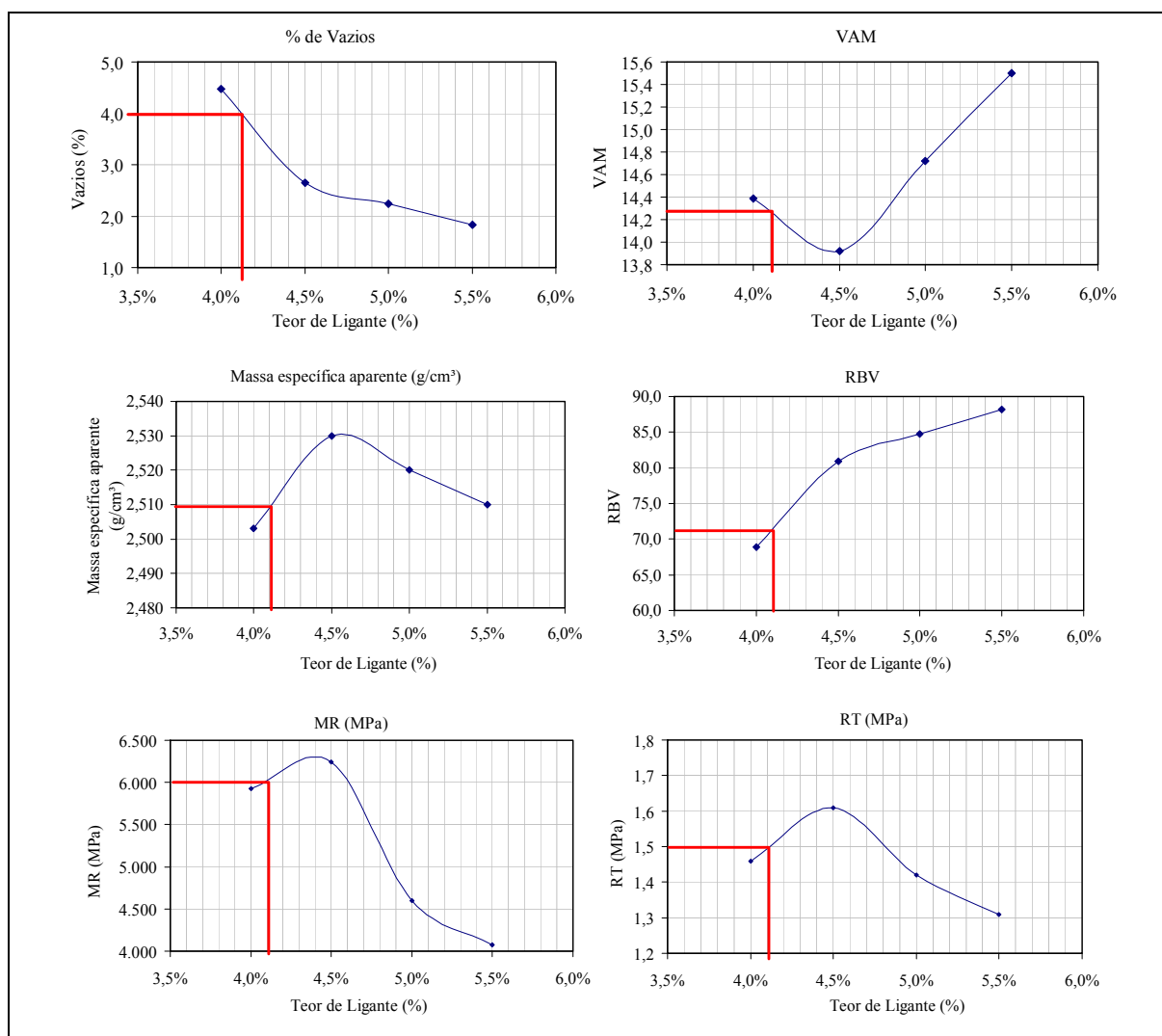


Figura A1.9: Variação dos parâmetros volumétricos da dosagem de misturas com CAP SBS, faixa 19,0 mm.

A1.1.10. CA, ECOFLEX B, Faixa 9,5 mm

Para atender a faixa granulométrica 9,5 mm SUPERPAVE foram moldados 3 corpos de prova no compactador giratório para cada teor (5,50%, 6,00%, 6,50% e 7,00%) de ligante ECOFLEX B. Na **Tabela A1.10** e na **Figura A1.10** são mostrados os parâmetros volumétricos e mecânicos dos corpos de prova moldados para a dosagem versus os teores de asfalto experimentados. A partir dos resultados dos parâmetros volumétricos, o Teor de Projeto das misturas asfálticas com ligante ECOFLEX B determinado em função do Vv de 4,0% é de **5,90%**.

Tabela A1.10: Parâmetros volumétricos das misturas com CAP ECOFLEX B, faixa 9,5 mm.

Teor de ligante (%)	Massa específica aparente, Gmb (g/cm ³)	Densidade máxima da mistura, Gmm	Volume de vazios (%)	VAM	RBV	MR (MPa)	RT (MPa)
5,50%	2,437	2,566	5,01	15,8	70,7	2410	1,47
6,00%	2,449	2,546	3,79	15,6	80,0	2325	1,51
6,50%	2,461	2,526	2,56	15,1	92,2	2544	1,57
7,00%	2,461	2,506	1,81	15,1	95,0	2210	1,53

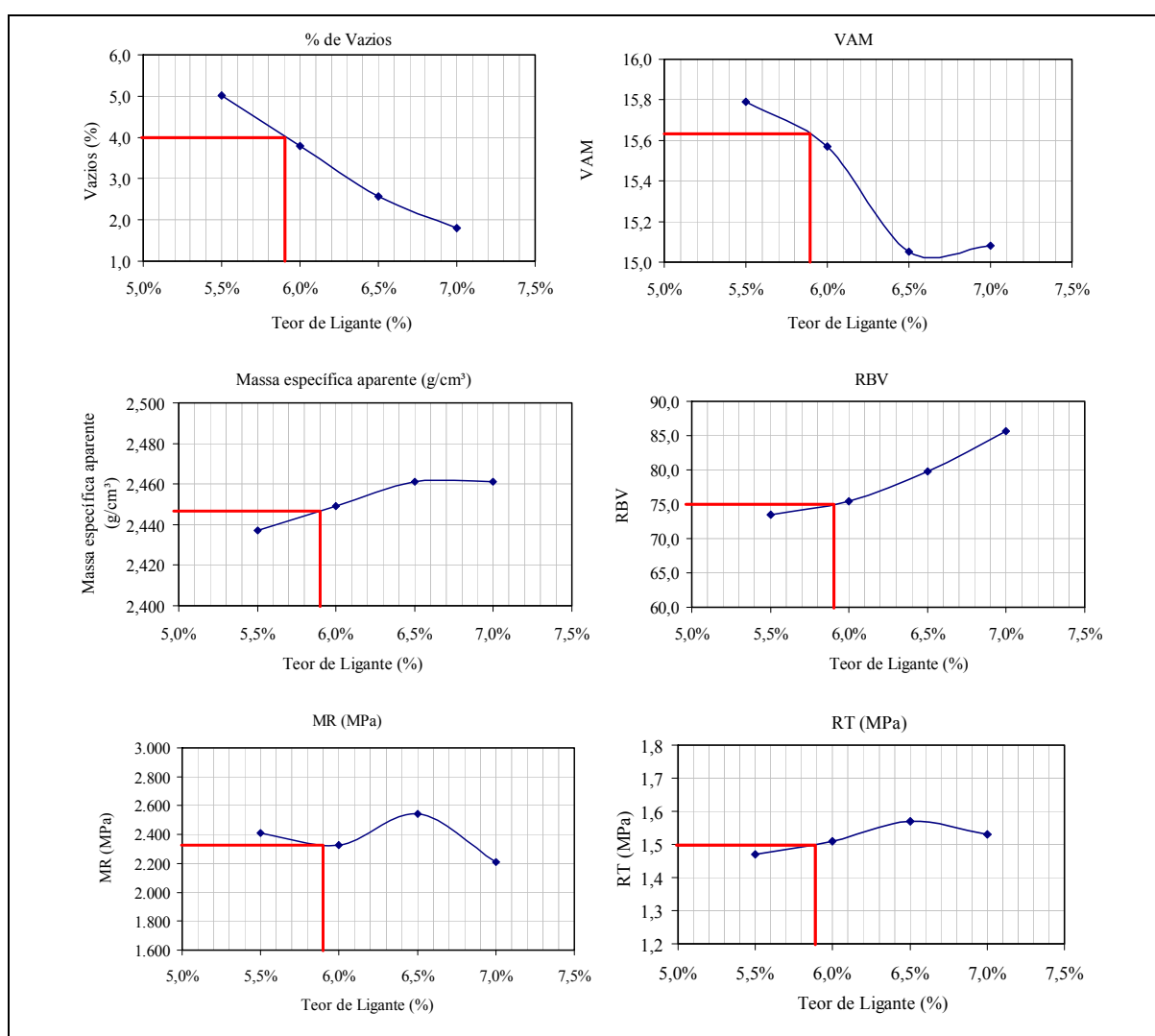


Figura A1.10: Variação dos parâmetros volumétricos da dosagem de misturas com ECOFLEX B, faixa 9,5 mm.

A1.1.11. CA, ECOFLEX B, Faixa 12,5 mm

Para atender a faixa granulométrica 12,5 mm DNIT foram moldados 3 corpos de prova no compactador giratório para cada teor (4,50%, 5,00%, 5,50% e 6,00%) de ligante ECOFLEX B. Na **Tabela A1.11** e na **Figura A1.11** são mostrados os parâmetros volumétricos e mecânicos dos corpos de prova moldados para a dosagem versus os teores de asfalto experimentados. A partir dos resultados dos parâmetros volumétricos, o Teor de Projeto das misturas asfálticas com ligante ECOFLEX B determinado em função do Vv de 4,0% é de **5,30%**.

Tabela A1.11: Parâmetros volumétricos das misturas asfálticas com ECOFLEX B, faixa 12,5 mm.

Teor de ligante (%)	Massa específica aparente, Gmb (g/cm ³)	Densidade máxima da mistura, Gmm	Volume de vazios (%)	VAM	RBV	MR (MPa)	RT (MPa)
4,50%	2,424	2,608	6,76	17,38	61,13	4717	1,20
5,00%	2,432	2,588	5,73	17,59	67,43	3787	1,18
5,50%	2,464	2,567	3,69	16,89	78,13	4710	1,46
6,00%	2,471	2,547	2,69	17,12	84,31	4751	1,53

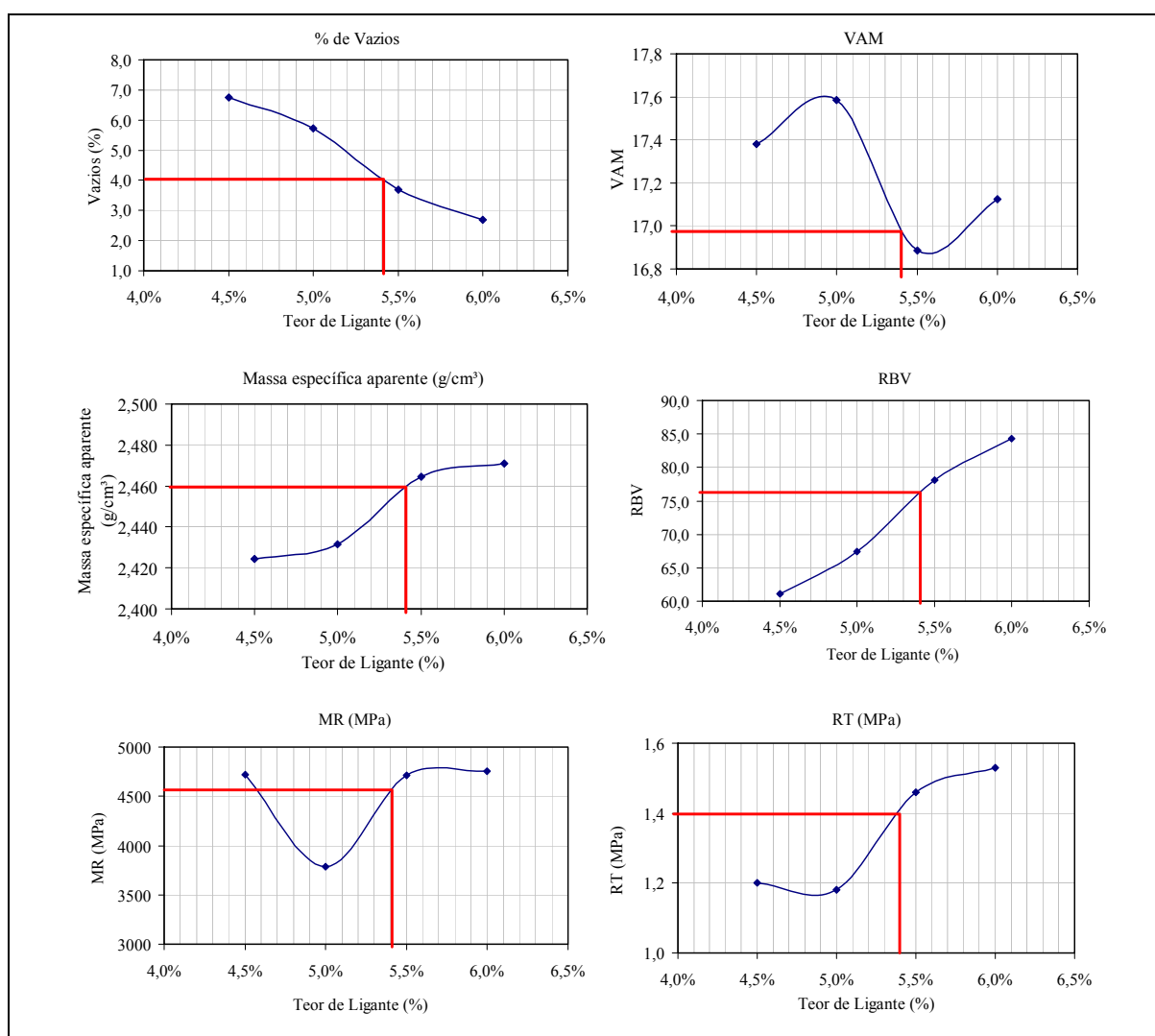


Figura A1.11: Variação dos parâmetros volumétricos da dosagem de misturas com ECOFLEX B, faixa 12,5 mm.

A1.1.12. CA, ECOFLEX B, Faixa 19,0 mm

Para atender a faixa granulométrica 19,0 mm SUPERPAVE foram moldados 3 corpos de prova no compactador giratório para cada teor (4,50%, 5,00%, 5,50% e 6,00%) de ligante ECOFLEX B. Na **Tabela A1.12** e na **Figura A1.12** são mostrados os parâmetros volumétricos e mecânicos dos corpos de prova moldados para a dosagem versus os teores de asfalto experimentados. A partir dos resultados dos parâmetros volumétricos, o Teor de Projeto das misturas asfálticas com ligante ECOFLEX B em função do Vv de 4,0% é de **4,70%**.

Tabela A1.12: Parâmetros volumétricos das misturas asfálticas com ECOFLEX B, faixa 19,0 mm.

Teor de ligante (%)	Massa específica aparente, Gmb (g/cm ³)	Densidade máxima da mistura, Gmm	Volume de vazios (%)	VAM	RBV	MR (MPa)	RT (MPa)
4,50%	2,478	2,593	4,46	15,49	69,86	4660	1,27
5,00%	2,491	2,573	3,17	15,83	76,09	4610	1,37
5,50%	2,498	2,553	2,16	15,82	84,20	4884	1,47
6,00%	2,493	2,533	1,59	16,40	88,43	5078	1,47

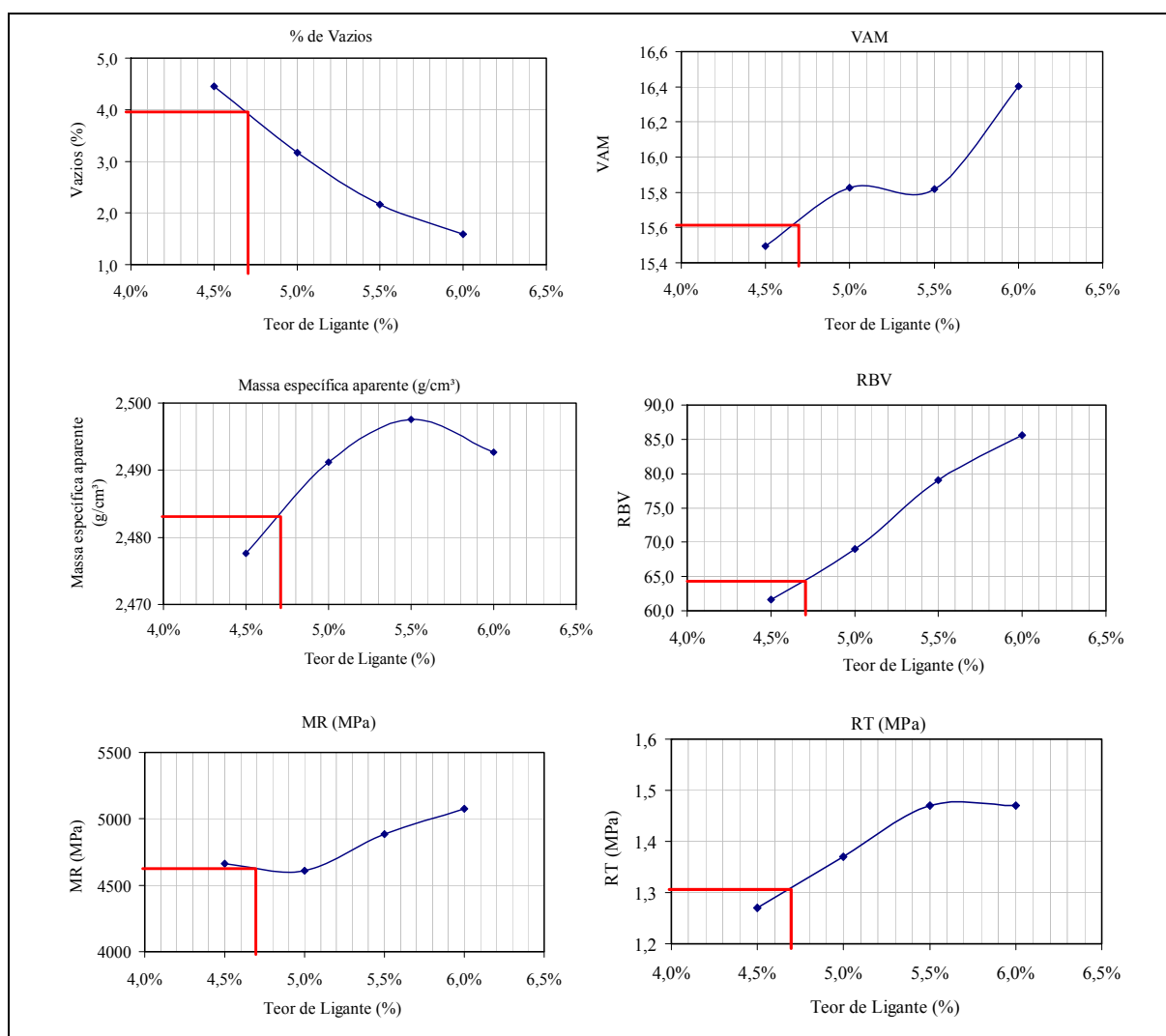


Figura A1.12: Variação dos parâmetros volumétricos da dosagem de misturas com ECOFLEX B, faixa 19,0 mm.

A1.2. Resultados dos Ensaio Volumétricos

A1.2.1. CA, CAP 30-45, Faixa 9,5 mm

O teor de projeto obtido a partir da moldagem de corpos de prova empregando compactador giratório na COPPE foi de 5,60%. E o teor de projeto de ligante para esta mistura apresentado pela Nova Dutra também foi de 5,60%. A partir desse teor, os demais teores utilizados para a moldagem dos corpos de prova no estudo são apresentados em seguida.

Teor de ligante - NOVA DUTRA					Teor de ligante - COPPE
-0,50%	-0,25%	Teor de projeto	+0,25%	+0,50%	Teor de projeto
5,10%	5,35%	5,60%	5,85%	6,10%	5,60%
Foram moldados 22 corpos de prova de cada teor com compactador MARSHALL - 90 golpes					Foram moldados 22 corpos de prova com compactador giratório - 125 giros

As **Tabelas A1.13 a A1.17** apresentam os resultados dos parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com CAP 30-45 moldadas com compactador Marshall e a **Tabela A1.18** apresenta os resultados das misturas moldadas com compactador giratório.

Tabela A1.13: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 5,10% de CAP 30-45 moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	5,10	2,486	2,569	3,2	12,3	15,5	79,2
2	5,10	2,466	2,569	4,0	12,2	16,2	75,2
3	5,10	2,461	2,569	4,2	12,2	16,4	74,3
4	5,10	2,480	2,569	3,4	12,3	15,7	78,1
5	5,10	2,478	2,569	3,5	12,3	15,8	77,6
6	5,10	2,455	2,569	4,4	12,2	16,6	73,3
7	5,10	2,465	2,569	4,1	12,2	16,3	75,1
8	5,10	2,467	2,569	4,0	12,2	16,2	75,4
9	5,10	2,481	2,569	3,4	12,3	15,7	78,1
10	5,10	2,454	2,569	4,5	12,1	16,6	73,0
11	5,10	2,471	2,569	3,8	12,2	16,1	76,2
12	5,10	2,431	2,569	5,4	12,0	17,4	69,2
13	5,10	2,455	2,569	4,4	12,2	16,6	73,3
14	5,10	2,468	2,569	3,9	12,2	16,2	75,6
15	5,10	2,450	2,569	4,6	12,1	16,7	72,5
16	5,10	2,442	2,569	4,9	12,1	17,0	71,0
17	5,10	2,478	2,569	3,6	12,3	15,8	77,5
18	5,10	2,460	2,569	4,3	12,2	16,4	74,1
19	5,10	2,474	2,569	3,7	12,2	16,0	76,8
20	5,10	2,459	2,569	4,3	12,2	16,5	74,0
21	5,10	2,471	2,569	3,8	12,2	16,0	76,2
22	5,10	2,477	2,569	3,6	12,3	15,8	77,4
MÉDIA	5,10	2,465	2,569	4,1	12,2	16,3	75,1

Tabela A1.14: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 5,35% de CAP 30-45 moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	5,35	2,448	2,560	4,4	12,7	17,1	74,4
2	5,35	2,455	2,560	4,1	12,7	16,9	75,6
3	5,35	2,481	2,560	3,1	12,9	16,0	80,7
4	5,35	2,452	2,560	4,2	12,7	17,0	75,1
5	5,35	2,471	2,560	3,5	12,8	16,3	78,6
6	5,35	2,466	2,560	3,7	12,8	16,5	77,8
7	5,35	2,451	2,560	4,3	12,7	17,0	74,9
8	5,35	2,475	2,560	3,3	12,9	16,2	79,4
9	5,35	2,476	2,560	3,3	12,9	16,2	79,6
10	5,35	2,460	2,560	3,9	12,8	16,7	76,7
11	5,35	2,441	2,560	4,6	12,7	17,3	73,2
12	5,35	2,456	2,560	4,1	12,8	16,8	75,8
13	5,35	2,455	2,560	4,1	12,8	16,8	75,7
14	5,35	2,462	2,560	3,8	12,8	16,6	76,9
15	5,35	2,449	2,560	4,4	12,7	17,1	74,5
16	5,35	2,450	2,560	4,3	12,7	17,0	74,8
17	5,35	2,438	2,560	4,8	12,7	17,4	72,7
18	5,35	2,447	2,560	4,4	12,7	17,1	74,2
19	5,35	2,434	2,560	4,9	12,6	17,6	72,0
20	5,35	2,430	2,560	5,1	12,6	17,7	71,4
21	5,35	2,462	2,560	3,8	12,8	16,6	76,9
22	5,35	2,470	2,560	3,5	12,8	16,4	78,4
MÉDIA	5,35	2,456	2,560	4,1	12,8	16,8	75,9

Tabela A1.15: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 5,60% de CAP 30-45 moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	5,60	2,495	2,550	2,2	13,6	15,7	86,2
2	5,60	2,500	2,550	2,0	13,6	15,6	87,4
3	5,60	2,487	2,550	2,5	13,5	16,0	84,5
4	5,60	2,495	2,550	2,2	13,6	15,7	86,2
5	5,60	2,510	2,550	1,6	13,6	15,2	89,7
6	5,60	2,494	2,550	2,2	13,6	15,8	86,0
7	5,60	2,492	2,550	2,3	13,5	15,8	85,6
8	5,60	2,492	2,550	2,3	13,5	15,8	85,7
9	5,60	2,489	2,550	2,4	13,5	15,9	84,9
10	5,60	2,493	2,550	2,2	13,6	15,8	85,9
11	5,60	2,491	2,550	2,3	13,5	15,8	85,5
12	5,60	2,480	2,550	2,7	13,5	16,2	83,2
13	5,60	2,490	2,550	2,4	13,5	15,9	85,2
14	5,60	2,491	2,550	2,3	13,5	15,9	85,4
15	5,60	2,485	2,550	2,6	13,5	16,1	84,0
16	5,60	2,489	2,550	2,4	13,5	15,9	85,0
17	5,60	2,489	2,550	2,4	13,5	15,9	85,0
18	5,60	2,478	2,550	2,8	13,5	16,3	82,7
19	5,60	2,494	2,550	2,2	13,6	15,7	86,1
20	5,60	2,492	2,550	2,3	13,5	15,8	85,7
21	5,60	2,491	2,550	2,3	13,5	15,8	85,5
22	5,60	2,487	2,550	2,5	13,5	16,0	84,5
MÉDIA	5,60	2,491	2,550	2,3	13,5	15,9	85,5

Tabela A1.16: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 5,85% de CAP 30-45 moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	5,85	2,493	2,540	1,8	14,2	16,0	88,5
2	5,85	2,485	2,540	2,2	14,1	16,3	86,7
3	5,85	2,488	2,540	2,1	14,1	16,2	87,3
4	5,85	2,480	2,540	2,4	14,1	16,4	85,7
5	5,85	2,494	2,540	1,8	14,2	16,0	88,7
6	5,85	2,478	2,540	2,5	14,1	16,5	85,1
7	5,85	2,487	2,540	2,1	14,1	16,2	87,2
8	5,85	2,482	2,540	2,3	14,1	16,4	86,1
9	5,85	2,492	2,540	1,9	14,2	16,1	88,2
10	5,85	2,493	2,540	1,8	14,2	16,0	88,5
11	5,85	2,500	2,540	1,6	14,2	15,8	90,1
12	5,85	2,477	2,540	2,5	14,1	16,5	85,1
13	5,85	2,491	2,540	1,9	14,1	16,1	88,1
14	5,85	2,500	2,540	1,6	14,2	15,8	90,0
15	5,85	2,480	2,540	2,4	14,1	16,4	85,6
16	5,85	2,496	2,540	1,7	14,2	15,9	89,1
17	5,85	2,490	2,540	2,0	14,1	16,1	87,9
18	5,85	2,490	2,540	2,0	14,1	16,1	87,9
19	5,85	2,484	2,540	2,2	14,1	16,3	86,5
20	5,85	2,483	2,540	2,2	14,1	16,3	86,4
21	5,85	2,475	2,540	2,6	14,1	16,6	84,6
22	5,85	2,487	2,540	2,1	14,1	16,2	87,1
MÉDIA	5,85	2,488	2,540	2,1	14,1	16,2	87,3

Tabela A1.17: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 6,10% de CAP 30-45 moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	6,10	2,494	2,531	1,4	14,8	16,2	91,1
2	6,10	2,482	2,531	1,9	14,7	16,6	88,3
3	6,10	2,500	2,531	1,2	14,8	16,0	92,4
4	6,10	2,483	2,531	1,9	14,7	16,6	88,6
5	6,10	2,481	2,531	2,0	14,7	16,7	88,1
6	6,10	2,486	2,531	1,8	14,7	16,5	89,2
7	6,10	2,484	2,531	1,8	14,7	16,6	88,8
8	6,10	2,492	2,531	1,6	14,8	16,3	90,5
9	6,10	2,484	2,531	1,8	14,7	16,6	88,8
10	6,10	2,499	2,531	1,3	14,8	16,1	92,2
11	6,10	2,488	2,531	1,7	14,7	16,4	89,7
12	6,10	2,499	2,531	1,3	14,8	16,1	92,2
13	6,10	2,490	2,531	1,6	14,7	16,4	90,2
14	6,10	2,482	2,531	1,9	14,7	16,6	88,3
15	6,10	2,476	2,531	2,2	14,7	16,8	87,2
16	6,10	2,488	2,531	1,7	14,7	16,4	89,7
17	6,10	2,477	2,531	2,1	14,7	16,8	87,4
18	6,10	2,482	2,531	1,9	14,7	16,6	88,3
19	6,10	2,467	2,531	2,5	14,6	17,1	85,3
20	6,10	2,482	2,531	1,9	14,7	16,6	88,4
21	6,10	2,480	2,531	2,0	14,7	16,7	88,0
22	6,10	2,485	2,531	1,8	14,7	16,5	89,0
MÉDIA	6,10	2,486	2,531	1,8	14,7	16,5	89,2

Tabela A1.18: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 5,60% de CAP 30-45 moldadas no compactador giratório.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	5,60	2,496	2,559	2,5	13,6	16,0	84,7
2	5,60	2,504	2,559	2,1	13,6	15,8	86,4
3	5,60	2,505	2,559	2,1	13,6	15,7	86,7
4	5,60	2,498	2,559	2,4	13,6	16,0	85,0
5	5,60	2,505	2,559	2,1	13,6	15,7	86,6
6	5,60	2,510	2,559	1,9	13,6	15,6	87,6
7	5,60	2,497	2,559	2,4	13,6	16,0	84,8
8	5,60	2,506	2,559	2,1	13,6	15,7	86,8
9	5,60	2,488	2,559	2,8	13,5	16,3	82,9
10	5,60	2,496	2,559	2,5	13,6	16,0	84,6
11	5,60	2,501	2,559	2,3	13,6	15,9	85,7
12	5,60	2,496	2,559	2,5	13,6	16,0	84,6
13	5,60	2,499	2,559	2,4	13,6	15,9	85,3
14	5,60	2,493	2,559	2,6	13,6	16,1	84,1
15	5,60	2,497	2,559	2,4	13,6	16,0	84,9
16	5,60	2,488	2,559	2,8	13,5	16,3	83,0
17	5,60	2,494	2,559	2,5	13,6	16,1	84,2
18	5,60	2,497	2,559	2,4	13,6	16,0	84,8
19	5,60	2,501	2,559	2,3	13,6	15,9	85,7
20	5,60	2,496	2,559	2,5	13,6	16,0	84,6
21	5,60	2,494	2,559	2,5	13,6	16,1	84,3
22	5,60	2,496	2,559	2,5	13,6	16,0	84,6
23	5,60	2,496	2,559	2,5	13,6	16,0	84,5
24	5,60	2,500	2,559	2,3	13,6	15,9	85,4
MÉDIA	5,60	2,498	2,559	2,4	13,6	16,0	85,1

A1.2.2. CA, CAP 30-45, Faixa 12,5 mm

O teor de projeto obtido a partir da moldagem de corpos de prova empregando compactador giratório na COPPE foi de 4,70%. Enquanto que o teor de projeto de ligante para esta mistura apresentado pela Nova Dutra foi de 4,90%. A partir desse teor, os demais teores utilizados para a moldagem dos corpos de prova são apresentados em seguida.

Teor de ligante - NOVA DUTRA					Teor de ligante - COPPE
-0,50%	-0,25%	Teor de projeto	+0,25%	+0,50%	Teor de projeto
4,40%	4,65%	4,90%	5,15%	5,40%	4,45%
Foram moldados 22 corpos de prova de cada teor com compactador MARSHALL - 90 golpes					Foram moldados 22 corpos de prova com compactador giratório - 125 giros

As **Tabelas A1.19 a A1.23** apresentam os resultados dos parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com CAP 30-45 moldadas com compactador Marshall e a **Tabela A1.24** apresenta os resultados das misturas moldadas com compactador giratório.

Tabela A1.23: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,40% de CAP 30-45 moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,40	2,430	2,606	6,7	10,4	17,1	60,7
2	4,40	2,458	2,606	5,7	10,5	16,2	65,0
3	4,40	2,449	2,606	6,0	10,5	16,5	63,4
4	4,40	2,457	2,606	5,7	10,5	16,2	64,7
5	4,40	2,426	2,606	6,9	10,4	17,3	60,0
6	4,40	2,448	2,606	6,0	10,5	16,5	63,4
7	4,40	2,419	2,606	7,2	10,3	17,5	59,0
8	4,40	2,421	2,606	7,1	10,3	17,4	59,3
9	4,40	2,445	2,606	6,2	10,4	16,6	62,8
10	4,40	2,439	2,606	6,4	10,4	16,8	61,9
11	4,40	2,442	2,606	6,3	10,4	16,7	62,4
12	4,40	2,450	2,606	6,0	10,5	16,5	63,6
13	4,40	2,449	2,606	6,0	10,5	16,5	63,5
14	4,40	2,466	2,606	5,4	10,5	15,9	66,3
15	4,40	2,462	2,606	5,5	10,5	16,0	65,6
16	4,40	2,467	2,606	5,3	10,5	15,9	66,4
17	4,40	2,457	2,606	5,7	10,5	16,2	64,7
18	4,40	2,459	2,606	5,6	10,5	16,2	65,0
19	4,40	2,459	2,606	5,6	10,5	16,2	65,0
20	4,40	2,415	2,606	7,3	10,3	17,6	58,5
21	4,40	2,459	2,606	5,7	10,5	16,2	65,0
22	4,40	2,473	2,606	5,1	10,6	15,7	67,5
MÉDIA	4,40	2,448	2,606	6,1	10,5	16,5	63,3

Tabela A1.24: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,65% de CAP 30-45 moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,65	2,450	2,596	5,6	11,1	16,7	66,3
2	4,65	2,399	2,596	7,6	10,8	18,4	58,8
3	4,65	2,472	2,596	4,8	11,2	15,9	70,0
4	4,65	2,431	2,596	6,4	11,0	17,3	63,3
5	4,65	2,443	2,596	5,9	11,0	16,9	65,2
6	4,65	2,427	2,596	6,5	11,0	17,5	62,8
7	4,65	2,455	2,596	5,4	11,1	16,5	67,0
8	4,65	2,442	2,596	5,9	11,0	16,9	65,1
9	4,65	2,429	2,596	6,4	11,0	17,4	63,1
10	4,65	2,454	2,596	5,5	11,1	16,6	66,9
11	4,65	2,450	2,596	5,6	11,1	16,7	66,3
12	4,65	2,429	2,596	6,4	11,0	17,4	63,1
13	4,65	2,431	2,596	6,4	11,0	17,3	63,3
14	4,65	2,453	2,596	5,5	11,1	16,6	66,8
15	4,65	2,426	2,596	6,5	11,0	17,5	62,6
16	4,65	2,450	2,596	5,6	11,1	16,7	66,2
17	4,65	2,438	2,596	6,1	11,0	17,1	64,4
18	4,65	2,432	2,596	6,3	11,0	17,3	63,5
19	4,65	2,441	2,596	6,0	11,0	17,0	64,9
20	4,65	2,407	2,596	7,3	10,9	18,2	59,8
21	4,65	2,464	2,596	5,1	11,1	16,2	68,7
22	4,65	2,397	2,596	7,7	10,8	18,5	58,6
MÉDIA	4,65	2,437	2,596	6,1	11,0	17,1	64,4

Tabela A1.25: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,90% de CAP 30-45 moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,90	2,450	2,586	5,3	11,7	16,9	68,9
2	4,90	2,480	2,586	4,1	11,8	15,9	74,3
3	4,90	2,491	2,586	3,7	11,9	15,5	76,4
4	4,90	2,489	2,586	3,8	11,8	15,6	75,9
5	4,90	2,484	2,586	4,0	11,8	15,8	74,9
6	4,90	2,444	2,586	5,5	11,6	17,1	68,0
7	4,90	2,449	2,586	5,3	11,6	17,0	68,7
8	4,90	2,464	2,586	4,7	11,7	16,4	71,3
9	4,90	2,487	2,586	3,8	11,8	15,6	75,6
10	4,90	2,497	2,586	3,5	11,9	15,3	77,5
11	4,90	2,496	2,586	3,5	11,9	15,4	77,3
12	4,90	2,496	2,586	3,5	11,9	15,4	77,3
13	4,90	2,508	2,586	3,0	11,9	15,0	79,7
14	4,90	2,464	2,586	4,7	11,7	16,4	71,4
15	4,90	2,499	2,586	3,4	11,9	15,3	77,8
16	4,90	2,478	2,586	4,2	11,8	16,0	73,8
17	4,90	2,483	2,586	4,0	11,8	15,8	74,8
18	4,90	2,490	2,586	3,7	11,8	15,5	76,2
19	4,90	2,490	2,586	3,7	11,8	15,5	76,2
20	4,90	2,476	2,586	4,2	11,8	16,0	73,5
21	4,90	2,498	2,586	3,4	11,9	15,3	77,6
22	4,90	2,502	2,586	3,2	11,9	15,2	78,6
MÉDIA	4,90	2,482	2,586	4,0	11,8	15,8	74,8

Tabela A1.26: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 5,15% de CAP 30-45 moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	5,15	2,502	2,576	2,9	12,5	15,4	81,3
2	5,15	2,517	2,576	2,3	12,6	14,9	84,5
3	5,15	2,503	2,576	2,8	12,5	15,3	81,6
4	5,15	2,508	2,576	2,6	12,5	15,2	82,6
5	5,15	2,493	2,576	3,2	12,5	15,7	79,4
6	5,15	2,493	2,576	3,2	12,5	15,7	79,5
7	5,15	2,512	2,576	2,5	12,6	15,1	83,4
8	5,15	2,499	2,576	3,0	12,5	15,5	80,7
9	5,15	2,513	2,576	2,5	12,6	15,0	83,6
10	5,15	2,481	2,576	3,7	12,4	16,1	77,0
11	5,15	2,487	2,576	3,5	12,4	15,9	78,2
12	5,15	2,476	2,576	3,9	12,4	16,3	76,2
13	5,15	2,496	2,576	3,1	12,5	15,6	80,1
14	5,15	2,503	2,576	2,8	12,5	15,4	81,5
15	5,15	2,508	2,576	2,6	12,5	15,2	82,6
16	5,15	2,516	2,576	2,3	12,6	14,9	84,5
17	5,15	2,506	2,576	2,7	12,5	15,2	82,2
18	5,15	2,514	2,576	2,4	12,6	15,0	83,9
19	5,15	2,518	2,576	2,3	12,6	14,8	84,8
20	5,15	2,498	2,576	3,0	12,5	15,5	80,5
21	5,15	2,495	2,576	3,2	12,5	15,6	79,8
22	5,15	2,500	2,576	2,9	12,5	15,4	80,9
MÉDIA	5,15	2,502	2,576	2,9	12,5	15,4	81,3

Tabela A1.27: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 5,40% de CAP 30-45 moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	5,40	2,495	2,566	2,8	13,1	15,8	82,6
2	5,40	2,511	2,566	2,1	13,2	15,3	86,1
3	5,40	2,509	2,566	2,2	13,2	15,4	85,6
4	5,40	2,513	2,566	2,0	13,2	15,2	86,6
5	5,40	2,528	2,566	1,5	13,3	14,7	90,0
6	5,40	2,501	2,566	2,5	13,1	15,7	83,7
7	5,40	2,505	2,566	2,4	13,1	15,5	84,6
8	5,40	2,517	2,566	1,9	13,2	15,1	87,2
9	5,40	2,508	2,566	2,3	13,1	15,4	85,3
10	5,40	2,512	2,566	2,1	13,2	15,3	86,2
11	5,40	2,510	2,566	2,2	13,2	15,3	85,7
12	5,40	2,514	2,566	2,0	13,2	15,2	86,6
13	5,40	2,521	2,566	1,7	13,2	15,0	88,3
14	5,40	2,509	2,566	2,2	13,2	15,4	85,7
15	5,40	2,519	2,566	1,8	13,2	15,0	87,7
16	5,40	2,509	2,566	2,2	13,2	15,4	85,6
17	5,40	2,498	2,566	2,7	13,1	15,8	83,1
18	5,40	2,498	2,566	2,6	13,1	15,7	83,2
19	5,40	2,497	2,566	2,7	13,1	15,8	82,9
20	5,40	2,509	2,566	2,2	13,2	15,4	85,6
21	5,40	2,522	2,566	1,7	13,2	14,9	88,5
22	5,40	2,509	2,566	2,2	13,2	15,4	85,6
MÉDIA		2,510	2,566	2,2	13,2	15,4	85,7

Tabela A1.28: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,45% de CAP 30-45 moldadas no compactador giratório.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,45	2,484	2,606	4,7	10,7	15,4	69,5
2	4,45	2,487	2,606	4,6	10,7	15,3	70,2
3	4,45	2,475	2,606	5,0	10,7	15,7	68,0
4	4,45	2,499	2,606	4,1	10,8	14,9	72,4
5	4,45	2,477	2,606	5,0	10,7	15,7	68,3
6	4,45	2,478	2,606	4,9	10,7	15,6	68,6
7	4,45	2,477	2,606	4,9	10,7	15,6	68,4
8	4,45	2,474	2,606	5,1	10,7	15,8	67,8
9	4,45	2,486	2,606	4,6	10,7	15,3	70,0
10	4,45	2,481	2,606	4,8	10,7	15,5	69,1
11	4,45	2,477	2,606	4,9	10,7	15,6	68,4
12	4,45	2,478	2,606	4,9	10,7	15,6	68,5
13	4,45	2,461	2,606	5,6	10,6	16,2	65,7
14	4,45	2,490	2,606	4,5	10,8	15,2	70,7
15	4,45	2,476	2,606	5,0	10,7	15,7	68,3
16	4,45	2,479	2,606	4,9	10,7	15,6	68,7
17	4,45	2,466	2,606	5,4	10,7	16,0	66,4
18	4,45	2,464	2,606	5,5	10,6	16,1	66,1
19	4,45	2,470	2,606	5,2	10,7	15,9	67,1
20	4,45	2,499	2,606	4,1	10,8	14,9	72,5
21	4,45	2,467	2,606	5,3	10,7	16,0	66,7
22	4,45	2,472	2,606	5,1	10,7	15,8	67,6
23	4,45	2,460	2,606	5,6	10,6	16,2	65,5
24	4,45	2,458	2,606	5,7	10,6	16,3	65,1
25	4,45	2,448	2,606	6,1	10,6	16,6	63,6
MÉDIA	4,45	2,475	2,606	5,0	10,7	15,7	68,1

A1.2.3. CA, CAP 30-45, Faixa 19,0 mm

O teor de projeto obtido a partir da moldagem de corpos de prova empregando compactador giratório na COPPE foi de 4,60%. Enquanto que o teor de projeto de ligante para esta mistura apresentado pela Nova Dutra foi de 4,65%. A partir desse teor, os demais teores utilizados para a moldagem dos corpos de prova no estudo são apresentados em seguida.

Teor de ligante - NOVA DUTRA					Teor de ligante - COPPE
-0,50%	-0,25%	Teor de projeto	+0,25%	+0,50%	Teor de projeto
4,10%	4,35%	4,60%	4,85%	5,10%	4,60%
Foram moldados 22 corpos de prova de cada teor com compactador MARSHALL - 90 golpes					Foram moldados 22 corpos de prova com compactador giratório - 125 giros

As **Tabelas A1.29 a A1.33** apresentam os resultados dos parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com CAP 30-45 moldadas com compactador Marshall e a **Tabela A1.34** apresenta os resultados das misturas moldadas com compactador giratório.

Tabela A1.29: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,10% de CAP 30-45 moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,10	2,500	2,617	4,5	10,0	14,4	69,0
2	4,10	2,482	2,617	5,2	9,9	15,0	65,7
3	4,10	2,476	2,617	5,4	9,9	15,3	64,6
4	4,10	2,487	2,617	5,0	9,9	14,9	66,7
5	4,10	2,486	2,617	5,0	9,9	14,9	66,3
6	4,10	2,482	2,617	5,2	9,9	15,0	65,7
7	4,10	2,472	2,617	5,6	9,8	15,4	63,9
8	4,10	2,446	2,617	6,5	9,7	16,3	59,8
9	4,10	2,492	2,617	4,8	9,9	14,7	67,4
10	4,10	2,485	2,617	5,1	9,9	15,0	66,1
11	4,10	2,486	2,617	5,0	9,9	14,9	66,4
12	4,10	2,491	2,617	4,8	9,9	14,7	67,3
13	4,10	2,469	2,617	5,6	9,8	15,5	63,5
14	4,10	2,483	2,617	5,1	9,9	15,0	65,8
15	4,10	2,489	2,617	4,9	9,9	14,8	66,9
16	4,10	2,438	2,617	6,8	9,7	16,5	58,7
17	4,10	2,505	2,617	4,3	10,0	14,2	70,0
18	4,10	2,506	2,617	4,3	10,0	14,2	70,1
19	4,10	2,472	2,617	5,5	9,8	15,4	64,0
20	4,10	2,488	2,617	4,9	9,9	14,8	66,8
21	4,10	2,458	2,617	6,1	9,8	15,9	61,7
22	4,10	2,465	2,617	5,8	9,8	15,6	62,8
MEDIA	4,10	2,480	2,617	5,2	9,9	15,1	65,4

Tabela A1.30: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,35% de CAP 30-45 moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,35	2,472	2,607	5,2	10,4	15,6	66,9
2	4,35	2,492	2,607	4,4	10,5	14,9	70,5
3	4,35	2,481	2,607	4,8	10,5	15,3	68,5
4	4,35	2,491	2,607	4,4	10,5	15,0	70,3
5	4,35	2,478	2,607	4,9	10,5	15,4	67,9
6	4,35	2,490	2,607	4,5	10,5	15,0	70,1
7	4,35	2,488	2,607	4,6	10,5	15,1	69,7
8	4,35	2,469	2,607	5,3	10,4	15,7	66,3
9	4,35	2,511	2,607	3,7	10,6	14,3	74,2
10	4,35	2,487	2,607	4,6	10,5	15,1	69,5
11	4,35	2,470	2,607	5,2	10,4	15,7	66,6
12	4,35	2,501	2,607	4,1	10,6	14,6	72,1
13	4,35	2,478	2,607	5,0	10,5	15,4	67,8
14	4,35	2,499	2,607	4,1	10,6	14,7	71,8
15	4,35	2,474	2,607	5,1	10,4	15,6	67,2
16	4,35	2,491	2,607	4,4	10,5	15,0	70,4
17	4,35	2,484	2,607	4,7	10,5	15,2	69,0
18	4,35	2,485	2,607	4,7	10,5	15,2	69,2
19	4,35	2,480	2,607	4,9	10,5	15,4	68,2
20	4,35	2,492	2,607	4,4	10,5	14,9	70,5
21	4,35	2,505	2,607	3,9	10,6	14,5	73,0
22	4,35	2,448	2,607	6,1	10,3	16,4	62,8
MÉDIA	4,35	2,485	2,607	4,7	10,5	15,2	69,2

Tabela A1.31: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,60% de CAP 30-45 moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,60	2,500	2,597	3,7	11,2	14,9	75,0
2	4,60	2,514	2,597	3,2	11,2	14,4	77,9
3	4,60	2,493	2,597	4,0	11,1	15,1	73,5
4	4,60	2,484	2,597	4,3	11,1	15,4	71,9
5	4,60	2,483	2,597	4,4	11,1	15,5	71,6
6	4,60	2,498	2,597	3,8	11,2	15,0	74,5
7	4,60	2,505	2,597	3,6	11,2	14,7	75,9
8	4,60	2,502	2,597	3,6	11,2	14,8	75,4
9	4,60	2,446	2,597	5,8	10,9	16,7	65,2
10	4,60	2,532	2,597	2,5	11,3	13,8	81,8
11	4,60	2,525	2,597	2,8	11,3	14,0	80,4
12	4,60	2,513	2,597	3,2	11,2	14,4	77,7
13	4,60	2,515	2,597	3,1	11,2	14,4	78,1
14	4,60	2,510	2,597	3,4	11,2	14,6	76,9
15	4,60	2,494	2,597	4,0	11,1	15,1	73,7
16	4,60	2,494	2,597	4,0	11,1	15,1	73,6
17	4,60	2,492	2,597	4,0	11,1	15,2	73,3
18	4,60	2,491	2,597	4,1	11,1	15,2	73,1
19	4,60	2,495	2,597	3,9	11,1	15,1	73,9
20	4,60	2,499	2,597	3,8	11,2	14,9	74,8
21	4,60	2,484	2,597	4,3	11,1	15,4	71,8
22	4,60	2,503	2,597	3,6	11,2	14,8	75,6
MÉDIA	4,60	2,499	2,597	3,8	11,2	14,9	74,8

Tabela A1.32: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,85% de CAP 30-45 moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,85	2,520	2,587	2,6	11,9	14,5	82,0
2	4,85	2,518	2,587	2,7	11,9	14,5	81,5
3	4,85	2,494	2,587	3,6	11,7	15,3	76,7
4	4,85	2,508	2,587	3,0	11,8	14,8	79,5
5	4,85	2,524	2,587	2,4	11,9	14,3	83,1
6	4,85	2,503	2,587	3,2	11,8	15,0	78,4
7	4,85	2,507	2,587	3,1	11,8	14,9	79,3
8	4,85	2,531	2,587	2,2	11,9	14,1	84,6
9	4,85	2,526	2,587	2,3	11,9	14,2	83,5
10	4,85	2,512	2,587	2,9	11,8	14,7	80,4
11	4,85	2,509	2,587	3,0	11,8	14,8	79,8
12	4,85	2,514	2,587	2,8	11,8	14,7	80,8
13	4,85	2,520	2,587	2,6	11,9	14,5	82,1
14	4,85	2,517	2,587	2,7	11,9	14,6	81,3
15	4,85	2,511	2,587	2,9	11,8	14,7	80,2
16	4,85	2,513	2,587	2,9	11,8	14,7	80,6
17	4,85	2,513	2,587	2,9	11,8	14,7	80,5
18	4,85	2,511	2,587	2,9	11,8	14,8	80,0
19	4,85	2,517	2,587	2,7	11,9	14,5	81,5
20	4,85	2,489	2,587	3,8	11,7	15,5	75,6
21	4,85	2,524	2,587	2,4	11,9	14,3	82,9
22	4,85	2,525	2,587	2,4	11,9	14,3	83,3
MÉDIA	4,85	2,514	2,587	2,8	11,8	14,7	80,8

Tabela A1.33: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 5,10% de CAP 30-45 moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	5,10	2,528	2,577	1,9	12,5	14,4	86,9
2	5,10	2,510	2,577	2,6	12,4	15,0	82,7
3	5,10	2,517	2,577	2,3	12,5	14,8	84,2
4	5,10	2,526	2,577	2,0	12,5	14,5	86,4
5	5,10	2,508	2,577	2,7	12,4	15,1	82,2
6	5,10	2,494	2,577	3,2	12,3	15,6	79,4
7	5,10	2,512	2,577	2,5	12,4	15,0	83,1
8	5,10	2,531	2,577	1,8	12,5	14,3	87,6
9	5,10	2,521	2,577	2,2	12,5	14,6	85,3
10	5,10	2,510	2,577	2,6	12,4	15,0	82,8
11	5,10	2,518	2,577	2,3	12,5	14,8	84,4
12	5,10	2,520	2,577	2,2	12,5	14,7	84,9
13	5,10	2,509	2,577	2,6	12,4	15,1	82,5
14	5,10	2,494	2,577	3,2	12,3	15,6	79,3
15	5,10	2,517	2,577	2,3	12,5	14,8	84,2
16	5,10	2,522	2,577	2,1	12,5	14,6	85,4
17	5,10	2,500	2,577	3,0	12,4	15,4	80,5
18	5,10	2,505	2,577	2,8	12,4	15,2	81,5
19	5,10	2,516	2,577	2,4	12,5	14,8	84,0
20	5,10	2,512	2,577	2,5	12,4	15,0	83,1
21	5,10	2,521	2,577	2,2	12,5	14,7	85,1
22	5,10	2,515	2,577	2,4	12,5	14,9	83,8
MÉDIA	5,10	2,514	2,577	2,5	12,4	14,9	83,6

Tabela A1.34: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,60% de CAP 30-45 moldadas no compactador giratório.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,60	2,493	2,606	4,3	11,1	15,5	72,1
2	4,60	2,484	2,606	4,7	11,1	15,8	70,4
3	4,60	2,488	2,606	4,5	11,1	15,6	71,1
4	4,60	2,492	2,606	4,4	11,1	15,5	71,7
5	4,60	2,485	2,606	4,6	11,1	15,7	70,5
6	4,60	2,490	2,606	4,4	11,1	15,6	71,5
7	4,60	2,492	2,606	4,4	11,1	15,5	71,9
8	4,60	2,482	2,606	4,8	11,1	15,8	70,0
9	4,60	2,500	2,606	4,1	11,2	15,2	73,3
10	4,60	2,479	2,606	4,9	11,1	16,0	69,4
11	4,60	2,499	2,606	4,1	11,2	15,3	73,1
12	4,60	2,489	2,606	4,5	11,1	15,6	71,2
13	4,60	2,476	2,606	5,0	11,1	16,0	68,9
14	4,60	2,472	2,606	5,1	11,0	16,2	68,3
15	4,60	2,501	2,606	4,0	11,2	15,2	73,4
16	4,60	2,489	2,606	4,5	11,1	15,6	71,2
17	4,60	2,483	2,606	4,7	11,1	15,8	70,1
18	4,60	2,478	2,606	4,9	11,1	16,0	69,3
19	4,60	2,498	2,606	4,1	11,2	15,3	73,0
20	4,60	2,511	2,606	3,7	11,2	14,9	75,4
21	4,60	2,504	2,606	3,9	11,2	15,1	74,1
MÉDIA	4,60	2,514	2,587	2,8	11,8	14,7	80,8

A1.2.4. CA, CAP 50-70, Faixa 9,5 mm

O teor de projeto obtido a partir da moldagem de corpos de prova empregando compactador giratório na COPPE foi de 5,10%. Enquanto que o teor de projeto de ligante para esta mistura apresentado pela Nova Dutra foi de 4,80%. A partir desse teor, os demais teores utilizados para a moldagem dos corpos de prova no estudo são apresentados em seguida.

Teor de ligante - NOVA DUTRA					Teor de ligante - COPPE	
-0,50%	-0,25%	Teor de projeto	+0,25%	+0,50%	Teor de projeto	
4,30%	4,55%	4,80%	5,05%	5,30%	5,10%	
Foram moldados 22 corpos de prova de cada teor com compactador MARSHALL - 90 golpes					Foram moldados 22 corpos de prova com compactador giratório - 125 giros	

As **Tabelas A1.35 a A1.39** apresentam os resultados dos parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com CAP 30-45 moldadas com compactador Marshall e a **Tabela A1.40** apresenta os resultados das misturas moldadas com compactador giratório.

Tabela A1.35: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,30% de CAP 50-70 moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,30	2,402	2,591	7,3	10,0	17,3	57,9
2	4,30	2,436	2,591	6,0	10,2	16,1	63,0
3	4,30	2,427	2,591	6,3	10,1	16,5	61,6
4	4,30	2,417	2,591	6,7	10,1	16,8	60,0
5	4,30	2,430	2,591	6,2	10,1	16,3	62,1
6	4,30	2,432	2,591	6,1	10,2	16,3	62,3
7	4,30	2,403	2,591	7,2	10,0	17,3	58,1
8	4,30	2,433	2,591	6,1	10,2	16,3	62,5
9	4,30	2,438	2,591	5,9	10,2	16,1	63,3
10	4,30	2,426	2,591	6,4	10,1	16,5	61,3
11	4,30	2,419	2,591	6,7	10,1	16,8	60,3
12	4,30	2,434	2,591	6,1	10,2	16,2	62,6
13	4,30	2,438	2,591	5,9	10,2	16,1	63,3
14	4,30	2,426	2,591	6,4	10,1	16,5	61,4
15	4,30	2,411	2,591	6,9	10,1	17,0	59,2
16	4,30	2,432	2,591	6,1	10,2	16,3	62,4
17	4,30	2,417	2,591	6,7	10,1	16,8	60,1
18	4,30	2,415	2,591	6,8	10,1	16,9	59,8
19	4,30	2,413	2,591	6,9	10,1	16,9	59,4
20	4,30	2,427	2,591	6,3	10,1	16,5	61,6
21	4,30	2,436	2,591	6,0	10,2	16,2	62,9
22	4,30	2,413	2,591	6,9	10,1	16,9	59,5
MÉDIA	4,30	2,424	2,591	6,4	10,1	16,6	61,1

Tabela A1.36: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,55% de CAP 50-70 moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,55	2,441	2,580	5,4	10,8	16,2	66,7
2	4,55	2,448	2,580	5,1	10,8	15,9	67,9
3	4,55	2,468	2,580	4,3	10,9	15,2	71,5
4	4,55	2,453	2,580	4,9	10,8	15,8	68,8
5	4,55	2,460	2,580	4,6	10,9	15,5	70,1
6	4,55	2,393	2,580	7,2	10,6	17,8	59,4
7	4,55	2,450	2,580	5,0	10,8	15,9	68,3
8	4,55	2,444	2,580	5,3	10,8	16,1	67,2
9	4,55	2,447	2,580	5,1	10,8	16,0	67,7
10	4,55	2,454	2,580	4,9	10,8	15,7	69,0
11	4,55	2,437	2,580	5,6	10,8	16,3	65,9
12	4,55	2,458	2,580	4,7	10,9	15,6	69,6
13	4,55	2,463	2,580	4,5	10,9	15,4	70,6
14	4,55	2,448	2,580	5,1	10,8	15,9	67,9
15	4,55	2,459	2,580	4,7	10,9	15,5	69,9
16	4,55	2,456	2,580	4,8	10,9	15,6	69,3
17	4,55	2,443	2,580	5,3	10,8	16,1	67,0
18	4,55	2,422	2,580	6,1	10,7	16,8	63,7
19	4,55	2,442	2,580	5,4	10,8	16,2	66,8
20	4,55	2,435	2,580	5,6	10,8	16,4	65,8
21	4,55	2,441	2,580	5,4	10,8	16,2	66,6
22	4,55	2,462	2,580	4,6	10,9	15,4	70,4
MÉDIA	4,55	2,447	2,580	5,2	10,8	16,0	67,7

Tabela A1.37: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,80% de CAP 50-70 moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,80	2,475	2,570	3,7	11,5	15,2	75,7
2	4,80	2,483	2,570	3,4	11,6	15,0	77,4
3	4,80	2,471	2,570	3,8	11,5	15,4	75,0
4	4,80	2,465	2,570	4,1	11,5	15,6	73,8
5	4,80	2,478	2,570	3,6	11,5	15,1	76,2
6	4,80	2,488	2,570	3,2	11,6	14,8	78,3
7	4,80	2,477	2,570	3,6	11,5	15,2	76,1
8	4,80	2,469	2,570	3,9	11,5	15,4	74,5
9	4,80	2,471	2,570	3,9	11,5	15,4	74,9
10	4,80	2,474	2,570	3,7	11,5	15,3	75,5
11	4,80	2,476	2,570	3,6	11,5	15,2	76,0
12	4,80	2,472	2,570	3,8	11,5	15,3	75,1
13	4,80	2,476	2,570	3,7	11,5	15,2	75,9
14	4,80	2,479	2,570	3,5	11,6	15,1	76,6
15	4,80	2,468	2,570	4,0	11,5	15,5	74,3
16	4,80	2,466	2,570	4,0	11,5	15,5	74,0
17	4,80	2,480	2,570	3,5	11,6	15,1	76,7
18	4,80	2,464	2,570	4,1	11,5	15,6	73,5
19	4,80	2,490	2,570	3,1	11,6	14,7	78,9
20	4,80	2,478	2,570	3,6	11,5	15,1	76,2
21	4,80	2,476	2,570	3,6	11,5	15,2	76,0
22	4,80	2,466	2,570	4,0	11,5	15,5	74,0
MÉDIA	4,80	2,475	2,570	3,7	11,5	15,2	75,7

Tabela A1.38: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 5,05% de CAP 50-70 moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	5,05	2,467	2,560	3,6	12,1	15,7	76,8
2	5,05	2,464	2,560	3,8	12,1	15,8	76,3
3	5,05	2,467	2,560	3,6	12,1	15,7	76,9
4	5,05	2,469	2,560	3,6	12,1	15,7	77,2
5	5,05	2,469	2,560	3,6	12,1	15,7	77,3
6	5,05	2,467	2,560	3,6	12,1	15,7	76,8
7	5,05	2,475	2,560	3,3	12,1	15,4	78,6
8	5,05	2,467	2,560	3,6	12,1	15,7	77,0
9	5,05	2,474	2,560	3,4	12,1	15,5	78,3
10	5,05	2,476	2,560	3,3	12,1	15,4	78,8
11	5,05	2,481	2,560	3,1	12,2	15,3	79,7
12	5,05	2,478	2,560	3,2	12,1	15,4	79,1
13	5,05	2,477	2,560	3,2	12,1	15,4	79,0
14	5,05	2,472	2,560	3,4	12,1	15,6	77,9
15	5,05	2,470	2,560	3,5	12,1	15,6	77,5
16	5,05	2,471	2,560	3,5	12,1	15,6	77,7
17	5,05	2,474	2,560	3,4	12,1	15,5	78,3
18	5,05	2,457	2,560	4,0	12,0	16,1	74,9
19	5,05	2,480	2,560	3,1	12,2	15,3	79,6
20	5,05	2,478	2,560	3,2	12,1	15,4	79,0
21	5,05	2,455	2,560	4,1	12,0	16,2	74,5
22	5,05	2,481	2,560	3,1	12,2	15,2	79,9
MÉDIA	5,05	2,471	2,560	3,5	12,1	15,6	77,8

Tabela A1.39: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 5,30% de CAP 50-70 moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	5,30	2,473	2,549	3,0	12,7	15,7	81,1
2	5,30	2,472	2,549	3,0	12,7	15,7	80,8
3	5,30	2,442	2,549	4,2	12,6	16,7	75,0
4	5,30	2,465	2,549	3,3	12,7	16,0	79,3
5	5,30	2,466	2,549	3,2	12,7	15,9	79,7
6	5,30	2,467	2,549	3,2	12,7	15,9	79,7
7	5,30	2,469	2,549	3,1	12,7	15,8	80,3
8	5,30	2,471	2,549	3,1	12,7	15,8	80,6
9	5,30	2,470	2,549	3,1	12,7	15,8	80,3
10	5,30	2,462	2,549	3,4	12,7	16,1	78,8
11	5,30	2,453	2,549	3,8	12,6	16,4	77,0
12	5,30	2,465	2,549	3,3	12,7	16,0	79,3
13	5,30	2,468	2,549	3,2	12,7	15,9	80,1
14	5,30	2,461	2,549	3,4	12,7	16,1	78,7
15	5,30	2,462	2,549	3,4	12,7	16,1	78,8
16	5,30	2,463	2,549	3,4	12,7	16,1	79,0
17	5,30	2,473	2,549	3,0	12,7	15,7	81,0
18	5,30	2,467	2,549	3,2	12,7	15,9	79,8
19	5,30	2,462	2,549	3,4	12,7	16,1	78,7
20	5,30	2,471	2,549	3,1	12,7	15,8	80,6
21	5,30	2,463	2,549	3,4	12,7	16,0	79,0
22	5,30	2,461	2,549	3,5	12,7	16,1	78,6
MÉDIA		2,465	2,549	3,3	12,7	16,0	79,4

Tabela A1.40: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 5,10% de CAP 50-70 moldadas no compactador giratório.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	5,10	2,489	2,566	3,0	12,3	15,3	80,5
2	5,10	2,503	2,566	2,5	12,4	14,9	83,4
3	5,10	2,500	2,566	2,6	12,4	14,9	82,8
4	5,10	2,491	2,566	2,9	12,3	15,3	80,9
5	5,10	2,501	2,566	2,5	12,4	14,9	83,1
6	5,10	2,499	2,566	2,6	12,4	15,0	82,6
7	5,10	2,492	2,566	2,9	12,3	15,2	81,1
8	5,10	2,498	2,566	2,7	12,4	15,0	82,3
9	5,10	2,493	2,566	2,8	12,3	15,2	81,4
10	5,10	2,487	2,566	3,1	12,3	15,4	80,1
11	5,10	2,480	2,566	3,4	12,3	15,6	78,5
12	5,10	2,488	2,566	3,0	12,3	15,4	80,2
13	5,10	2,487	2,566	3,1	12,3	15,4	80,1
14	5,10	2,501	2,566	2,5	12,4	14,9	83,0
15	5,10	2,485	2,566	3,2	12,3	15,5	79,5
16	5,10	2,494	2,566	2,8	12,3	15,2	81,5
17	5,10	2,486	2,566	3,1	12,3	15,4	79,8
18	5,10	2,489	2,566	3,0	12,3	15,3	80,3
19	5,10	2,481	2,566	3,3	12,3	15,6	78,8
20	5,10	2,484	2,566	3,2	12,3	15,5	79,3
21	5,10	2,493	2,566	2,8	12,3	15,2	81,4
22	5,10	2,483	2,566	3,2	12,3	15,5	79,1
23	5,10	2,487	2,566	3,1	12,3	15,4	80,1
MÉDIA	5,10	2,491	2,566	2,9	12,3	15,3	80,9

A1.2.5. CA, CAP 50-70, Faixa 12,5 mm

O teor de projeto obtido a partir da moldagem de corpos de prova empregando compactador giratório na COPPE foi de 4,60%. Enquanto que o teor de projeto de ligante para esta mistura apresentado pela Nova Dutra foi de 4,20%. A partir desse teor, os demais teores utilizados para a moldagem dos corpos de prova no estudo são apresentados em seguida.

Teor de ligante - NOVA DUTRA					Teor de ligante - COPPE
-0,50%	-0,25%	Teor de projeto	+0,25%	+0,50%	Teor de projeto
3,70%	3,95%	4,20%	4,45%	4,70%	4,20%
Foram moldados 22 corpos de prova de cada teor com compactador MARSHALL - 90 golpes					Foram moldados 22 corpos de prova com compactador giratório - 125 giros

As **Tabelas A1.41 a A1.45** apresentam os resultados dos parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com CAP 30-45 moldadas com compactador Marshall e a **Tabela A1.46** apresenta os resultados das misturas moldadas com compactador giratório.

Tabela A1.41: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 3,70% de CAP 50-70 moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	3,70	2,458	2,611	5,9	8,8	14,7	60,1
2	3,70	2,444	2,611	6,4	8,8	15,2	57,8
3	3,70	2,436	2,611	6,7	8,8	15,4	56,7
4	3,70	2,446	2,611	6,3	8,8	15,1	58,1
5	3,70	2,445	2,611	6,4	8,8	15,1	58,0
6	3,70	2,438	2,611	6,6	8,8	15,4	56,9
7	3,70	2,427	2,611	7,0	8,7	15,7	55,4
8	3,70	2,452	2,611	6,1	8,8	14,9	59,1
9	3,70	2,460	2,611	5,8	8,8	14,6	60,5
10	3,70	2,452	2,611	6,1	8,8	14,9	59,0
11	3,70	2,428	2,611	7,0	8,7	15,7	55,5
12	3,70	2,441	2,611	6,5	8,8	15,3	57,3
13	3,70	2,431	2,611	6,9	8,7	15,6	55,9
14	3,70	2,456	2,611	5,9	8,8	14,8	59,8
15	3,70	2,459	2,611	5,8	8,8	14,7	60,3
16	3,70	2,441	2,611	6,5	8,8	15,3	57,4
17	3,70	2,431	2,611	6,9	8,7	15,6	55,8
18	3,70	2,428	2,611	7,0	8,7	15,7	55,4
19	3,70	2,442	2,611	6,5	8,8	15,3	57,5
20	3,70	2,443	2,611	6,4	8,8	15,2	57,7
21	3,70	2,445	2,611	6,3	8,8	15,1	58,1
22	3,70	2,454	2,611	6,0	8,8	14,8	59,5
MEDIA	3,70	2,443	2,611	6,4	8,8	15,2	57,8

Tabela A1.42: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 3,95% de CAP 50-70 moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	3,95	2,468	2,601	5,1	9,5	14,6	64,9
2	3,95	2,471	2,601	5,0	9,5	14,5	65,4
3	3,95	2,443	2,601	6,1	9,4	15,4	60,7
4	3,95	2,459	2,601	5,5	9,4	14,9	63,3
5	3,95	2,477	2,601	4,8	9,5	14,3	66,5
6	3,95	2,482	2,601	4,6	9,5	14,1	67,5
7	3,95	2,469	2,601	5,1	9,5	14,5	65,1
8	3,95	2,486	2,601	4,4	9,5	14,0	68,3
9	3,95	2,476	2,601	4,8	9,5	14,3	66,4
10	3,95	2,473	2,601	4,9	9,5	14,4	65,9
11	3,95	2,463	2,601	5,3	9,4	14,8	64,0
12	3,95	2,475	2,601	4,8	9,5	14,3	66,2
13	3,95	2,451	2,601	5,8	9,4	15,2	62,0
14	3,95	2,458	2,601	5,5	9,4	14,9	63,1
15	3,95	2,472	2,601	4,9	9,5	14,4	65,7
16	3,95	2,469	2,601	5,1	9,5	14,5	65,2
17	3,95	2,453	2,601	5,7	9,4	15,1	62,3
18	3,95	2,476	2,601	4,8	9,5	14,3	66,4
19	3,95	2,459	2,601	5,5	9,4	14,9	63,3
20	3,95	2,453	2,601	5,7	9,4	15,1	62,4
21	3,95	2,503	2,601	3,8	9,6	13,4	71,7
22	3,95	2,460	2,601	5,4	9,4	14,9	63,5
MÉDIA	3,95	2,468	2,601	5,1	9,5	14,6	65,0

Tabela A1.43: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,20% de CAP 50-70 moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,20	2,487	2,591	4,0	10,1	14,2	71,7
2	4,20	2,475	2,591	4,5	10,1	14,6	69,2
3	4,20	2,463	2,591	4,9	10,0	15,0	67,1
4	4,20	2,478	2,591	4,4	10,1	14,5	69,9
5	4,20	2,475	2,591	4,5	10,1	14,6	69,3
6	4,20	2,456	2,591	5,2	10,0	15,2	65,8
7	4,20	2,470	2,591	4,7	10,1	14,7	68,4
8	4,20	2,481	2,591	4,2	10,1	14,4	70,5
9	4,20	2,466	2,591	4,8	10,1	14,9	67,6
10	4,20	2,464	2,591	4,9	10,0	15,0	67,2
11	4,20	2,477	2,591	4,4	10,1	14,5	69,6
12	4,20	2,453	2,591	5,3	10,0	15,3	65,3
13	4,20	2,483	2,591	4,2	10,1	14,3	70,8
14	4,20	2,458	2,591	5,1	10,0	15,2	66,1
15	4,20	2,461	2,591	5,0	10,0	15,0	66,7
16	4,20	2,463	2,591	5,0	10,0	15,0	67,0
17	4,20	2,456	2,591	5,2	10,0	15,2	65,7
18	4,20	2,477	2,591	4,4	10,1	14,5	69,6
19	4,20	2,457	2,591	5,2	10,0	15,2	65,9
20	4,20	2,460	2,591	5,1	10,0	15,1	66,5
21	4,20	2,458	2,591	5,1	10,0	15,2	66,1
22	4,20	2,458	2,591	5,1	10,0	15,2	66,1
MÉDIA	4,20	2,467	2,591	4,8	10,1	14,8	67,8

Tabela A1.44: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,45% de CAP 50-70 moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,45	2,511	2,581	2,7	10,8	13,6	79,9
2	4,45	2,488	2,581	3,6	10,7	14,4	74,9
3	4,45	2,467	2,581	4,4	10,7	15,1	70,7
4	4,45	2,467	2,581	4,4	10,7	15,1	70,7
5	4,45	2,453	2,581	4,9	10,6	15,5	68,2
6	4,45	2,461	2,581	4,7	10,6	15,3	69,5
7	4,45	2,460	2,581	4,7	10,6	15,3	69,4
8	4,45	2,461	2,581	4,7	10,6	15,3	69,6
9	4,45	2,439	2,581	5,5	10,5	16,0	65,7
10	4,45	2,460	2,581	4,7	10,6	15,3	69,4
11	4,45	2,474	2,581	4,1	10,7	14,8	72,1
12	4,45	2,469	2,581	4,3	10,7	15,0	71,2
13	4,45	2,480	2,581	3,9	10,7	14,6	73,3
14	4,45	2,467	2,581	4,4	10,7	15,1	70,8
15	4,45	2,464	2,581	4,5	10,6	15,2	70,1
16	4,45	2,476	2,581	4,1	10,7	14,8	72,4
17	4,45	2,496	2,581	3,3	10,8	14,1	76,7
18	4,45	2,468	2,581	4,4	10,7	15,0	71,0
19	4,45	2,478	2,581	4,0	10,7	14,7	72,9
20	4,45	2,476	2,581	4,1	10,7	14,8	72,5
21	4,45	2,491	2,581	3,5	10,8	14,2	75,6
22	4,45	2,479	2,581	3,9	10,7	14,6	73,1
MÉDIA	4,45	2,472	2,581	4,2	10,7	14,9	71,8

Tabela A1.45: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,70% de CAP 50-70 moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,70	2,491	2,571	3,1	11,4	14,5	78,5
2	4,70	2,487	2,571	3,2	11,4	14,6	77,7
3	4,70	2,479	2,571	3,6	11,3	14,9	76,0
4	4,70	2,496	2,571	2,9	11,4	14,3	79,5
5	4,70	2,481	2,571	3,5	11,3	14,8	76,3
6	4,70	2,467	2,571	4,0	11,3	15,3	73,6
7	4,70	2,485	2,571	3,4	11,3	14,7	77,1
8	4,70	2,493	2,571	3,0	11,4	14,4	78,9
9	4,70	2,492	2,571	3,1	11,4	14,5	78,7
10	4,70	2,484	2,571	3,4	11,3	14,7	77,1
11	4,70	2,476	2,571	3,7	11,3	15,0	75,4
12	4,70	2,480	2,571	3,6	11,3	14,9	76,1
13	4,70	2,481	2,571	3,5	11,3	14,8	76,4
14	4,70	2,471	2,571	3,9	11,3	15,2	74,3
15	4,70	2,488	2,571	3,2	11,4	14,6	77,8
16	4,70	2,502	2,571	2,7	11,4	14,1	81,1
17	4,70	2,489	2,571	3,2	11,4	14,5	78,1
18	4,70	2,467	2,571	4,0	11,3	15,3	73,6
19	4,70	2,470	2,571	3,9	11,3	15,2	74,1
20	4,70	2,476	2,571	3,7	11,3	15,0	75,3
21	4,70	2,474	2,571	3,8	11,3	15,0	75,0
22	4,70	2,476	2,571	3,7	11,3	15,0	75,3
MÉDIA	4,70	2,482	2,571	3,5	11,3	14,8	76,6

Tabela A1.46: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,20% de CAP 50-70 moldadas no compactador giratório.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,20	2,463	2,604	5,4	10,0	15,4	65,0
2	4,20	2,479	2,604	4,8	10,1	14,9	67,7
3	4,20	2,448	2,604	6,0	10,0	16,0	62,5
4	4,20	2,455	2,604	5,7	10,0	15,7	63,6
5	4,20	2,454	2,604	5,8	10,0	15,8	63,4
6	4,20	2,444	2,604	6,1	10,0	16,1	61,9
7	4,20	2,446	2,604	6,1	10,0	16,0	62,1
8	4,20	2,448	2,604	6,0	10,0	16,0	62,5
9	4,20	2,452	2,604	5,8	10,0	15,8	63,2
10	4,20	2,475	2,604	5,0	10,1	15,1	67,0
11	4,20	2,468	2,604	5,2	10,1	15,3	65,8
12	4,20	2,461	2,604	5,5	10,0	15,5	64,7
13	4,20	2,475	2,604	4,9	10,1	15,0	67,1
14	4,20	2,459	2,604	5,6	10,0	15,6	64,4
15	4,20	2,460	2,604	5,5	10,0	15,6	64,4
16	4,20	2,459	2,604	5,6	10,0	15,6	64,3
17	4,20	2,466	2,604	5,3	10,1	15,4	65,5
18	4,20	2,470	2,604	5,1	10,1	15,2	66,2
19	4,20	2,467	2,604	5,3	10,1	15,3	65,7
20	4,20	2,464	2,604	5,4	10,0	15,4	65,2
21	4,20	2,456	2,604	5,7	10,0	15,7	63,8
22	4,20	2,454	2,604	5,7	10,0	15,8	63,5
23	4,20	2,453	2,604	5,8	10,0	15,8	63,3
24	4,20	2,454	2,604	5,7	10,0	15,8	63,5
25	4,20	2,467	2,604	5,3	10,1	15,3	65,6
MÉDIA	4,20	2,460	2,604	5,5	10,0	15,6	64,5

A1.2.6. CA, CAP 50-70, Faixa 19,0 mm

O teor de projeto obtido a partir da moldagem de corpos de prova empregando compactador giratório na COPPE foi de 4,50%. Enquanto que o teor de projeto de ligante para esta mistura apresentado pela Nova Dutra também foi de 4,50%. A partir desse teor, os demais teores utilizados para a moldagem dos corpos de prova no estudo são apresentados em seguida.

Teor de ligante - NOVA DUTRA					Teor de ligante - COPPE
-0,50%	-0,25%	Teor de projeto	+0,25%	+0,50%	Teor de projeto
4,00%	4,25%	4,50%	4,75%	5,00%	4,50%
Foram moldados 22 corpos de prova de cada teor com compactador MARSHALL - 90 golpes					Foram moldados 22 corpos de prova com compactador giratório - 125 giros

As **Tabelas A1.47 a A1.51** apresentam os resultados dos parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com CAP 30-45 moldadas com compactador Marshall e a **Tabela A1.52** apresenta os resultados das misturas moldadas com compactador giratório.

Tabela A1.47: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,00% de CAP 50-70 moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,00	2,449	2,603	5,9	9,5	15,4	61,7
2	4,00	2,448	2,603	6,0	9,5	15,5	61,4
3	4,00	2,486	2,603	4,5	9,7	14,1	68,3
4	4,00	2,500	2,603	3,9	9,7	13,7	71,1
5	4,00	2,476	2,603	4,9	9,6	14,5	66,3
6	4,00	2,451	2,603	5,8	9,5	15,4	62,0
7	4,00	2,546	2,603	2,2	9,9	12,1	81,8
8	4,00	2,544	2,603	2,3	9,9	12,1	81,4
9	4,00	2,464	2,603	5,3	9,6	14,9	64,2
10	4,00	2,480	2,603	4,7	9,6	14,4	67,0
11	4,00	2,449	2,603	5,9	9,5	15,4	61,7
12	4,00	2,472	2,603	5,1	9,6	14,6	65,5
13	4,00	2,452	2,603	5,8	9,5	15,3	62,2
14	4,00	2,428	2,603	6,7	9,4	16,2	58,4
15	4,00	2,474	2,603	5,0	9,6	14,6	65,9
16	4,00	2,457	2,603	5,6	9,5	15,1	63,1
17	4,00	2,460	2,603	5,5	9,6	15,0	63,5
18	4,00	2,456	2,603	5,6	9,5	15,2	62,8
19	4,00	2,485	2,603	4,5	9,7	14,2	68,1
20	4,00	2,475	2,603	4,9	9,6	14,5	66,1
21	4,00	2,466	2,603	5,3	9,6	14,9	64,5
22	4,00	2,488	2,603	4,4	9,7	14,1	68,5
MÉDIA	4,00	2,473	2,603	5,0	9,6	14,6	66,2

Tabela A1.48: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,25% de CAP 50-70 moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,25	2,475	2,592	4,5	10,2	14,7	69,3
2	4,25	2,464	2,592	4,9	10,2	15,1	67,4
3	4,25	2,500	2,592	3,5	10,3	13,9	74,5
4	4,25	2,463	2,592	5,0	10,2	15,1	67,2
5	4,25	2,471	2,592	4,7	10,2	14,9	68,6
6	4,25	2,480	2,592	4,3	10,2	14,6	70,3
7	4,25	2,472	2,592	4,6	10,2	14,8	68,8
8	4,25	2,451	2,592	5,4	10,1	15,5	65,1
9	4,25	2,592	2,592	0,0	10,7	10,7	99,9
10	4,25	2,483	2,592	4,2	10,2	14,5	70,9
11	4,25	2,477	2,592	4,4	10,2	14,7	69,7
12	4,25	2,478	2,592	4,4	10,2	14,6	70,0
13	4,25	2,497	2,592	3,7	10,3	14,0	73,8
14	4,25	2,472	2,592	4,6	10,2	14,8	68,8
15	4,25	2,479	2,592	4,4	10,2	14,6	70,1
16	4,25	2,491	2,592	3,9	10,3	14,2	72,4
17	4,25	2,449	2,592	5,5	10,1	15,6	64,7
18	4,25	2,476	2,592	4,5	10,2	14,7	69,6
19	4,25	2,489	2,592	4,0	10,3	14,2	72,1
20	4,25	2,468	2,592	4,8	10,2	15,0	68,0
21	4,25	2,475	2,592	4,5	10,2	14,7	69,4
22	4,25	2,496	2,592	3,7	10,3	14,0	73,4
MÉDIA	4,25	2,482	2,592	4,3	10,2	14,5	71,1

Tabela A1.49: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,50% de CAP 50-70 moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,50	2,477	2,582	4,1	10,8	14,9	72,7
2	4,50	2,485	2,582	3,8	10,9	14,6	74,2
3	4,50	2,468	2,582	4,4	10,8	15,2	70,9
4	4,50	2,466	2,582	4,5	10,8	15,3	70,5
5	4,50	2,483	2,582	3,8	10,8	14,7	74,0
6	4,50	2,475	2,582	4,1	10,8	15,0	72,3
7	4,50	2,479	2,582	4,0	10,8	14,8	73,1
8	4,50	2,486	2,582	3,7	10,9	14,6	74,5
9	4,50	2,482	2,582	3,9	10,8	14,7	73,8
10	4,50	2,491	2,582	3,5	10,9	14,4	75,6
11	4,50	2,474	2,582	4,2	10,8	15,0	72,0
12	4,50	2,468	2,582	4,4	10,8	15,2	71,0
13	4,50	2,449	2,582	5,1	10,7	15,8	67,6
14	4,50	2,468	2,582	4,4	10,8	15,2	71,0
15	4,50	2,504	2,582	3,0	10,9	14,0	78,3
16	4,50	2,482	2,582	3,9	10,8	14,7	73,7
17	4,50	2,467	2,582	4,4	10,8	15,2	70,8
18	4,50	2,472	2,582	4,3	10,8	15,1	71,7
19	4,50	2,475	2,582	4,2	10,8	15,0	72,2
20	4,50	2,471	2,582	4,3	10,8	15,1	71,5
21	4,50	2,474	2,582	4,2	10,8	15,0	72,1
22	4,50	2,459	2,582	4,8	10,7	15,5	69,2
MÉDIA	4,50	2,475	2,582	4,1	10,8	15,0	72,4

Tabela A1.50: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,75% de CAP 50-70 moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,75	2,464	2,571	4,2	11,4	15,5	73,2
2	4,75	2,484	2,571	3,4	11,5	14,8	77,2
3	4,75	2,471	2,571	3,9	11,4	15,3	74,6
4	4,75	2,472	2,571	3,9	11,4	15,3	74,7
5	4,75	2,474	2,571	3,8	11,4	15,2	75,2
6	4,75	2,486	2,571	3,3	11,5	14,8	77,7
7	4,75	2,485	2,571	3,3	11,5	14,8	77,4
8	4,75	2,487	2,571	3,3	11,5	14,7	77,9
9	4,75	2,494	2,571	3,0	11,5	14,5	79,4
10	4,75	2,475	2,571	3,7	11,4	15,1	75,3
11	4,75	2,483	2,571	3,4	11,5	14,9	77,1
12	4,75	2,490	2,571	3,1	11,5	14,6	78,5
13	4,75	2,482	2,571	3,5	11,4	14,9	76,7
14	4,75	2,464	2,571	4,1	11,4	15,5	73,3
15	4,75	2,485	2,571	3,3	11,5	14,8	77,5
16	4,75	2,472	2,571	3,9	11,4	15,3	74,7
17	4,75	2,482	2,571	3,5	11,4	14,9	76,8
18	4,75	2,491	2,571	3,1	11,5	14,6	78,6
19	4,75	2,477	2,571	3,6	11,4	15,1	75,8
20	4,75	2,469	2,571	4,0	11,4	15,4	74,1
21	4,75	2,489	2,571	3,2	11,5	14,7	78,3
22	4,75	2,486	2,571	3,3	11,5	14,8	77,6
MÉDIA	4,75	2,480	2,571	3,5	11,4	15,0	76,4

Tabela A1.51: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 5,00% de CAP 50-70 moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	5,00	2,481	2,561	3,1	12,0	15,2	79,5
2	5,00	2,502	2,561	2,3	12,1	14,4	84,2
3	5,00	2,494	2,561	2,6	12,1	14,7	82,2
4	5,00	2,487	2,561	2,9	12,1	15,0	80,7
5	5,00	2,470	2,561	3,6	12,0	15,5	77,1
6	5,00	2,495	2,561	2,6	12,1	14,7	82,4
7	5,00	2,488	2,561	2,9	12,1	14,9	80,8
8	5,00	2,482	2,561	3,1	12,0	15,1	79,6
9	5,00	2,448	2,561	4,4	11,9	16,3	73,0
10	5,00	2,480	2,561	3,1	12,0	15,2	79,3
11	5,00	2,489	2,561	2,8	12,1	14,9	81,0
12	5,00	2,472	2,561	3,5	12,0	15,5	77,6
13	5,00	2,494	2,561	2,6	12,1	14,7	82,2
14	5,00	2,490	2,561	2,8	12,1	14,9	81,3
15	5,00	2,488	2,561	2,9	12,1	14,9	80,8
16	5,00	2,486	2,561	2,9	12,1	15,0	80,4
17	5,00	2,485	2,561	3,0	12,1	15,0	80,2
18	5,00	2,487	2,561	2,9	12,1	14,9	80,8
19	5,00	2,500	2,561	2,4	12,1	14,5	83,7
20	5,00	2,470	2,561	3,6	12,0	15,5	77,1
21	5,00	2,495	2,561	2,6	12,1	14,7	82,5
22	5,00	2,480	2,561	3,2	12,0	15,2	79,2
MÉDIA	5,00	2,485	2,561	3,0	12,1	15,0	80,3

Tabela A1.52: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,50% de CAP 50-70 moldadas no compactador giratório.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,50	2,529	2,582	2,0	11,0	13,1	84,4
2	4,50	2,508	2,582	2,9	11,0	13,8	79,3
3	4,50	2,516	2,582	2,6	11,0	13,6	81,0
4	4,50	2,512	2,582	2,7	11,0	13,7	80,3
5	4,50	2,506	2,582	3,0	10,9	13,9	78,7
6	4,50	2,509	2,582	2,8	11,0	13,8	79,6
7	4,50	2,499	2,582	3,2	10,9	14,1	77,2
8	4,50	2,515	2,582	2,6	11,0	13,6	80,9
9	4,50	2,505	2,582	3,0	10,9	13,9	78,5
10	4,50	2,515	2,582	2,6	11,0	13,6	80,9
11	4,50	2,477	2,582	4,1	10,8	14,9	72,8
12	4,50	2,515	2,582	2,6	11,0	13,6	80,9
13	4,50	2,508	2,582	2,8	11,0	13,8	79,4
14	4,50	2,519	2,582	2,4	11,0	13,4	81,9
15	4,50	2,527	2,582	2,1	11,0	13,2	83,7
16	4,50	2,514	2,582	2,6	11,0	13,6	80,7
17	4,50	2,512	2,582	2,7	11,0	13,7	80,2
18	4,50	2,494	2,582	3,4	10,9	14,3	76,2
19	4,50	2,502	2,582	3,1	10,9	14,0	77,9
20	4,50	2,507	2,582	2,9	11,0	13,9	78,9
21	4,50	2,496	2,582	3,3	10,9	14,2	76,6
22	4,50	2,511	2,582	2,7	11,0	13,7	80,1
MÉDIA	4,50	2,509	2,582	2,8	11,0	13,8	79,5

A1.2.7. CA, CAP SBS, Faixa 9,5 mm

O teor de projeto obtido a partir da moldagem de corpos de prova empregando compactador giratório na COPPE foi de 5,15%. Enquanto que o teor de projeto de ligante para esta mistura apresentado pela Nova Dutra foi de 5,20%. A partir desse teor, os demais teores utilizados no estudo são apresentados em seguida.

Teor de ligante - NOVA DUTRA					Teor de ligante - COPPE
-0,50%	-0,25%	Teor de projeto	+0,25%	+0,50%	Teor de projeto
4,70%	4,95%	5,20%	5,45%	5,70%	5,20%
Foram moldados 22 corpos de prova de cada teor com compactador MARSHALL - 90 golpes					Foram moldados 22 corpos de prova com compactador giratório - 125 giros

As **Tabelas A1.53 a A1.57** apresentam os resultados dos parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com CAP SBS moldadas com compactador Marshall e a **Tabela A1.58** apresenta os resultados das misturas moldadas com compactador giratório.

Tabela A1.53: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,70% de CAP SBS moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,70	2,451	2,597	5,6	11,2	16,8	66,5
2	4,70	2,440	2,597	6,1	11,1	17,2	64,7
3	4,70	2,467	2,597	5,0	11,3	16,3	69,2
4	4,70	2,459	2,597	5,3	11,2	16,5	67,8
5	4,70	2,430	2,597	6,4	11,1	17,5	63,3
6	4,70	2,450	2,597	5,7	11,2	16,8	66,4
7	4,70	2,425	2,597	6,6	11,1	17,7	62,6
8	4,70	2,451	2,597	5,6	11,2	16,8	66,6
9	4,70	2,451	2,597	5,6	11,2	16,8	66,6
10	4,70	2,419	2,597	6,8	11,0	17,9	61,7
11	4,70	2,449	2,597	5,7	11,2	16,9	66,2
12	4,70	2,463	2,597	5,2	11,2	16,4	68,5
13	4,70	2,457	2,597	5,4	11,2	16,6	67,5
14	4,70	2,403	2,597	7,5	11,0	18,4	59,4
15	4,70	2,432	2,597	6,3	11,1	17,4	63,6
16	4,70	2,445	2,597	5,9	11,2	17,0	65,6
17	4,70	2,448	2,597	5,7	11,2	16,9	66,1
18	4,70	2,423	2,597	6,7	11,1	17,7	62,3
19	4,70	2,409	2,597	7,3	11,0	18,2	60,2
20	4,70	2,452	2,597	5,6	11,2	16,8	66,7
21	4,70	2,419	2,597	6,8	11,0	17,9	61,7
22	4,70	2,448	2,597	5,7	11,2	16,9	66,1
MÉDIA	4,70	2,440	2,597	6,0	11,1	17,2	65,0

Tabela A1.54: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,95% de CAP SBS moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,95	2,478	2,587	4,2	11,9	16,1	73,9
2	4,95	2,442	2,587	5,6	11,7	17,3	67,7
3	4,95	2,469	2,587	4,6	11,9	16,4	72,2
4	4,95	2,486	2,587	3,9	11,9	15,8	75,4
5	4,95	2,473	2,587	4,4	11,9	16,3	73,0
6	4,95	2,474	2,587	4,4	11,9	16,3	73,2
7	4,95	2,481	2,587	4,1	11,9	16,0	74,4
8	4,95	2,473	2,587	4,4	11,9	16,3	73,0
9	4,95	2,465	2,587	4,7	11,8	16,6	71,5
10	4,95	2,476	2,587	4,3	11,9	16,2	73,6
11	4,95	2,465	2,587	4,7	11,8	16,6	71,5
12	4,95	2,478	2,587	4,2	11,9	16,1	73,9
13	4,95	2,483	2,587	4,0	11,9	15,9	74,9
14	4,95	2,482	2,587	4,1	11,9	16,0	74,6
15	4,95	2,478	2,587	4,2	11,9	16,1	73,9
16	4,95	2,460	2,587	4,9	11,8	16,7	70,7
17	4,95	2,477	2,587	4,3	11,9	16,2	73,6
18	4,95	2,488	2,587	3,8	12,0	15,8	75,7
19	4,95	2,479	2,587	4,2	11,9	16,1	74,1
20	4,95	2,467	2,587	4,6	11,9	16,5	71,8
21	4,95	2,465	2,587	4,7	11,8	16,6	71,5
22	4,95	2,486	2,587	3,9	11,9	15,9	75,3
MÉDIA	4,95	2,474	2,587	4,4	11,9	16,3	73,2

Tabela A1.55: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 5,20% de CAP SBS moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	5,20	2,464	2,577	4,4	12,4	16,8	73,9
2	5,20	2,431	2,577	5,6	12,3	17,9	68,5
3	5,20	2,444	2,577	5,2	12,3	17,5	70,5
4	5,20	2,437	2,577	5,4	12,3	17,7	69,3
5	5,20	2,495	2,577	3,2	12,6	15,8	79,8
6	5,20	2,461	2,577	4,5	12,4	16,9	73,4
7	5,20	2,441	2,577	5,3	12,3	17,6	70,0
8	5,20	2,469	2,577	4,2	12,5	16,7	74,8
9	5,20	2,459	2,577	4,6	12,4	17,0	73,1
10	5,20	2,460	2,577	4,5	12,4	16,9	73,3
11	5,20	2,438	2,577	5,4	12,3	17,7	69,6
12	5,20	2,461	2,577	4,5	12,4	16,9	73,4
13	5,20	2,459	2,577	4,6	12,4	17,0	73,1
14	5,20	2,456	2,577	4,7	12,4	17,1	72,6
15	5,20	2,453	2,577	4,8	12,4	17,2	71,9
16	5,20	2,451	2,577	4,9	12,4	17,3	71,7
17	5,20	2,461	2,577	4,5	12,4	16,9	73,4
18	5,20	2,467	2,577	4,3	12,5	16,7	74,5
19	5,20	2,462	2,577	4,5	12,4	16,9	73,5
20	5,20	2,454	2,577	4,8	12,4	17,2	72,2
21	5,20	2,470	2,577	4,2	12,5	16,6	75,0
22	5,20	2,467	2,577	4,3	12,5	16,7	74,5
23	5,20	2,476	2,577	3,9	12,5	16,4	76,1
24	5,20	2,470	2,577	4,2	12,5	16,6	74,9
25	5,20	2,472	2,577	4,1	12,5	16,6	75,4
26	5,20	2,476	2,577	3,9	12,5	16,4	76,1
27	5,20	2,465	2,577	4,3	12,4	16,8	74,1
28	5,20	2,468	2,577	4,2	12,5	16,7	74,6
29	5,20	2,472	2,577	4,1	12,5	16,5	75,4
30	5,20	2,485	2,577	3,6	12,5	16,1	77,8
31	5,20	2,477	2,577	3,9	12,5	16,4	76,3
32	5,20	2,490	2,577	3,4	12,6	16,0	78,8
33	5,20	2,426	2,577	5,9	12,2	18,1	67,6
34	5,20	2,412	2,577	6,4	12,2	18,6	65,5
35	5,20	2,474	2,577	4,0	12,5	16,5	75,7
36	5,20	2,481	2,577	3,7	12,5	16,3	77,0
37	5,20	2,475	2,577	4,0	12,5	16,5	75,9
38	5,20	2,474	2,577	4,0	12,5	16,5	75,7
MÉDIA	5,20	2,462	2,577	4,5	12,4	16,9	73,6

Tabela A1.56: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 5,45% de CAP SBS moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	5,45	2,481	2,568	3,4	13,1	16,5	79,5
2	5,45	2,479	2,568	3,4	13,1	16,6	79,2
3	5,45	2,482	2,568	3,4	13,1	16,5	79,6
4	5,45	2,479	2,568	3,5	13,1	16,6	79,1
5	5,45	2,472	2,568	3,8	13,1	16,8	77,7
6	5,45	2,484	2,568	3,3	13,1	16,4	80,0
7	5,45	2,465	2,568	4,0	13,0	17,1	76,4
8	5,45	2,477	2,568	3,5	13,1	16,6	78,7
9	5,45	2,458	2,568	4,3	13,0	17,3	75,2
10	5,45	2,481	2,568	3,4	13,1	16,5	79,5
11	5,45	2,461	2,568	4,2	13,0	17,2	75,7
12	5,45	2,466	2,568	4,0	13,0	17,0	76,7
13	5,45	2,482	2,568	3,4	13,1	16,5	79,6
14	5,45	2,481	2,568	3,4	13,1	16,5	79,5
15	5,45	2,486	2,568	3,2	13,2	16,4	80,4
16	5,45	2,479	2,568	3,5	13,1	16,6	79,1
17	5,45	2,443	2,568	4,9	12,9	17,8	72,6
18	5,45	2,483	2,568	3,3	13,1	16,5	79,8
19	5,45	2,470	2,568	3,8	13,1	16,9	77,5
20	5,45	2,482	2,568	3,3	13,1	16,5	79,8
21	5,45	2,479	2,568	3,5	13,1	16,6	79,1
22	5,45	2,484	2,568	3,3	13,1	16,4	80,0
MÉDIA	5,45	2,475	2,568	3,6	13,1	16,7	78,4

Tabela A1.57: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 5,70% de CAP SBS moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	5,70	2,480	2,558	3,1	13,7	16,8	81,8
2	5,70	2,464	2,558	3,7	13,6	17,3	78,7
3	5,70	2,478	2,558	3,1	13,7	16,8	81,4
4	5,70	2,470	2,558	3,4	13,7	17,1	79,9
5	5,70	2,483	2,558	2,9	13,7	16,7	82,3
6	5,70	2,486	2,558	2,8	13,8	16,6	83,0
7	5,70	2,476	2,558	3,2	13,7	16,9	81,1
8	5,70	2,467	2,558	3,5	13,7	17,2	79,4
9	5,70	2,480	2,558	3,0	13,7	16,8	81,8
10	5,70	2,474	2,558	3,3	13,7	17,0	80,7
11	5,70	2,487	2,558	2,8	13,8	16,5	83,3
12	5,70	2,493	2,558	2,6	13,8	16,3	84,4
13	5,70	2,480	2,558	3,0	13,7	16,8	81,8
14	5,70	2,484	2,558	2,9	13,7	16,6	82,6
15	5,70	2,484	2,558	2,9	13,7	16,7	82,5
16	5,70	2,481	2,558	3,0	13,7	16,7	82,0
17	5,70	2,480	2,558	3,0	13,7	16,8	81,8
18	5,70	2,477	2,558	3,2	13,7	16,9	81,3
19	5,70	2,484	2,558	2,9	13,7	16,6	82,6
20	5,70	2,462	2,558	3,7	13,6	17,4	78,5
21	5,70	2,469	2,558	3,5	13,7	17,1	79,7
22	5,70	2,469	2,558	3,5	13,7	17,2	79,6
MÉDIA	5,70	2,478	2,558	3,1	13,7	16,9	81,4

Tabela A1.58: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 5,20% de CAP SBS moldadas no compactador giratório.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	5,20	2,462	2,577	4,4	12,4	16,9	73,6
2	5,20	2,458	2,577	4,6	12,4	17,0	73,0
3	5,20	2,446	2,577	5,1	12,3	17,4	70,8
4	5,20	2,447	2,577	5,1	12,4	17,4	70,9
5	5,20	2,452	2,577	4,8	12,4	17,2	71,9
6	5,20	2,446	2,577	5,1	12,3	17,4	70,8
7	5,20	2,451	2,577	4,9	12,4	17,3	71,7
8	5,20	2,449	2,577	5,0	12,4	17,3	71,3
9	5,20	2,450	2,577	4,9	12,4	17,3	71,6
10	5,20	2,456	2,577	4,7	12,4	17,1	72,6
11	5,20	2,474	2,577	4,0	12,5	16,5	75,8
12	5,20	2,452	2,577	4,8	12,4	17,2	71,9
13	5,20	2,467	2,577	4,3	12,5	16,7	74,4
14	5,20	2,457	2,577	4,7	12,4	17,1	72,6
15	5,20	2,463	2,577	4,4	12,4	16,8	73,8
16	5,20	2,461	2,577	4,5	12,4	16,9	73,4
17	5,20	2,449	2,577	5,0	12,4	17,3	71,3
18	5,20	2,458	2,577	4,6	12,4	17,0	72,9
19	5,20	2,490	2,577	3,4	12,6	15,9	78,9
20	5,20	2,488	2,577	3,5	12,6	16,0	78,5
21	5,20	2,489	2,577	3,4	12,6	16,0	78,7
22	5,20	2,460	2,577	4,5	12,4	16,9	73,4
MÉDIA	4,50	2,509	2,582	2,8	11,0	13,8	79,5

A1.2.8. CA, CAP SBS, Faixa 12,5 mm

O teor de projeto obtido a partir da moldagem de corpos de prova empregando compactador giratório na COPPE foi de 4,70%. Enquanto que o teor de projeto de ligante para esta mistura apresentado pela Nova Dutra foi de 4,70%. A partir desse teor, os demais teores utilizados para a moldagem dos corpos de prova no estudo são apresentados em seguida.

Teor de ligante - NOVA DUTRA					Teor de ligante - COPPE	
-0,50%	-0,25%	Teor de projeto	+0,25%	+0,50%	Teor de projeto	
4,20%	4,45%	4,70%	4,95%	5,20%	4,70%	
Foram moldados 22 corpos de prova de cada teor com compactador MARSHALL - 90 golpes					Foram moldados 22 corpos de prova com compactador giratório - 125 giros	

As **Tabelas A1.59 a A1.63** apresentam os resultados dos parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com CAP SBS moldadas com compactador Marshall e a **Tabela A1.64** apresenta os resultados das misturas moldadas com compactador giratório.

Tabela A1.59: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,20% de CAP SBS moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,20	2,457	2,595	5,3	10,0	15,3	65,3
2	4,20	2,471	2,595	4,8	10,1	14,8	67,9
3	4,20	2,453	2,595	5,5	10,0	15,5	64,6
4	4,20	2,461	2,595	5,2	10,0	15,2	66,0
5	4,20	2,434	2,595	6,2	9,9	16,1	61,6
6	4,20	2,453	2,595	5,5	10,0	15,5	64,7
7	4,20	2,444	2,595	5,8	10,0	15,8	63,1
8	4,20	2,446	2,595	5,7	10,0	15,7	63,5
9	4,20	2,466	2,595	5,0	10,1	15,0	66,8
10	4,20	2,461	2,595	5,2	10,0	15,2	66,0
11	4,20	2,460	2,595	5,2	10,0	15,2	65,8
12	4,20	2,473	2,595	4,7	10,1	14,8	68,2
13	4,20	2,483	2,595	4,3	10,1	14,4	70,1
14	4,20	2,462	2,595	5,1	10,0	15,2	66,2
15	4,20	2,460	2,595	5,2	10,0	15,2	65,8
16	4,20	2,472	2,595	4,7	10,1	14,8	68,1
17	4,20	2,465	2,595	5,0	10,1	15,1	66,8
18	4,20	2,469	2,595	4,9	10,1	14,9	67,4
19	4,20	2,456	2,595	5,3	10,0	15,4	65,2
20	4,20	2,456	2,595	5,4	10,0	15,4	65,1
21	4,20	2,480	2,595	4,4	10,1	14,5	69,6
22	4,20	2,449	2,595	5,6	10,0	15,6	64,0
MÉDIA	4,20	2,461	2,595	5,2	10,0	15,2	66,0

Tabela A1.60: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,45% de CAP SBS moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,45	2,487	2,584	3,8	10,7	14,5	74,1
2	4,45	2,478	2,584	4,1	10,7	14,8	72,3
3	4,45	2,466	2,584	4,5	10,7	15,2	70,1
4	4,45	2,476	2,584	4,2	10,7	14,9	71,9
5	4,45	2,474	2,584	4,3	10,7	14,9	71,5
6	4,45	2,480	2,584	4,0	10,7	14,7	72,6
7	4,45	2,489	2,584	3,7	10,8	14,4	74,5
8	4,45	2,481	2,584	4,0	10,7	14,7	72,9
9	4,45	2,466	2,584	4,6	10,7	15,2	70,0
10	4,45	2,453	2,584	5,1	10,6	15,7	67,7
11	4,45	2,435	2,584	5,8	10,5	16,3	64,6
12	4,45	2,471	2,584	4,4	10,7	15,1	70,9
13	4,45	2,478	2,584	4,1	10,7	14,8	72,3
14	4,45	2,476	2,584	4,2	10,7	14,9	71,8
15	4,45	2,487	2,584	3,8	10,7	14,5	74,0
16	4,45	2,467	2,584	4,5	10,7	15,2	70,2
17	4,45	2,458	2,584	4,9	10,6	15,5	68,5
18	4,45	2,456	2,584	5,0	10,6	15,6	68,1
19	4,45	2,465	2,584	4,6	10,6	15,3	69,7
20	4,45	2,486	2,584	3,8	10,7	14,5	74,0
21	4,45	2,485	2,584	3,8	10,7	14,6	73,6
22	4,45	2,477	2,584	4,2	10,7	14,9	72,0
MÉDIA	4,45	2,472	2,584	4,3	10,7	15,0	71,2

Tabela A1.61: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,70% de CAP SBS moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,70	2,476	2,573	3,8	11,3	15,1	75,1
2	4,70	2,480	2,573	3,6	11,3	14,9	75,8
3	4,70	2,464	2,573	4,2	11,2	15,5	72,6
4	4,70	2,477	2,573	3,7	11,3	15,0	75,2
5	4,70	2,492	2,573	3,1	11,4	14,5	78,4
6	4,70	2,481	2,573	3,6	11,3	14,9	76,0
7	4,70	2,478	2,573	3,7	11,3	15,0	75,5
8	4,70	2,470	2,573	4,0	11,3	15,3	73,8
9	4,70	2,476	2,573	3,8	11,3	15,1	74,9
10	4,70	2,476	2,573	3,8	11,3	15,1	74,9
11	4,70	2,478	2,573	3,7	11,3	15,0	75,5
12	4,70	2,473	2,573	3,9	11,3	15,2	74,3
13	4,70	2,492	2,573	3,1	11,4	14,5	78,4
14	4,70	2,479	2,573	3,6	11,3	15,0	75,6
15	4,70	2,485	2,573	3,4	11,3	14,8	76,7
16	4,70	2,453	2,573	4,6	11,2	15,8	70,7
17	4,70	2,490	2,573	3,2	11,4	14,6	77,9
18	4,70	2,490	2,573	3,2	11,4	14,6	78,0
19	4,70	2,487	2,573	3,3	11,3	14,7	77,3
20	4,70	2,473	2,573	3,9	11,3	15,2	74,3
21	4,70	2,486	2,573	3,4	11,3	14,7	77,1
22	4,70	2,490	2,573	3,2	11,4	14,6	77,9
MÉDIA	4,70	2,479	2,573	3,6	11,3	15,0	75,7

Tabela A1.62: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,95% de CAP SBS moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,95	2,486	2,563	3,0	11,9	15,0	79,8
2	4,95	2,487	2,563	3,0	12,0	14,9	80,2
3	4,95	2,514	2,563	1,9	12,1	14,0	86,3
4	4,95	2,488	2,563	2,9	12,0	14,9	80,4
5	4,95	2,487	2,563	3,0	12,0	14,9	80,2
6	4,95	2,499	2,563	2,5	12,0	14,5	82,8
7	4,95	2,485	2,563	3,1	11,9	15,0	79,6
8	4,95	2,487	2,563	3,0	12,0	14,9	80,2
9	4,95	2,496	2,563	2,6	12,0	14,6	82,2
10	4,95	2,476	2,563	3,4	11,9	15,3	77,8
11	4,95	2,481	2,563	3,2	11,9	15,1	78,9
12	4,95	2,479	2,563	3,3	11,9	15,2	78,4
13	4,95	2,504	2,563	2,3	12,0	14,3	83,9
14	4,95	2,496	2,563	2,6	12,0	14,6	82,0
15	4,95	2,500	2,563	2,5	12,0	14,5	82,9
16	4,95	2,480	2,563	3,2	11,9	15,2	78,6
17	4,95	2,487	2,563	2,9	12,0	14,9	80,2
18	4,95	2,470	2,563	3,6	11,9	15,5	76,7
19	4,95	2,499	2,563	2,5	12,0	14,5	82,8
20	4,95	2,497	2,563	2,6	12,0	14,6	82,4
21	4,95	2,491	2,563	2,8	12,0	14,8	81,1
22	4,95	2,496	2,563	2,6	12,0	14,6	82,1
MÉDIA	4,95	2,490	2,563	2,8	12,0	14,8	80,9

Tabela A1.63: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 5,20% de CAP SBS moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	5,20	2,508	2,552	1,7	12,7	14,4	88,1
2	5,20	2,494	2,552	2,3	12,6	14,9	84,6
3	5,20	2,511	2,552	1,6	12,7	14,3	88,7
4	5,20	2,455	2,552	3,8	12,4	16,2	76,4
5	5,20	2,504	2,552	1,9	12,6	14,5	87,0
6	5,20	2,508	2,552	1,7	12,7	14,4	88,1
7	5,20	2,488	2,552	2,5	12,6	15,1	83,5
8	5,20	2,460	2,552	3,6	12,4	16,0	77,5
9	5,20	2,490	2,552	2,4	12,6	15,0	83,7
10	5,20	2,501	2,552	2,0	12,6	14,6	86,5
11	5,20	2,500	2,552	2,0	12,6	14,6	86,2
12	5,20	2,496	2,552	2,2	12,6	14,8	85,1
13	5,20	2,496	2,552	2,2	12,6	14,8	85,3
14	5,20	2,506	2,552	1,8	12,6	14,5	87,4
15	5,20	2,510	2,552	1,7	12,7	14,3	88,4
16	5,20	2,521	2,552	1,2	12,7	13,9	91,4
17	5,20	2,505	2,552	1,9	12,6	14,5	87,2
18	5,20	2,502	2,552	2,0	12,6	14,6	86,5
19	5,20	2,508	2,552	1,7	12,7	14,4	88,1
20	5,20	2,519	2,552	1,3	12,7	14,0	90,8
21	5,20	2,496	2,552	2,2	12,6	14,8	85,2
22	5,20	2,504	2,552	1,9	12,6	14,5	87,0
MÉDIA	5,20	2,499	2,552	2,1	12,6	14,7	86,0

Tabela A1.64: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,70% de CAP SBS moldadas no compactador giratório.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,70	2,484	2,590	4,1	11,3	15,4	73,4
2	4,70	2,477	2,590	4,4	11,3	15,7	72,2
3	4,70	2,476	2,590	4,4	11,3	15,7	72,0
4	4,70	2,474	2,590	4,5	11,3	15,8	71,6
5	4,70	2,485	2,590	4,1	11,3	15,4	73,6
6	4,70	2,478	2,590	4,3	11,3	15,6	72,3
7	4,70	2,499	2,590	3,5	11,4	14,9	76,4
8	4,70	2,497	2,590	3,6	11,4	15,0	76,1
9	4,70	2,483	2,590	4,1	11,3	15,5	73,3
10	4,70	2,482	2,590	4,2	11,3	15,5	73,1
11	4,70	2,485	2,590	4,1	11,3	15,4	73,6
12	4,70	2,480	2,590	4,3	11,3	15,6	72,7
13	4,70	2,481	2,590	4,2	11,3	15,5	73,0
14	4,70	2,479	2,590	4,3	11,3	15,6	72,5
15	4,70	2,486	2,590	4,0	11,3	15,4	73,9
16	4,70	2,475	2,590	4,4	11,3	15,7	71,8
17	4,70	2,492	2,590	3,8	11,4	15,2	75,0
18	4,70	2,480	2,590	4,2	11,3	15,6	72,7
19	4,70	2,506	2,590	3,2	11,4	14,7	77,9
20	4,70	2,517	2,590	2,8	11,5	14,3	80,3
21	4,70	2,517	2,590	2,8	11,5	14,3	80,2
MÉDIA	4,70	2,487	2,590	4,0	11,3	15,3	74,2

A1.2.9. CA, CAP SBS, Faixa 19,0 mm

O teor de projeto obtido a partir da moldagem de corpos de prova empregando compactador giratório na COPPE foi de **4,10%**. Enquanto que o teor de projeto de ligante para esta mistura apresentado pela Nova Dutra foi de 4,10%. A partir desse teor, os demais teores utilizados para a moldagem dos corpos de prova no estudo são apresentados em seguida.

Teor de ligante - NOVA DUTRA					Teor de ligante - COPPE
-0,50%	-0,25%	Teor de projeto	+0,25%	+0,50%	Teor de projeto
3,60%	3,85%	4,10%	4,35%	4,60%	4,10%
Foram moldados 22 corpos de prova de cada teor com compactador MARSHALL - 90 golpes					Foram moldados 22 corpos de prova com compactador giratório - 125 giros

As **Tabelas A1.65 a A1.69** apresentam os resultados dos parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com CAP SBS moldadas com compactador Marshall e a **Tabela A1.70** apresenta os resultados das misturas moldadas com compactador giratório.

Tabela A1.65: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 3,60% de CAP SBS moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	3,60	2,444	2,652	7,8	8,5	16,4	52,2
2	3,60	2,433	2,652	8,3	8,5	16,8	50,7
3	3,60	2,427	2,652	8,5	8,5	17,0	49,9
4	3,60	2,429	2,652	8,4	8,5	16,9	50,2
5	3,60	2,446	2,652	7,8	8,5	16,3	52,3
6	3,60	2,449	2,652	7,7	8,6	16,2	52,7
7	3,60	2,461	2,652	7,2	8,6	15,8	54,4
8	3,60	2,471	2,652	6,8	8,6	15,5	55,8
9	3,60	2,451	2,652	7,6	8,6	16,1	53,1
10	3,60	2,447	2,652	7,7	8,6	16,3	52,5
11	3,60	2,437	2,652	8,1	8,5	16,6	51,2
12	3,60	2,439	2,652	8,0	8,5	16,6	51,5
13	3,60	2,464	2,652	7,1	8,6	15,7	54,9
14	3,60	2,455	2,652	7,4	8,6	16,0	53,7
15	3,60	2,476	2,652	6,6	8,7	15,3	56,6
16	3,60	2,447	2,652	7,7	8,6	16,3	52,6
17	3,60	2,442	2,652	7,9	8,5	16,4	51,9
18	3,60	2,445	2,652	7,8	8,5	16,3	52,3
19	3,60	2,441	2,652	8,0	8,5	16,5	51,7
20	3,60	2,453	2,652	7,5	8,6	16,1	53,4
21	3,60	2,448	2,652	7,7	8,6	16,3	52,6
22	3,60	2,437	2,652	8,1	8,5	16,6	51,2
MÉDIA	3,60	2,447	2,652	7,7	8,6	16,3	52,6

Tabela A1.66: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 3,85% de CAP SBS moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	3,85	2,474	2,634	6,1	9,2	15,3	60,4
2	3,85	2,461	2,634	6,6	9,2	15,8	58,3
3	3,85	2,470	2,634	6,2	9,2	15,4	59,8
4	3,85	2,442	2,634	7,3	9,1	16,4	55,7
5	3,85	2,464	2,634	6,4	9,2	15,7	58,8
6	3,85	2,468	2,634	6,3	9,2	15,5	59,4
7	3,85	2,450	2,634	7,0	9,2	16,1	56,8
8	3,85	2,456	2,634	6,8	9,2	15,9	57,6
9	3,85	2,454	2,634	6,8	9,2	16,0	57,3
10	3,85	2,453	2,634	6,9	9,2	16,1	57,1
11	3,85	2,493	2,634	5,4	9,3	14,7	63,5
12	3,85	2,468	2,634	6,3	9,2	15,5	59,5
13	3,85	2,468	2,634	6,3	9,2	15,5	59,4
14	3,85	2,466	2,634	6,4	9,2	15,6	59,1
15	3,85	2,465	2,634	6,4	9,2	15,6	58,9
16	3,85	2,484	2,634	5,7	9,3	15,0	61,9
17	3,85	2,468	2,634	6,3	9,2	15,5	59,5
18	3,85	2,485	2,634	5,7	9,3	14,9	62,1
19	3,85	2,465	2,634	6,4	9,2	15,6	59,0
20	3,85	2,437	2,634	7,5	9,1	16,6	55,0
21	3,85	2,480	2,634	5,9	9,3	15,1	61,3
22	3,85	2,456	2,634	6,7	9,2	15,9	57,6
MÉDIA	3,85	2,465	2,634	6,4	9,2	15,6	59,0

Tabela A1.67: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,10% de CAP SBS moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,10	2,507	2,617	4,2	10,0	14,2	70,3
2	4,10	2,471	2,617	5,6	9,8	15,4	63,8
3	4,10	2,470	2,617	5,6	9,8	15,4	63,7
4	4,10	2,489	2,617	4,9	9,9	14,8	67,0
5	4,10	2,464	2,617	5,9	9,8	15,7	62,6
6	4,10	2,474	2,617	5,5	9,8	15,3	64,3
7	4,10	2,488	2,617	4,9	9,9	14,8	66,8
8	4,10	2,510	2,617	4,1	10,0	14,1	71,0
9	4,10	2,474	2,617	5,5	9,8	15,3	64,4
10	4,10	2,484	2,617	5,1	9,9	15,0	66,1
11	4,10	2,490	2,617	4,8	9,9	14,8	67,2
12	4,10	2,488	2,617	4,9	9,9	14,8	66,8
13	4,10	2,482	2,617	5,2	9,9	15,0	65,7
14	4,10	2,486	2,617	5,0	9,9	14,9	66,4
15	4,10	2,504	2,617	4,3	10,0	14,3	69,8
16	4,10	2,473	2,617	5,5	9,8	15,3	64,2
17	4,10	2,470	2,617	5,6	9,8	15,5	63,6
18	4,10	2,489	2,617	4,9	9,9	14,8	66,9
19	4,10	2,477	2,617	5,3	9,9	15,2	64,9
20	4,10	2,463	2,617	5,9	9,8	15,7	62,5
21	4,10	2,473	2,617	5,5	9,8	15,3	64,2
22	4,10	2,470	2,617	5,6	9,8	15,4	63,7
MÉDIA	4,10	2,482	2,617	5,2	9,9	15,0	65,7

Tabela A1.68: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,35% de CAP SBS moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,35	2,509	2,600	3,5	10,6	14,1	75,3
2	4,35	2,497	2,600	4,0	10,5	14,5	72,7
3	4,35	2,505	2,600	3,6	10,6	14,2	74,4
4	4,35	2,500	2,600	3,8	10,6	14,4	73,4
5	4,35	2,490	2,600	4,2	10,5	14,7	71,3
6	4,35	2,491	2,600	4,2	10,5	14,7	71,6
7	4,35	2,512	2,600	3,4	10,6	14,0	75,9
8	4,35	2,490	2,600	4,2	10,5	14,8	71,2
9	4,35	2,510	2,600	3,5	10,6	14,1	75,4
10	4,35	2,497	2,600	4,0	10,5	14,5	72,7
11	4,35	2,505	2,600	3,7	10,6	14,2	74,3
12	4,35	2,492	2,600	4,1	10,5	14,7	71,8
13	4,35	2,509	2,600	3,5	10,6	14,1	75,2
14	4,35	2,504	2,600	3,7	10,6	14,3	74,1
15	4,35	2,502	2,600	3,8	10,6	14,3	73,7
16	4,35	2,477	2,600	4,7	10,5	15,2	68,9
17	4,35	2,485	2,600	4,4	10,5	14,9	70,3
18	4,35	2,502	2,600	3,8	10,6	14,3	73,8
19	4,35	2,498	2,600	3,9	10,5	14,5	72,9
20	4,35	2,513	2,600	3,3	10,6	13,9	76,1
21	4,35	2,490	2,600	4,2	10,5	14,7	71,4
22	4,35	2,491	2,600	4,2	10,5	14,7	71,5
MÉDIA	4,35	2,499	2,600	3,9	10,6	14,4	73,1

Tabela A1.69: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,60% de CAP SBS moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,60	2,496	2,583	3,4	11,1	14,5	76,8
2	4,60	2,510	2,583	2,8	11,2	14,0	80,0
3	4,60	2,483	2,583	3,9	11,1	15,0	74,2
4	4,60	2,502	2,583	3,2	11,2	14,3	78,0
5	4,60	2,486	2,583	3,8	11,1	14,9	74,7
6	4,60	2,485	2,583	3,8	11,1	14,9	74,5
7	4,60	2,492	2,583	3,5	11,1	14,7	75,9
8	4,60	2,516	2,583	2,6	11,2	13,8	81,2
9	4,60	2,501	2,583	3,2	11,2	14,3	77,9
10	4,60	2,497	2,583	3,3	11,2	14,5	77,1
11	4,60	2,488	2,583	3,7	11,1	14,8	75,1
12	4,60	2,499	2,583	3,3	11,2	14,4	77,4
13	4,60	2,509	2,583	2,9	11,2	14,1	79,5
14	4,60	2,491	2,583	3,6	11,1	14,7	75,7
15	4,60	2,505	2,583	3,0	11,2	14,2	78,6
16	4,60	2,488	2,583	3,7	11,1	14,8	75,1
17	4,60	2,490	2,583	3,6	11,1	14,7	75,4
18	4,60	2,497	2,583	3,3	11,2	14,5	77,1
19	4,60	2,495	2,583	3,4	11,1	14,5	76,6
20	4,60	2,489	2,583	3,6	11,1	14,7	75,4
21	4,60	2,507	2,583	2,9	11,2	14,1	79,2
22	4,60	2,507	2,583	2,9	11,2	14,1	79,2
MÉDIA	4,60	2,497	2,583	3,3	11,2	14,5	77,0

Tabela A1.70: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,10% de CAP SBS moldadas no compactador giratório.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,10	2,479	2,616	5,2	9,9	15,1	65,4
2	4,10	2,479	2,616	5,2	9,9	15,1	65,3
3	4,10	2,468	2,616	5,6	9,8	15,5	63,5
4	4,10	2,507	2,616	4,2	10,0	14,1	70,5
5	4,10	2,472	2,616	5,5	9,8	15,3	64,2
6	4,10	2,487	2,616	4,9	9,9	14,8	66,7
7	4,10	2,501	2,616	4,4	10,0	14,4	69,3
8	4,10	2,495	2,616	4,6	9,9	14,6	68,3
9	4,10	2,478	2,616	5,3	9,9	15,1	65,2
10	4,10	2,483	2,616	5,1	9,9	15,0	66,0
11	4,10	2,490	2,616	4,8	9,9	14,7	67,4
12	4,10	2,477	2,616	5,3	9,9	15,2	65,0
13	4,10	2,496	2,616	4,6	9,9	14,5	68,4
14	4,10	2,481	2,616	5,1	9,9	15,0	65,8
15	4,10	2,483	2,616	5,1	9,9	15,0	66,1
16	4,10	2,497	2,616	4,6	9,9	14,5	68,6
17	4,10	2,497	2,616	4,6	9,9	14,5	68,5
18	4,10	2,484	2,616	5,1	9,9	14,9	66,2
19	4,10	2,490	2,616	4,8	9,9	14,7	67,3
20	4,10	2,493	2,616	4,7	9,9	14,6	67,8
21	4,10	2,494	2,616	4,7	9,9	14,6	68,0
MÉDIA	4,10	2,487	2,616	4,9	9,9	14,8	66,8

A1.2.10. CA, ECOFLEX B, Faixa 9,5 mm

O teor de projeto obtido a partir da moldagem de corpos de prova empregando compactador giratório na COPPE foi de 5,90%. Enquanto que o teor de projeto de ligante para esta mistura apresentado pela Nova Dutra também foi de 5,90%. A partir desse teor, os demais teores utilizados para a moldagem dos corpos de prova no estudo são apresentados em seguida.

Teor de ligante - NOVA DUTRA					Teor de ligante - COPPE
-0,50%	-0,25%	Teor de projeto	+0,25%	+0,50%	Teor de projeto
5,40%	5,65%	5,90%	6,15%	6,40%	5,90%
Foram moldados 22 corpos de prova de cada teor com compactador MARSHALL - 90 golpes					Foram moldados 22 corpos de prova com compactador giratório - 125 giros

As **Tabelas A1.71 a A1.75** apresentam os resultados dos parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com ECOFLEX B moldadas com compactador Marshall e a **Tabela A1.76** apresenta os resultados das misturas moldadas com compactador giratório.

Tabela A1.71: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 5,40% de ECOFLEX B moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	5,40	2,428	2,570	5,5	12,7	18,3	69,7
2	5,40	2,378	2,570	7,5	12,5	19,9	62,5
3	5,40	2,408	2,570	6,3	12,6	18,9	66,8
4	5,40	2,390	2,570	7,0	12,5	19,5	64,2
5	5,40	2,386	2,570	7,2	12,5	19,7	63,5
6	5,40	2,373	2,570	7,7	12,4	20,1	61,8
7	5,40	2,404	2,570	6,5	12,6	19,1	66,1
8	5,40	2,384	2,570	7,2	12,5	19,7	63,4
9	5,40	2,386	2,570	7,2	12,5	19,7	63,6
10	5,40	2,392	2,570	6,9	12,5	19,5	64,4
11	5,40	2,417	2,570	5,9	12,7	18,6	68,1
12	5,40	2,376	2,570	7,6	12,5	20,0	62,3
13	5,40	2,418	2,570	5,9	12,7	18,6	68,2
14	5,40	2,411	2,570	6,2	12,6	18,8	67,2
15	5,40	2,380	2,570	7,4	12,5	19,9	62,7
16	5,40	2,430	2,570	5,5	12,7	18,2	70,0
17	5,40	2,424	2,570	5,7	12,7	18,4	69,2
18	5,40	2,393	2,570	6,9	12,5	19,4	64,5
19	5,40	2,394	2,570	6,8	12,6	19,4	64,7
20	5,40	2,416	2,570	6,0	12,7	18,7	67,9
21	5,40	2,395	2,570	6,8	12,6	19,4	64,9
22	5,40	2,397	2,570	6,7	12,6	19,3	65,2
MÉDIA	5,40	2,399	2,570	6,7	12,6	19,2	65,5

Tabela A1.72: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 5,65% de ECOFLEX B moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	5,65	2,403	2,560	6,1	13,2	19,3	68,3
2	5,65	2,418	2,560	5,5	13,3	18,8	70,5
3	5,65	2,423	2,560	5,3	13,3	18,6	71,4
4	5,65	2,417	2,560	5,6	13,3	18,8	70,4
5	5,65	2,429	2,560	5,1	13,3	18,4	72,2
6	5,65	2,420	2,560	5,5	13,3	18,7	70,9
7	5,65	2,411	2,560	5,8	13,2	19,0	69,4
8	5,65	2,407	2,560	6,0	13,2	19,2	68,9
9	5,65	2,429	2,560	5,1	13,3	18,4	72,3
10	5,65	2,419	2,560	5,5	13,3	18,8	70,7
11	5,65	2,444	2,560	4,5	13,4	18,0	74,7
12	5,65	2,419	2,560	5,5	13,3	18,8	70,7
13	5,65	2,409	2,560	5,9	13,2	19,1	69,1
14	5,65	2,419	2,560	5,5	13,3	18,8	70,6
15	5,65	2,396	2,560	6,4	13,1	19,5	67,3
16	5,65	2,432	2,560	5,0	13,3	18,3	72,8
17	5,65	2,402	2,560	6,2	13,2	19,4	68,1
18	5,65	2,436	2,560	4,8	13,4	18,2	73,5
19	5,65	2,417	2,560	5,6	13,3	18,8	70,3
20	5,65	2,418	2,560	5,5	13,3	18,8	70,6
21	5,65	2,410	2,560	5,8	13,2	19,1	69,3
22	5,65	2,405	2,560	6,0	13,2	19,2	68,6
MÉDIA	5,65	2,418	2,560	5,6	13,3	18,8	70,5

Tabela A1.73: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 5,90% de ECOFLEX B moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	5,90	2,412	2,550	5,4	13,8	19,2	71,9
2	5,90	2,406	2,550	5,6	13,8	19,4	71,0
3	5,90	2,418	2,550	5,2	13,8	19,0	72,8
4	5,90	2,385	2,550	6,5	13,7	20,1	67,9
5	5,90	2,414	2,550	5,3	13,8	19,1	72,2
6	5,90	2,422	2,550	5,0	13,9	18,9	73,5
7	5,90	2,359	2,550	7,5	13,5	21,0	64,3
8	5,90	2,402	2,550	5,8	13,8	19,6	70,3
9	5,90	2,401	2,550	5,9	13,8	19,6	70,1
10	5,90	2,411	2,550	5,4	13,8	19,3	71,7
11	5,90	2,389	2,550	6,3	13,7	20,0	68,5
12	5,90	2,393	2,550	6,1	13,7	19,9	69,1
13	5,90	2,422	2,550	5,0	13,9	18,9	73,4
14	5,90	2,405	2,550	5,7	13,8	19,5	70,7
15	5,90	2,400	2,550	5,9	13,7	19,6	70,1
16	5,90	2,408	2,550	5,6	13,8	19,3	71,3
17	5,90	2,412	2,550	5,4	13,8	19,2	71,8
18	5,90	2,390	2,550	6,3	13,7	20,0	68,6
19	5,90	2,409	2,550	5,5	13,8	19,3	71,4
20	5,90	2,401	2,550	5,9	13,8	19,6	70,1
21	5,90	2,412	2,550	5,4	13,8	19,2	71,8
22	5,90	2,400	2,550	5,9	13,7	19,6	70,0
MÉDIA	5,90	2,403	2,550	5,8	13,8	19,5	70,6

Tabela A1.74: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 6,15% de ECOFLEX B moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	6,15	2,413	2,540	5,0	14,4	19,4	74,3
2	6,15	2,419	2,540	4,7	14,4	19,2	75,3
3	6,15	2,409	2,540	5,2	14,4	19,6	73,6
4	6,15	2,413	2,540	5,0	14,4	19,4	74,3
5	6,15	2,415	2,540	4,9	14,4	19,3	74,6
6	6,15	2,357	2,540	7,2	14,1	21,3	66,1
7	6,15	2,398	2,540	5,6	14,3	19,9	71,8
8	6,15	2,391	2,540	5,9	14,3	20,1	70,9
9	6,15	2,402	2,540	5,4	14,3	19,8	72,5
10	6,15	2,398	2,540	5,6	14,3	19,9	72,0
11	6,15	2,402	2,540	5,4	14,3	19,8	72,5
12	6,15	2,424	2,540	4,5	14,5	19,0	76,1
13	6,15	2,417	2,540	4,9	14,4	19,3	74,8
14	6,15	2,397	2,540	5,6	14,3	19,9	71,8
15	6,15	2,409	2,540	5,2	14,4	19,5	73,6
16	6,15	2,405	2,540	5,3	14,4	19,7	73,0
17	6,15	2,407	2,540	5,2	14,4	19,6	73,2
18	6,15	2,410	2,540	5,1	14,4	19,5	73,8
19	6,15	2,396	2,540	5,7	14,3	20,0	71,7
20	6,15	2,396	2,540	5,7	14,3	20,0	71,6
21	6,15	2,409	2,540	5,2	14,4	19,5	73,6
22	6,15	2,397	2,540	5,6	14,3	19,9	71,7
MÉDIA	6,15	2,404	2,540	5,4	14,4	19,7	72,9

Tabela A1.75: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 6,40% de ECOFLEX B moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	6,40	2,449	2,531	3,2	15,2	18,5	82,5
2	6,40	2,439	2,531	3,6	15,2	18,8	80,6
3	6,40	2,451	2,531	3,2	15,2	18,4	82,8
4	6,40	2,441	2,531	3,6	15,2	18,7	81,0
5	6,40	2,446	2,531	3,4	15,2	18,6	81,9
6	6,40	2,451	2,531	3,2	15,2	18,4	82,8
7	6,40	2,436	2,531	3,7	15,1	18,9	80,2
8	6,40	2,438	2,531	3,7	15,2	18,8	80,5
9	6,40	2,445	2,531	3,4	15,2	18,6	81,7
10	6,40	2,448	2,531	3,3	15,2	18,5	82,3
11	6,40	2,445	2,531	3,4	15,2	18,6	81,7
12	6,40	2,447	2,531	3,3	15,2	18,5	82,0
13	6,40	2,445	2,531	3,4	15,2	18,6	81,7
14	6,40	2,444	2,531	3,4	15,2	18,6	81,6
15	6,40	2,450	2,531	3,2	15,2	18,4	82,7
16	6,40	2,445	2,531	3,4	15,2	18,6	81,8
17	6,40	2,452	2,531	3,1	15,2	18,4	83,0
18	6,40	2,445	2,531	3,4	15,2	18,6	81,6
19	6,40	2,453	2,531	3,1	15,2	18,3	83,1
20	6,40	2,455	2,531	3,0	15,3	18,3	83,5
21	6,40	2,446	2,531	3,4	15,2	18,6	81,9
22	6,40	2,446	2,531	3,4	15,2	18,6	81,9
MÉDIA	6,40	2,446	2,531	3,4	15,2	18,6	81,9

Tabela A1.76: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 5,90% de ECOFLEX B moldadas no compactador giratório.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	5,90	2,450	2,550	3,9	14,0	17,9	78,2
2	5,90	2,447	2,550	4,0	14,0	18,1	77,6
3	5,90	2,453	2,550	3,8	14,1	17,8	78,8
4	5,90	2,436	2,550	4,5	14,0	18,4	75,8
5	5,90	2,446	2,550	4,1	14,0	18,1	77,5
6	5,90	2,467	2,550	3,3	14,1	17,4	81,3
7	5,90	2,451	2,550	3,9	14,0	17,9	78,3
8	5,90	2,462	2,550	3,4	14,1	17,5	80,4
9	5,90	2,450	2,550	3,9	14,0	18,0	78,1
10	5,90	2,433	2,550	4,6	13,9	18,5	75,2
11	5,90	2,445	2,550	4,1	14,0	18,1	77,3
12	5,90	2,448	2,550	4,0	14,0	18,0	77,8
13	5,90	2,447	2,550	4,0	14,0	18,0	77,7
14	5,90	2,448	2,550	4,0	14,0	18,0	77,8
15	5,90	2,442	2,550	4,2	14,0	18,2	76,7
16	5,90	2,451	2,550	3,9	14,0	17,9	78,4
17	5,90	2,448	2,550	4,0	14,0	18,0	77,9
18	5,90	2,440	2,550	4,3	14,0	18,3	76,4
19	5,90	2,437	2,550	4,4	14,0	18,4	75,9
20	5,90	2,439	2,550	4,3	14,0	18,3	76,3
21	5,90	2,449	2,550	3,9	14,0	18,0	78,1
22	5,90	2,445	2,550	4,1	14,0	18,1	77,4
MÉDIA	5,90	2,447	2,550	4,0	14,0	18,1	77,7

A1.2.11. CA, ECOFLEX B, Faixa 12,5 mm

O teor de projeto obtido a partir da moldagem de corpos de prova empregando compactador giratório na COPPE foi de 5,30%. Enquanto que o teor de projeto de ligante para esta mistura apresentado pela Nova Dutra foi de 5,30%. A partir desse teor, os demais teores utilizados para a moldagem dos corpos de prova no estudo são apresentados em seguida.

Teor de ligante - NOVA DUTRA					Teor de ligante - COPPE
-0,50%	-0,25%	Teor de projeto	+0,25%	+0,50%	Teor de projeto
4,80%	5,05%	5,30%	5,55%	5,80%	5,30%
Foram moldados 22 corpos de prova de cada teor com compactador MARSHALL - 90 golpes					Foram moldados 22 corpos de prova com compactador giratório - 125 giros

As **Tabelas A1.77 a A1.81** apresentam os resultados dos parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com ECOFLEX B moldadas com compactador Marshall e a **Tabela A1.82** apresenta os resultados das misturas moldadas com compactador giratório.

Tabela A1.77: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,80% de ECOFLEX B moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,80	2,387	2,575	7,3	11,1	18,4	60,4
2	4,80	2,408	2,575	6,5	11,2	17,7	63,4
3	4,80	2,416	2,575	6,2	11,3	17,4	64,6
4	4,80	2,401	2,575	6,7	11,2	17,9	62,4
5	4,80	2,412	2,575	6,3	11,2	17,6	63,9
6	4,80	2,409	2,575	6,4	11,2	17,7	63,5
7	4,80	2,407	2,575	6,5	11,2	17,7	63,3
8	4,80	2,412	2,575	6,3	11,2	17,6	64,0
9	4,80	2,380	2,575	7,6	11,1	18,7	59,4
10	4,80	2,410	2,575	6,4	11,2	17,6	63,7
11	4,80	2,390	2,575	7,2	11,1	18,3	60,9
12	4,80	2,402	2,575	6,7	11,2	17,9	62,5
13	4,80	2,406	2,575	6,6	11,2	17,8	63,1
14	4,80	2,379	2,575	7,6	11,1	18,7	59,2
15	4,80	2,403	2,575	6,7	11,2	17,9	62,6
16	4,80	2,388	2,575	7,3	11,1	18,4	60,5
17	4,80	2,399	2,575	6,8	11,2	18,0	62,1
18	4,80	2,417	2,575	6,1	11,3	17,4	64,7
19	4,80	2,405	2,575	6,6	11,2	17,8	63,0
20	4,80	2,399	2,575	6,9	11,2	18,0	62,0
21	4,80	2,404	2,575	6,6	11,2	17,9	62,8
22	4,80	2,387	2,575	7,3	11,1	18,4	60,4
MEDIA	4,80	2,401	2,575	6,8	11,2	17,9	62,4

Tabela A1.78: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 5,05% de ECOFLEX B moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	5,05	2,402	2,564	6,3	11,8	18,1	65,1
2	5,05	2,399	2,564	6,4	11,8	18,2	64,6
3	5,05	2,397	2,564	6,5	11,8	18,3	64,4
4	5,05	2,425	2,564	5,4	11,9	17,3	68,6
5	5,05	2,397	2,564	6,5	11,8	18,3	64,4
6	5,05	2,395	2,564	6,6	11,7	18,3	64,1
7	5,05	2,424	2,564	5,5	11,9	17,3	68,5
8	5,05	2,404	2,564	6,3	11,8	18,0	65,3
9	5,05	2,406	2,564	6,1	11,8	17,9	65,7
10	5,05	2,421	2,564	5,6	11,9	17,4	68,0
11	5,05	2,407	2,564	6,1	11,8	17,9	65,8
12	5,05	2,401	2,564	6,3	11,8	18,1	65,0
13	5,05	2,428	2,564	5,3	11,9	17,2	69,2
14	5,05	2,434	2,564	5,1	11,9	17,0	70,2
15	5,05	2,422	2,564	5,5	11,9	17,4	68,2
16	5,05	2,420	2,564	5,6	11,9	17,5	67,8
17	5,05	2,412	2,564	5,9	11,8	17,7	66,7
18	5,05	2,438	2,564	4,9	12,0	16,9	70,9
19	5,05	2,413	2,564	5,9	11,8	17,7	66,8
20	5,05	2,432	2,564	5,2	11,9	17,1	69,8
21	5,05	2,421	2,564	5,6	11,9	17,4	68,1
22	5,05	2,405	2,564	6,2	11,8	18,0	65,6
MÉDIA	5,05	2,414	2,564	5,9	11,8	17,7	66,9

Tabela A1.79: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 5,30% de ECOFLEX B moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	5,30	2,446	2,554	4,2	12,6	16,8	74,9
2	5,30	2,655	2,554	-3,9	13,7	9,7	140,6
3	5,30	2,449	2,554	4,1	12,6	16,7	75,4
4	5,30	2,430	2,554	4,8	12,5	17,3	72,1
5	5,30	2,441	2,554	4,4	12,6	17,0	74,0
6	5,30	2,473	2,554	3,2	12,7	15,9	80,0
7	5,30	2,453	2,554	4,0	12,6	16,6	76,1
8	5,30	2,454	2,554	3,9	12,6	16,5	76,4
9	5,30	2,442	2,554	4,4	12,6	17,0	74,1
10	5,30	2,445	2,554	4,3	12,6	16,8	74,7
11	5,30	2,464	2,554	3,5	12,7	16,2	78,3
12	5,30	2,451	2,554	4,0	12,6	16,7	75,7
13	5,30	2,444	2,554	4,3	12,6	16,9	74,5
14	5,30	2,459	2,554	3,7	12,7	16,4	77,4
15	5,30	2,451	2,554	4,0	12,6	16,6	75,8
16	5,30	2,459	2,554	3,7	12,7	16,4	77,3
17	5,30	2,458	2,554	3,8	12,6	16,4	77,0
18	5,30	2,465	2,554	3,5	12,7	16,2	78,4
19	5,30	2,450	2,554	4,1	12,6	16,7	75,6
20	5,30	2,457	2,554	3,8	12,6	16,4	76,9
21	5,30	2,441	2,554	4,4	12,6	17,0	74,0
22	5,30	2,439	2,554	4,5	12,5	17,1	73,5
MÉDIA	5,30	2,460	2,554	3,7	12,7	16,3	78,8

Tabela A1.80: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 5,55% de ECOFLEX B moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	5,55	2,452	2,543	3,6	13,2	16,8	78,7
2	5,55	2,460	2,543	3,3	13,3	16,5	80,3
3	5,55	2,436	2,543	4,2	13,1	17,3	75,6
4	5,55	2,457	2,543	3,4	13,2	16,6	79,7
5	5,55	2,458	2,543	3,3	13,2	16,6	79,9
6	5,55	2,439	2,543	4,1	13,1	17,2	76,3
7	5,55	2,456	2,543	3,4	13,2	16,7	79,4
8	5,55	2,441	2,543	4,0	13,2	17,2	76,5
9	5,55	2,444	2,543	3,9	13,2	17,1	77,1
10	5,55	2,447	2,543	3,8	13,2	17,0	77,7
11	5,55	2,442	2,543	4,0	13,2	17,1	76,7
12	5,55	2,439	2,543	4,1	13,1	17,2	76,3
13	5,55	2,450	2,543	3,6	13,2	16,8	78,4
14	5,55	2,437	2,543	4,2	13,1	17,3	75,9
15	5,55	2,457	2,543	3,4	13,2	16,6	79,6
16	5,55	2,418	2,543	4,9	13,0	18,0	72,6
17	5,55	2,437	2,543	4,2	13,1	17,3	75,9
18	5,55	2,292	2,543	9,9	12,4	22,2	55,6
19	5,55	2,453	2,543	3,5	13,2	16,8	78,9
20	5,55	2,433	2,543	4,3	13,1	17,4	75,2
21	5,55	2,449	2,543	3,7	13,2	16,9	78,1
22	5,55	2,475	2,543	2,7	13,3	16,0	83,3
MÉDIA	5,55	2,440	2,543	4,1	13,1	17,2	76,7

Tabela A1.81: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 5,80% de ECOFLEX B moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	5,80	2,462	2,533	2,8	13,9	16,7	83,1
2	5,80	2,464	2,533	2,7	13,9	16,6	83,5
3	5,80	2,484	2,533	1,9	14,0	15,9	87,8
4	5,80	2,440	2,533	3,7	13,7	17,4	79,0
5	5,80	2,486	2,533	1,8	14,0	15,8	88,4
6	5,80	2,466	2,533	2,6	13,9	16,5	84,0
7	5,80	2,469	2,533	2,5	13,9	16,4	84,7
8	5,80	2,474	2,533	2,3	13,9	16,3	85,7
9	5,80	2,461	2,533	2,8	13,9	16,7	83,0
10	5,80	2,469	2,533	2,5	13,9	16,4	84,6
11	5,80	2,467	2,533	2,6	13,9	16,5	84,2
12	5,80	2,452	2,533	3,2	13,8	17,0	81,2
13	5,80	2,472	2,533	2,4	13,9	16,3	85,3
14	5,80	2,478	2,533	2,2	14,0	16,1	86,6
15	5,80	2,464	2,533	2,7	13,9	16,6	83,6
16	5,80	2,464	2,533	2,7	13,9	16,6	83,5
17	5,80	2,470	2,533	2,5	13,9	16,4	84,9
18	5,80	2,454	2,533	3,1	13,8	16,9	81,6
19	5,80	2,465	2,533	2,7	13,9	16,6	83,8
20	5,80	2,478	2,533	2,2	14,0	16,1	86,5
21	5,80	2,467	2,533	2,6	13,9	16,5	84,2
22	5,80	2,462	2,533	2,8	13,9	16,7	83,1
MÉDIA	5,80	2,467	2,533	2,6	13,9	16,5	84,2

Tabela A1.82: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 5,30% de ECOFLEX B moldadas no compactador giratório.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
01	5,30	2,453	2,575	4,7	12,6	17,4	72,8
02	5,30	2,473	2,575	4,0	12,7	16,7	76,3
03	5,30	2,468	2,575	4,2	12,7	16,9	75,3
04	5,30	2,440	2,575	5,3	12,6	17,8	70,5
05	5,30	2,429	2,575	5,7	12,5	18,2	68,8
06	5,30	2,485	2,575	3,5	12,8	16,3	78,6
07	5,30	2,479	2,575	3,7	12,8	16,5	77,3
08	5,30	2,494	2,575	3,1	12,8	16,0	80,4
09	5,30	2,488	2,575	3,4	12,8	16,2	79,2
10	5,30	2,457	2,575	4,6	12,6	17,2	73,4
11	5,30	2,484	2,575	3,5	12,8	16,3	78,3
12	5,30	2,491	2,575	3,2	12,8	16,1	79,8
13	5,30	2,476	2,575	3,8	12,7	16,6	76,9
14	5,30	2,462	2,575	4,4	12,7	17,1	74,2
15	5,30	2,484	2,575	3,5	12,8	16,3	78,3
16	5,30	2,467	2,575	4,2	12,7	16,9	75,2
17	5,30	2,486	2,575	3,5	12,8	16,3	78,7
18	5,30	2,483	2,575	3,6	12,8	16,3	78,1
19	5,30	2,476	2,575	3,9	12,7	16,6	76,8
20	5,30	2,486	2,575	3,5	12,8	16,2	78,7
21	5,30	2,488	2,575	3,4	12,8	16,2	79,2
22	5,30	2,458	2,575	4,5	12,6	17,2	73,6
23	5,30	2,438	2,575	5,3	12,5	17,9	70,2
24	5,30	2,445	2,575	5,1	12,6	17,6	71,3
25	5,30	2,438	2,575	5,3	12,5	17,8	70,3
26	5,30	2,457	2,575	4,6	12,6	17,2	73,3
27	5,30	2,453	2,575	4,7	12,6	17,4	72,7
28	5,30	2,443	2,575	5,1	12,6	17,7	71,0
29	5,30	2,446	2,575	5,0	12,6	17,6	71,5
30	5,30	2,425	2,575	5,8	12,5	18,3	68,2
31	5,30	2,430	2,575	5,6	12,5	18,1	69,0
32	5,30	2,427	2,575	5,7	12,5	18,2	68,5
33	5,30	2,435	2,575	5,4	12,5	18,0	69,7
34	5,30	2,437	2,575	5,3	12,5	17,9	70,1
35	5,30	2,406	2,575	6,6	12,4	18,9	65,4
36	5,30	2,426	2,575	5,8	12,5	18,3	68,4
37	5,30	2,443	2,575	5,1	12,6	17,7	71,0
38	5,30	2,445	2,575	5,0	12,6	17,6	71,4
39	5,30	2,426	2,575	5,8	12,5	18,3	68,4
40	5,30	2,425	2,575	5,8	12,5	18,3	68,2
41	5,30	2,446	2,575	5,0	12,6	17,6	71,5
MÉDIA	5,30	2,456	2,575	4,6	12,6	17,2	73,5

A1.2.12. CA, ECOFLEX B, Faixa 19,0 mm

O teor de projeto obtido a partir da moldagem de corpos de prova empregando compactador giratório na COPPE foi de 4,70%. Enquanto que o teor de projeto de ligante para esta mistura apresentado pela Nova Dutra foi de 4,70%. A partir desse teor, os demais teores utilizados para a moldagem dos corpos de prova no estudo são apresentados em seguida.

Teor de ligante - NOVA DUTRA					Teor de ligante - COPPE
-0,50%	-0,25%	Teor de projeto	+0,25%	+0,50%	Teor de projeto
4,20%	4,45%	4,70%	4,95%	5,20%	4,70%
Foram moldados 22 corpos de prova de cada teor com compactador MARSHALL - 90 golpes					Foram moldados 22 corpos de prova com compactador giratório - 125 giros

As **Tabelas A1.83 a A1.87** apresentam os resultados dos parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com ECOFLEX B moldadas com compactador Marshall e a **Tabela A1.88** apresenta os resultados das misturas moldadas com compactador giratório.

Tabela A1.83: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,20% de ECOFLEX B moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,20	2,422	2,606	7,0	9,9	16,9	58,4
2	4,20	2,454	2,606	5,8	10,0	15,8	63,2
3	4,20	2,430	2,606	6,8	9,9	16,7	59,4
4	4,20	2,417	2,606	7,2	9,9	17,1	57,7
5	4,20	2,424	2,606	7,0	9,9	16,9	58,5
6	4,20	2,421	2,606	7,1	9,9	17,0	58,1
7	4,20	2,397	2,606	8,0	9,8	17,8	54,9
8	4,20	2,402	2,606	7,8	9,8	17,6	55,6
9	4,20	2,435	2,606	6,6	9,9	16,5	60,1
10	4,20	2,417	2,606	7,3	9,9	17,1	57,5
11	4,20	2,416	2,606	7,3	9,9	17,2	57,4
12	4,20	2,388	2,606	8,4	9,7	18,1	53,8
13	4,20	2,412	2,606	7,4	9,8	17,3	57,0
14	4,20	2,391	2,606	8,2	9,8	18,0	54,2
15	4,20	2,413	2,606	7,4	9,8	17,3	57,0
16	4,20	2,391	2,606	8,3	9,7	18,0	54,1
17	4,20	2,399	2,606	7,9	9,8	17,7	55,2
18	4,20	2,411	2,606	7,5	9,8	17,3	56,7
19	4,20	2,422	2,606	7,1	9,9	16,9	58,3
20	4,20	2,426	2,606	6,9	9,9	16,8	58,8
21	4,20	2,404	2,606	7,8	9,8	17,6	55,8
22	4,20	2,432	2,606	6,7	9,9	16,6	59,8
MEDIA	4,20	2,415	2,606	7,3	9,8	17,2	57,4

Tabela A1.84: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,45% de ECOFLEX B moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,45	2,428	2,595	6,4	10,5	16,9	62,0
2	4,45	2,403	2,595	7,4	10,4	17,8	58,4
3	4,45	2,418	2,595	6,8	10,4	17,3	60,6
4	4,45	2,431	2,595	6,3	10,5	16,8	62,4
5	4,45	2,418	2,595	6,8	10,4	17,3	60,5
6	4,45	2,416	2,595	6,9	10,4	17,3	60,3
7	4,45	2,432	2,595	6,3	10,5	16,8	62,6
8	4,45	2,429	2,595	6,4	10,5	16,9	62,2
9	4,45	2,461	2,595	5,2	10,6	15,8	67,2
10	4,45	2,439	2,595	6,0	10,5	16,5	63,7
11	4,45	2,432	2,595	6,3	10,5	16,8	62,5
12	4,45	2,429	2,595	6,4	10,5	16,9	62,1
13	4,45	2,413	2,595	7,0	10,4	17,4	59,8
14	4,45	2,435	2,595	6,2	10,5	16,7	63,1
15	4,45	2,448	2,595	5,7	10,6	16,2	65,1
16	4,45	2,447	2,595	5,7	10,6	16,3	65,0
17	4,45	2,431	2,595	6,3	10,5	16,8	62,4
18	4,45	2,418	2,595	6,8	10,4	17,3	60,6
19	4,45	2,443	2,595	5,9	10,6	16,4	64,2
20	4,45	2,411	2,595	7,1	10,4	17,5	59,5
21	4,45	2,431	2,595	6,3	10,5	16,8	62,4
22	4,45	2,426	2,595	6,5	10,5	17,0	61,7
MÉDIA	4,45	2,429	2,595	6,4	10,5	16,9	62,2

Tabela A1.85: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,70% de ECOFLEX B moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,70	2,437	2,582	5,6	11,1	16,7	66,5
2	4,70	2,436	2,582	5,7	11,1	16,8	66,3
3	4,70	2,417	2,582	6,4	11,0	17,4	63,3
4	4,70	2,434	2,582	5,7	11,1	16,8	66,0
5	4,70	2,424	2,582	6,1	11,1	17,2	64,5
6	4,70	2,452	2,582	5,0	11,2	16,2	69,0
7	4,70	2,441	2,582	5,5	11,1	16,6	67,1
8	4,70	2,452	2,582	5,0	11,2	16,2	68,9
9	4,70	2,421	2,582	6,2	11,0	17,3	64,0
10	4,70	2,434	2,582	5,7	11,1	16,8	66,0
11	4,70	2,469	2,582	4,4	11,3	15,6	72,1
12	4,70	2,437	2,582	5,6	11,1	16,7	66,4
13	4,70	2,416	2,582	6,4	11,0	17,5	63,1
14	4,70	2,457	2,582	4,9	11,2	16,1	69,8
15	4,70	2,459	2,582	4,8	11,2	16,0	70,1
16	4,70	2,442	2,582	5,4	11,1	16,6	67,2
17	4,70	2,429	2,582	5,9	11,1	17,0	65,1
18	4,70	2,448	2,582	5,2	11,2	16,4	68,2
19	4,70	2,465	2,582	4,5	11,2	15,8	71,3
20	4,70	2,419	2,582	6,3	11,0	17,4	63,6
21	4,70	2,429	2,582	5,9	11,1	17,0	65,2
22	4,70	2,438	2,582	5,6	11,1	16,7	66,6
MÉDIA	4,70	2,439	2,582	5,5	11,1	16,7	66,8

Tabela A1.86: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,95% de ECOFLEX B moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,95	2,397	2,574	6,9	11,5	18,4	62,7
2	4,95	2,420	2,574	6,0	11,6	17,6	66,1
3	4,95	2,408	2,574	6,5	11,6	18,0	64,2
4	4,95	2,440	2,574	5,2	11,7	16,9	69,2
5	4,95	2,421	2,574	5,9	11,6	17,6	66,2
6	4,95	2,413	2,574	6,3	11,6	17,9	65,0
7	4,95	2,424	2,574	5,8	11,7	17,5	66,7
8	4,95	2,420	2,574	6,0	11,6	17,6	66,0
9	4,95	2,412	2,574	6,3	11,6	17,9	64,8
10	4,95	2,418	2,574	6,1	11,6	17,7	65,7
11	4,95	2,418	2,574	6,0	11,6	17,7	65,8
12	4,95	2,420	2,574	6,0	11,6	17,6	66,0
13	4,95	2,435	2,574	5,4	11,7	17,1	68,5
14	4,95	2,428	2,574	5,7	11,7	17,4	67,2
15	4,95	2,421	2,574	5,9	11,6	17,6	66,2
16	4,95	2,442	2,574	5,1	11,7	16,9	69,5
17	4,95	2,412	2,574	6,3	11,6	17,9	64,8
18	4,95	2,425	2,574	5,8	11,7	17,5	66,8
19	4,95	2,411	2,574	6,3	11,6	17,9	64,7
20	4,95	2,432	2,574	5,5	11,7	17,2	67,9
21	4,95	2,419	2,574	6,0	11,6	17,6	65,9
22	4,95	2,395	2,574	7,0	11,5	18,5	62,3
MÉDIA	4,95	2,420	2,574	6,0	11,6	17,6	66,0

Tabela A1.87: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 5,20% de ECOFLEX B moldadas no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	5,20	2,459	2,564	4,1	12,4	16,5	75,2
2	5,20	2,438	2,564	4,9	12,3	17,2	71,5
3	5,20	2,436	2,564	5,0	12,3	17,3	71,2
4	5,20	2,423	2,564	5,5	12,2	17,7	69,0
5	5,20	2,454	2,564	4,3	12,4	16,7	74,3
6	5,20	2,460	2,564	4,1	12,4	16,5	75,4
7	5,20	2,421	2,564	5,6	12,2	17,8	68,7
8	5,20	2,435	2,564	5,0	12,3	17,3	70,9
9	5,20	2,434	2,564	5,1	12,3	17,4	70,8
10	5,20	2,411	2,564	6,0	12,2	18,2	67,0
11	5,20	2,441	2,564	4,8	12,3	17,1	71,9
12	5,20	2,426	2,564	5,4	12,2	17,6	69,5
13	5,20	2,443	2,564	4,7	12,3	17,1	72,3
14	5,20	2,418	2,564	5,7	12,2	17,9	68,2
15	5,20	2,414	2,564	5,8	12,2	18,0	67,6
16	5,20	2,424	2,564	5,5	12,2	17,7	69,1
17	5,20	2,450	2,564	4,4	12,4	16,8	73,6
18	5,20	2,446	2,564	4,6	12,3	17,0	72,8
19	5,20	2,414	2,564	5,8	12,2	18,0	67,6
20	5,20	2,413	2,564	5,9	12,2	18,1	67,4
21	5,20	2,448	2,564	4,5	12,4	16,9	73,2
22	5,20	2,442	2,564	4,8	12,3	17,1	72,1
MÉDIA	5,20	2,434	2,564	5,1	12,3	17,4	70,9

Tabela A1.88: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,70% de ECOFLEX B moldadas no compactador giratório.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	MEA (g/cm ³)	Gmm	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
01	4,70	2,463	2,596	5,1	11,2	16,3	68,8
02	4,70	2,473	2,596	4,7	11,3	16,0	70,5
03	4,70	2,456	2,596	5,4	11,2	16,6	67,5
04	4,70	2,475	2,596	4,7	11,3	16,0	70,8
05	4,70	2,488	2,596	4,2	11,4	15,5	73,1
06	4,70	2,460	2,596	5,2	11,2	16,5	68,2
07	4,70	2,480	2,596	4,5	11,3	15,8	71,7
08	4,70	2,514	2,596	3,1	11,5	14,6	78,5
09	4,70	2,475	2,596	4,7	11,3	16,0	70,8
10	4,70	2,491	2,596	4,0	11,4	15,4	73,8
11	4,70	2,488	2,596	4,2	11,4	15,5	73,2
12	4,70	2,495	2,596	3,9	11,4	15,3	74,6
13	4,70	2,486	2,596	4,2	11,3	15,6	72,8
14	4,70	2,475	2,596	4,6	11,3	15,9	70,9
15	4,70	2,465	2,596	5,1	11,2	16,3	69,0
16	4,70	2,493	2,596	4,0	11,4	15,3	74,2
17	4,70	2,477	2,596	4,6	11,3	15,9	71,1
18	4,70	2,472	2,596	4,8	11,3	16,1	70,2
19	4,70	2,468	2,596	4,9	11,3	16,2	69,5
20	4,70	2,474	2,596	4,7	11,3	16,0	70,7
MÉDIA	4,70	2,479	2,596	4,5	11,3	15,8	71,5

A1.3. Resultados dos Ensaio Mecânicos

A1.3.1. CA, CAP 30-45, Faixa 9,5 mm

Os resultados dos ensaios mecânicos da mistura asfáltica com CAP 30-45, faixa 9,5 mm, estão apresentados na **Tabela A1.89** e nas **Figuras A1.13 a A1.15**.

Tabela A1.89: Resultados dos ensaios mecânicos - CAP 30-45, Faixa 9,5 mm.

Parâmetros	Teor de ligante					
	-0,50%	-0,25%	T.Projeto N.Dutra	+0,25%	+0,50%	T.Projeto COPPE
	5,10%	5,35%	5,60%	5,85%	6,10%	5,60%
MR (MPa)	8867	8606	8239	7244	7085	7889
RT (MPa)	1,95	1,78	2,08	1,87	2,06	1,92
Creep (%)	0,173	0,221	0,152	0,225	0,282	0,208

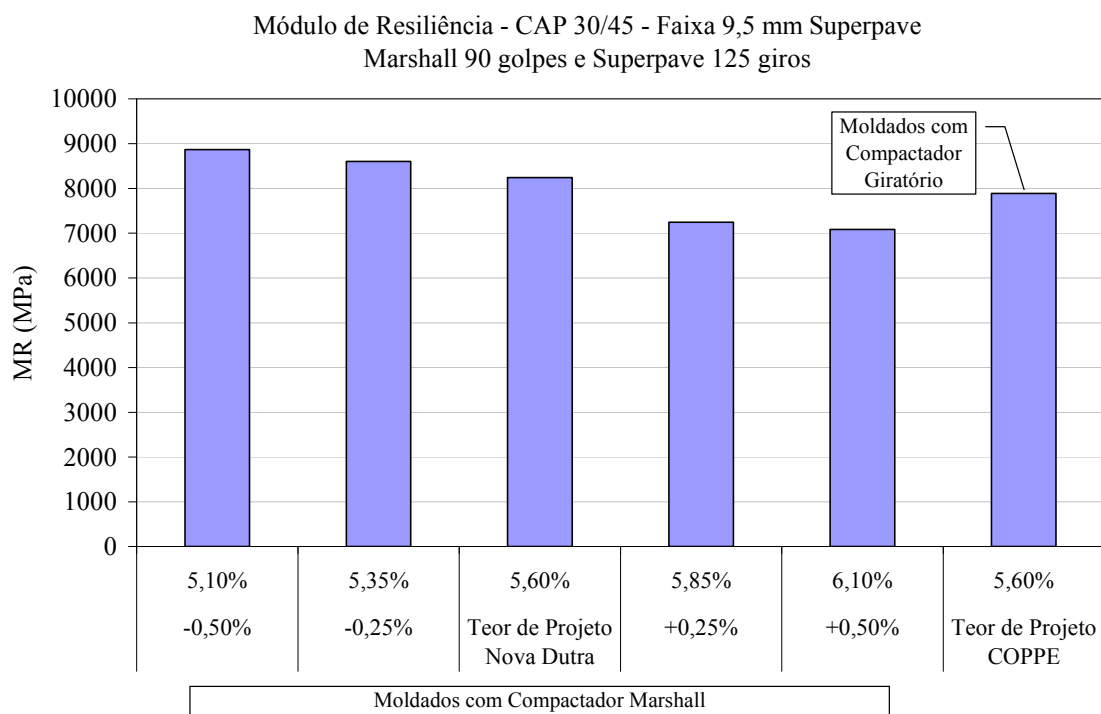


Figura A1.13: Comparação dos valores de MR para misturas com CAP 30-45, Faixa 9,5 mm.

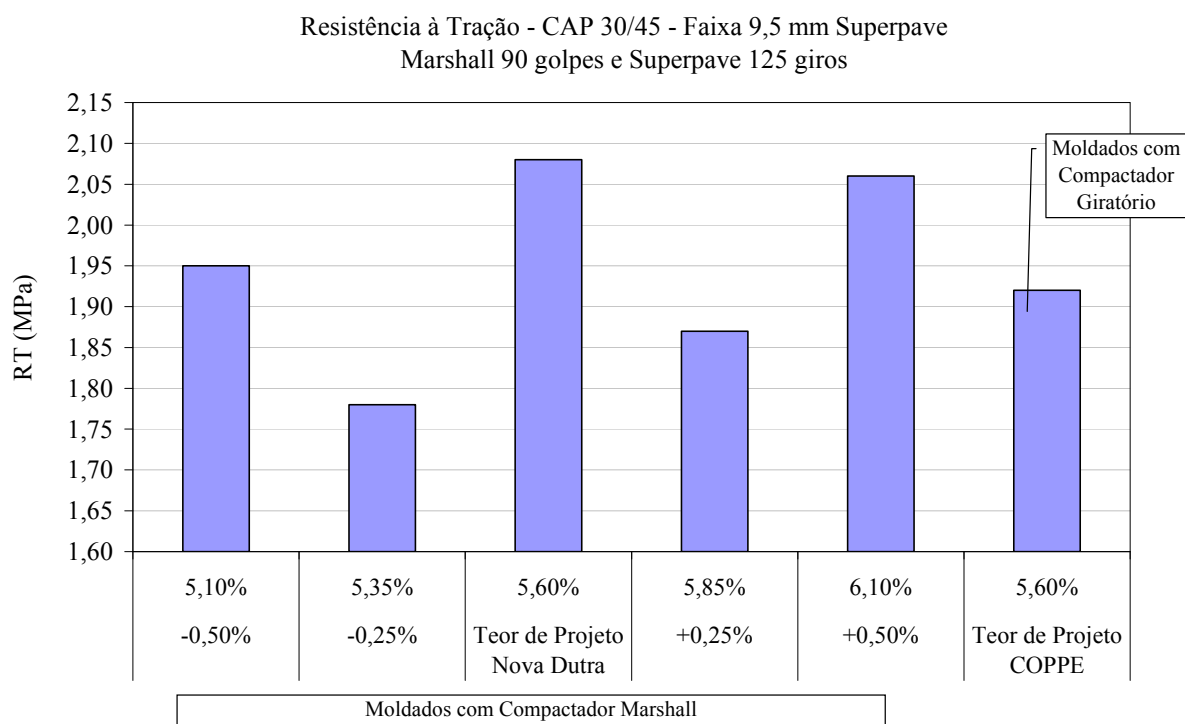


Figura A1.14: Comparação dos valores de RT para misturas com CAP 30-45, Faixa 9,5 mm.

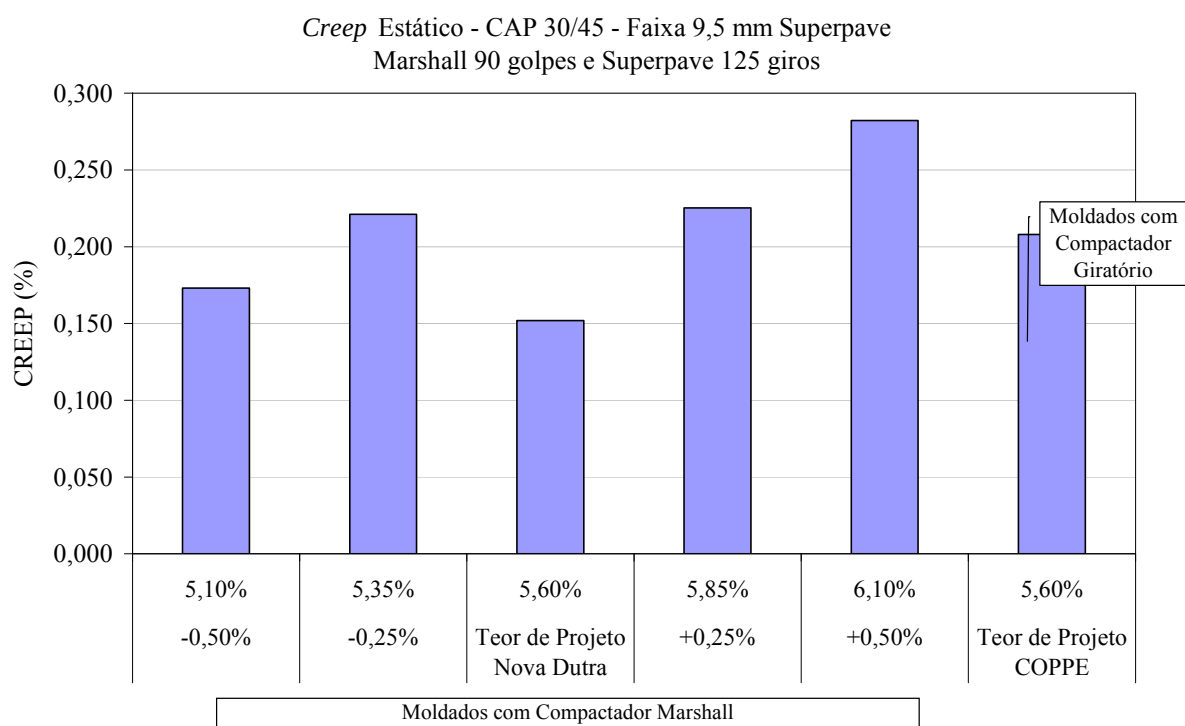


Figura A1.15: Comparação dos valores de *Creep* para misturas com CAP 30-45, Faixa 9,5 mm.

A1.3.2. CA, CAP 30-45, Faixa 12,5 mm

Os resultados dos ensaios mecânicos da mistura asfáltica com CAP 30-45, faixa 12,5 mm, estão apresentados na **Tabela A1.90** e nas **Figuras A1.16 a A1.18**.

Tabela A1.90: Resultados dos ensaios mecânicos - CAP 30-45, Faixa 12,5 mm.

Parâmetros	Teor de ligante					
	-0,50%	-0,25%	T.Projeto N.Dutra	+0,25%	+0,50%	T.Projeto COPPE
	4,40%	4,65%	4,90%	5,15%	5,40%	4,45%
MR (MPa)	11306	7481	8240	8537	8157	10318
RT (MPa)	1,67	1,74	2,10	2,01	1,84	1,71
Creep (%)	0,247	0,279	0,277	0,206	0,172	0,181

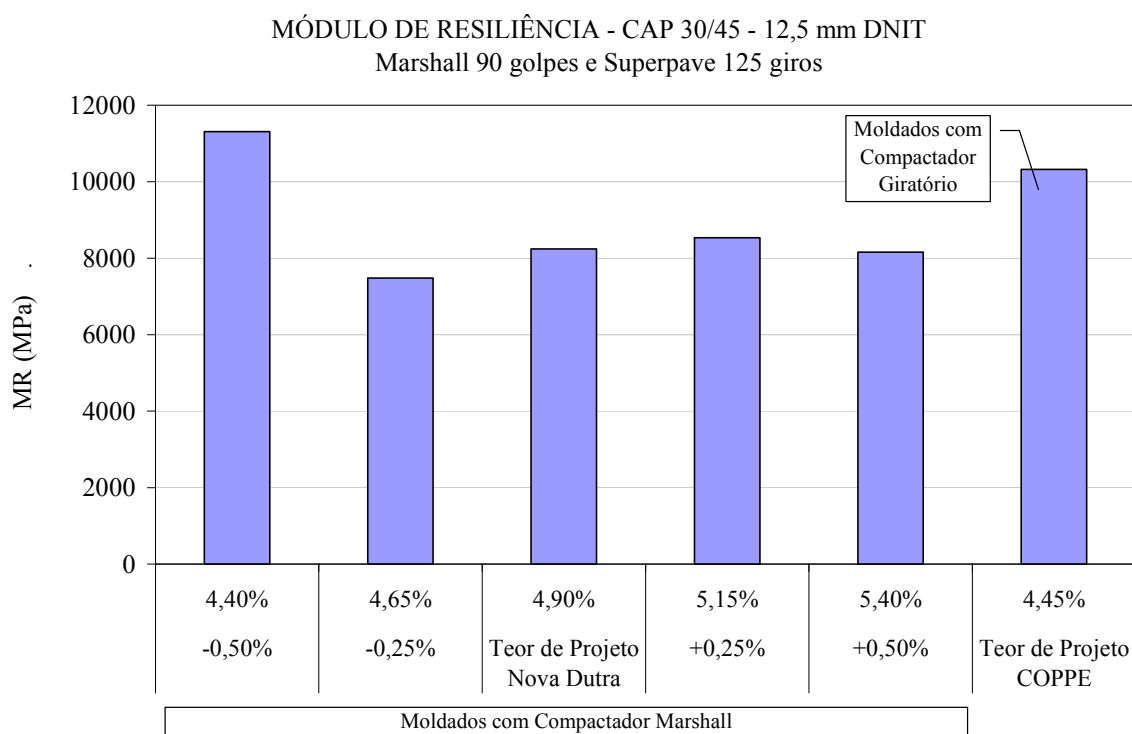


Figura A1.16: Comparação dos valores de MR para misturas com CAP 30-45, faixa 12,5 mm.

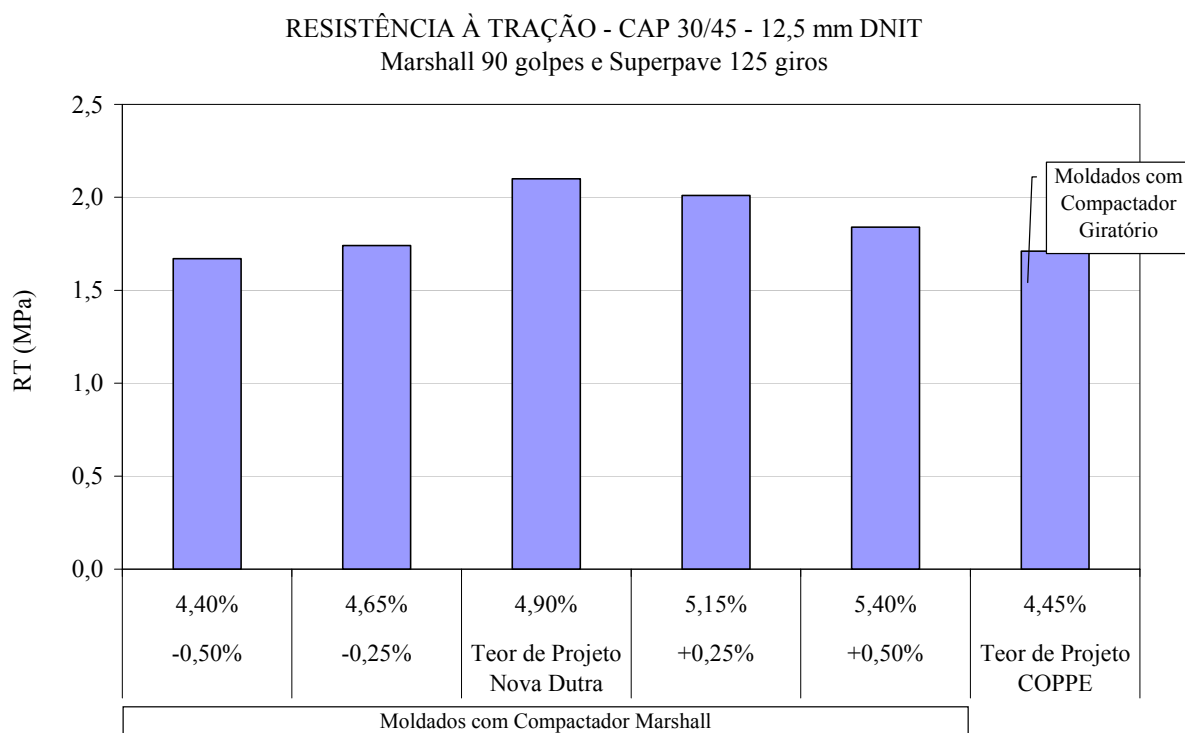


Figura A1.17: Comparação dos valores de Resistência à Tração para misturas com CAP 30-45, faixa 12,5 mm.

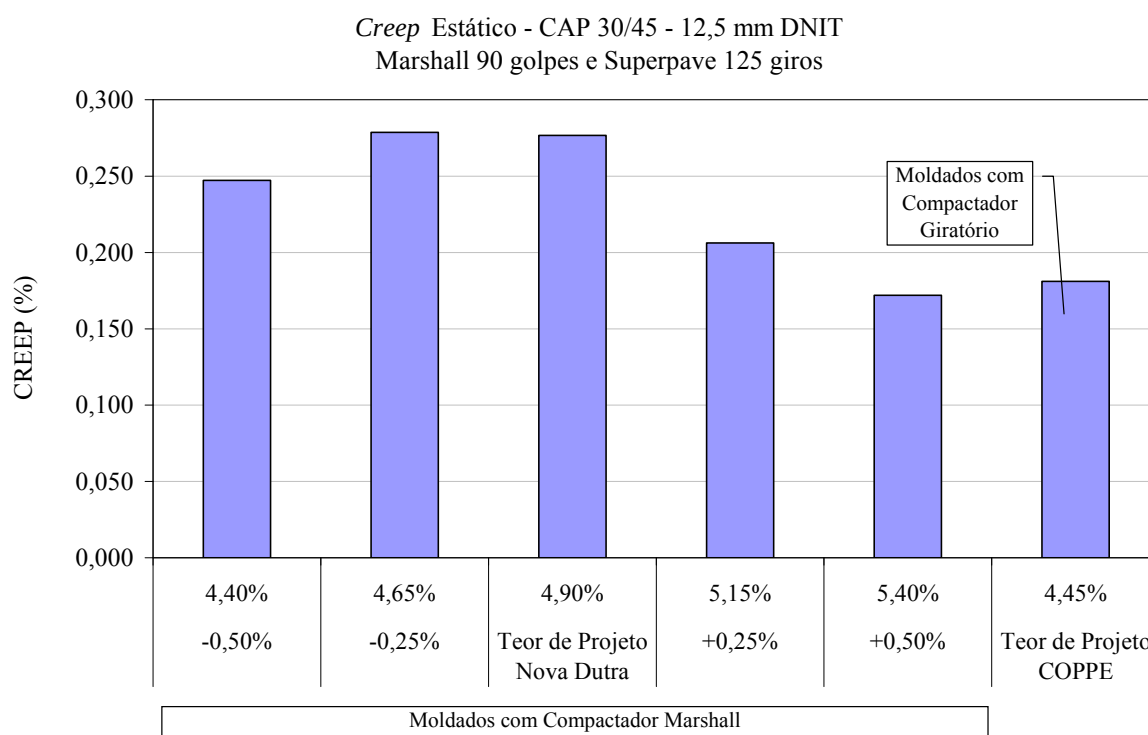


Figura A1.18: Comparação dos valores de *Creep* para misturas com CAP 30-45, faixa 12,5 mm.

A1.3.3. CA, CAP 30-45, Faixa 19,0 mm

Os resultados dos ensaios mecânicos da mistura asfáltica com CAP 30-45, faixa 19,0 mm, estão apresentados na **Tabela A1.91** e nas **Figuras A1.19 a A1.21**.

Tabela A1.91: Resultados dos ensaios mecânicos - CAP 30-45, Faixa 19,0 mm.

Parâmetros	Teor de ligante					
	-0,50%	-0,25%	T.Projeto N.Dutra	+0,25%	+0,50%	T.Projeto COPPE
	4,10%	4,35%	4,60%	4,85%	5,10%	4,60%
MR (MPa)	9526	9763	9117	8558	8092	10084
RT (MPa)	1,81	1,69	1,98	1,78	1,91	1,83
Creep (%)	0,182	0,242	0,232	0,282	0,268	0,093

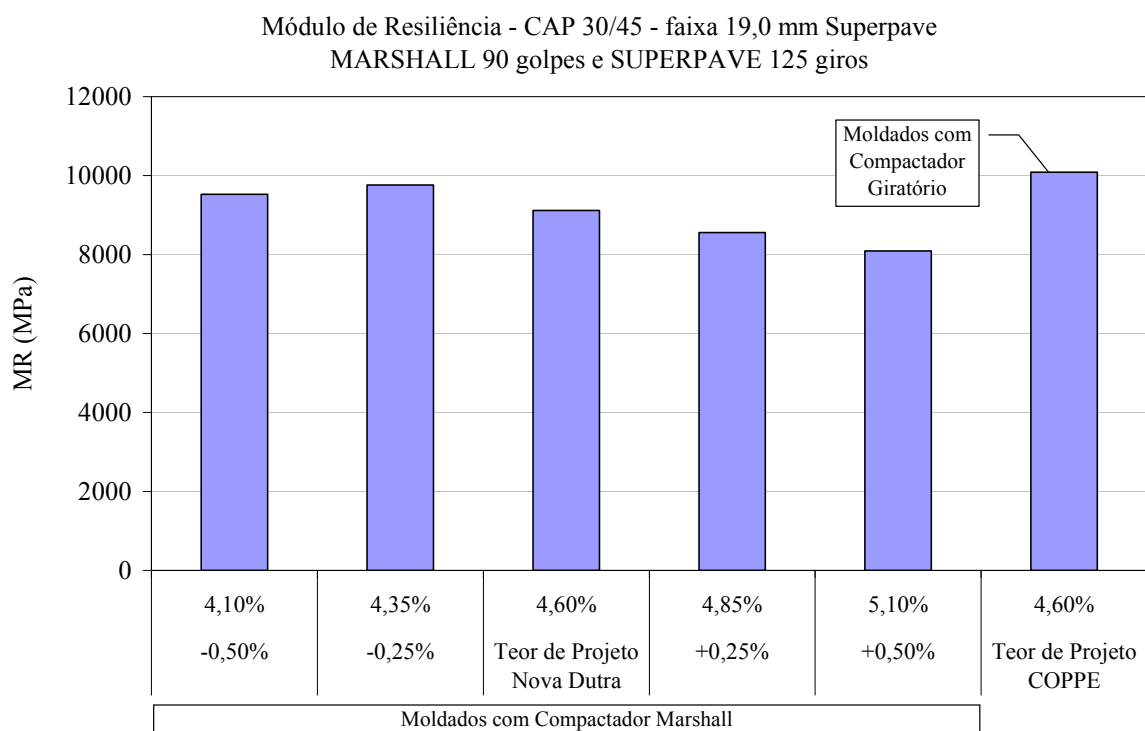


Figura A1.19: Comparação dos valores de MR para misturas com CAP 30-45, faixa 19,0 mm.

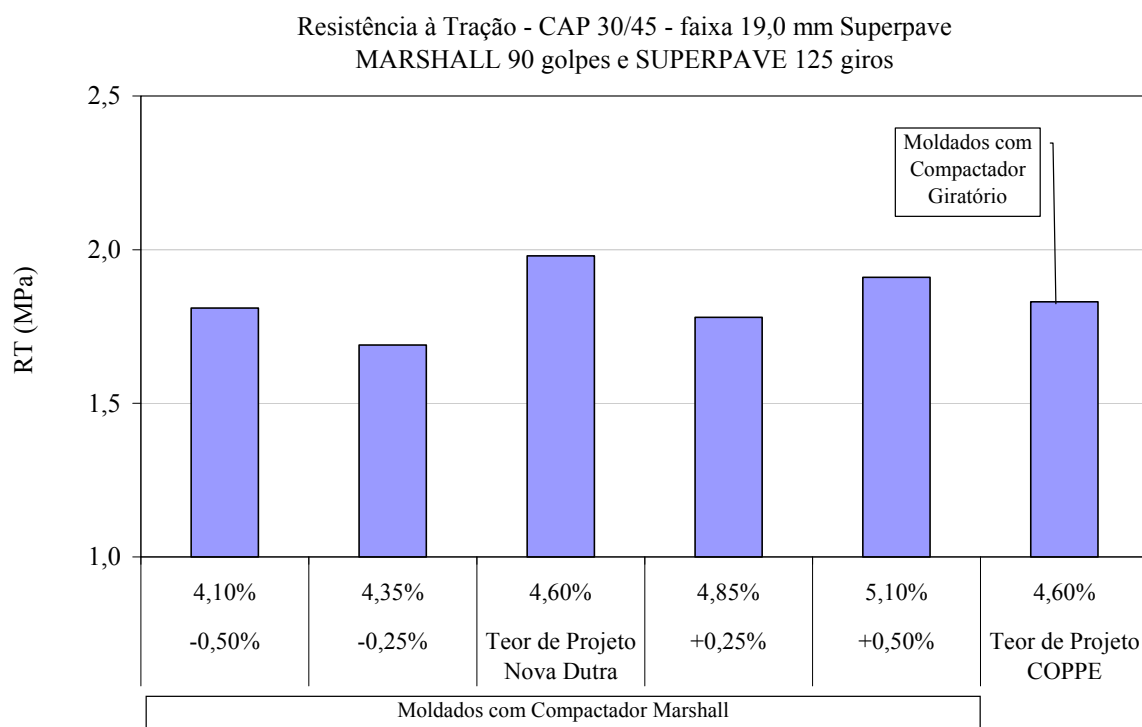


Figura A1.20: Comparação dos valores de RT para misturas com CAP 30-45, faixa 19,0 mm.

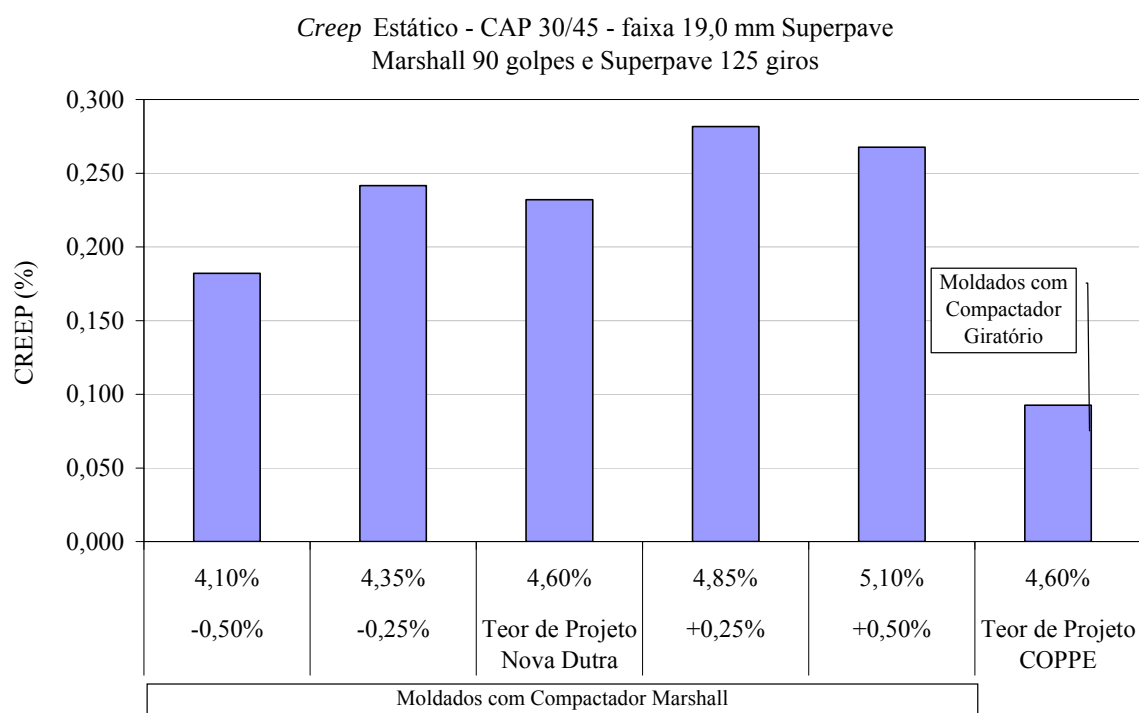


Figura A1.21: Comparação dos valores de *Creep* para misturas com CAP 30-45, faixa 19,0 mm.

A1.3.4. CA, CAP 50-70, Faixa 9,5 mm

Os resultados dos ensaios mecânicos da mistura asfáltica com CAP 50-70, faixa 9,5 mm, estão apresentados na **Tabela A1.92** e nas **Figuras A1.22 a A1.24**.

Tabela A1.92: Resultados dos ensaios mecânicos - CAP 50-70, Faixa 9,5 mm.

Parâmetros	Teor de ligante					
	-0,50%	-0,25%	T.Projeto N.Dutra	+0,25%	+0,50%	T.Projeto COPPE
	4,30%	4,55%	4,80%	5,05%	5,30%	5,10%
MR (MPa)	6103	7755	7062	7721	6714	7062
RT (MPa)	1,46	1,63	1,78	1,91	1,77	1,78
Creep (%)	0,196	0,206	0,208	0,305	0,192	0,208

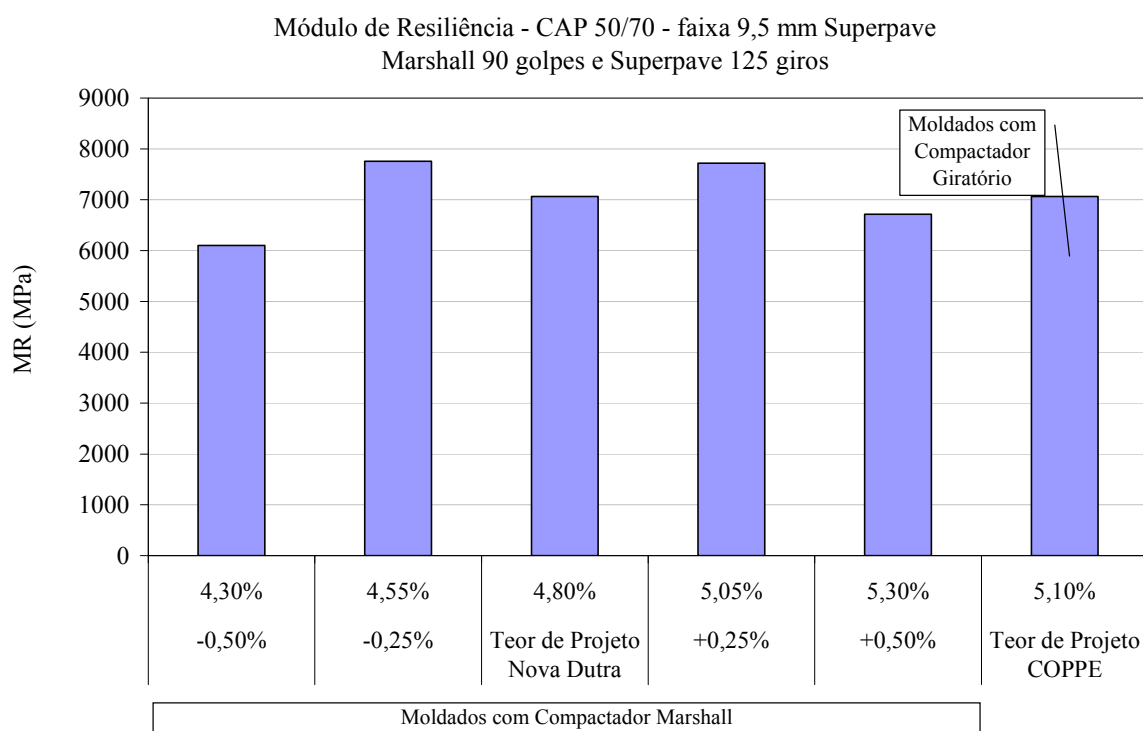


Figura A1.22: Comparação dos valores de MR para misturas com CAP 50-70, faixa 9,5 mm.

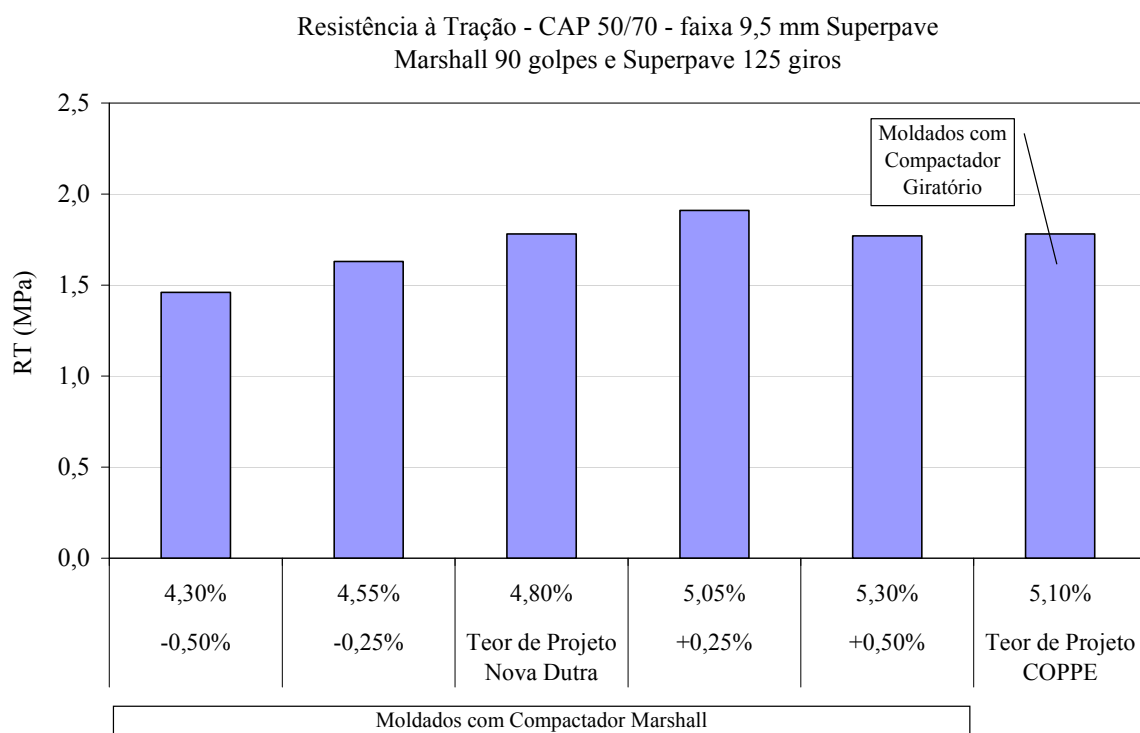


Figura A1.23: Comparação dos valores de RT para misturas com CAP 50-70, faixa 9,5 mm.

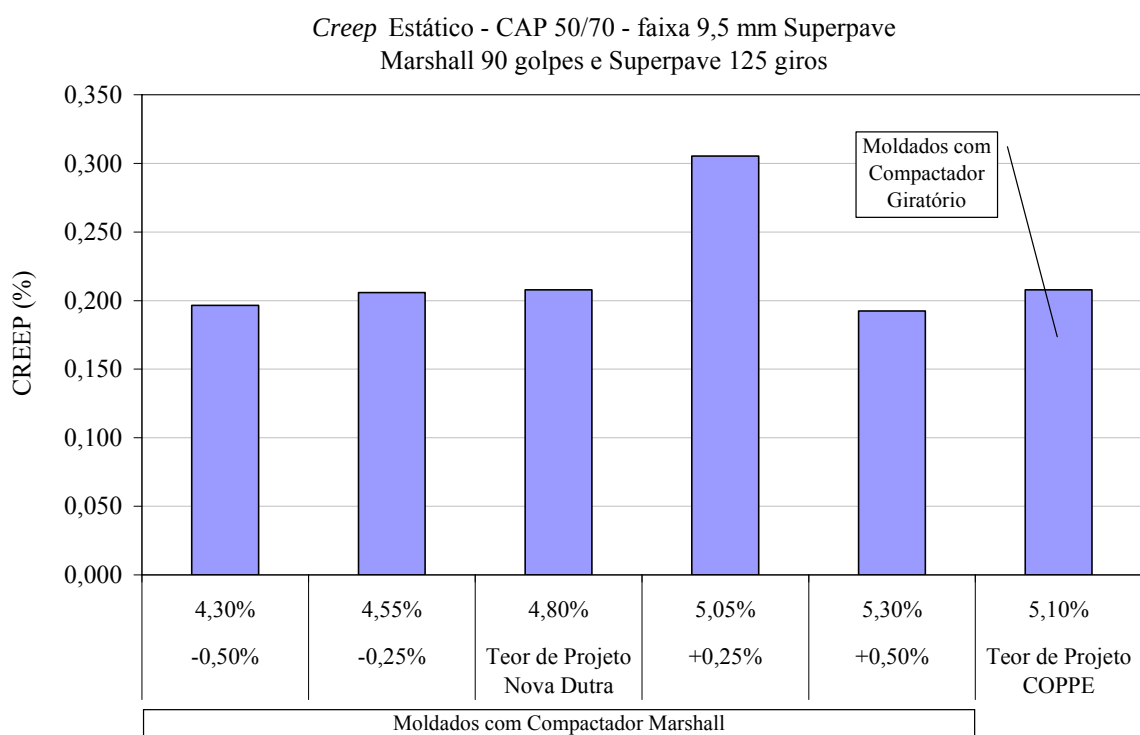


Figura A1.24: Comparação dos valores de *Creep* para misturas com CAP 50-70, faixa 9,5 mm.

A1.3.5. CA, CAP 50-70, Faixa 12,5 mm

Os resultados dos ensaios mecânicos da mistura asfáltica com CAP 50-70, faixa 12,5 mm, estão apresentados na **Tabela A1.93** e nas **Figuras A1.25 a A1.27**.

Tabela A1.93: Resultados dos ensaios mecânicos - CAP 50-70, Faixa 12,5 mm.

Parâmetros	Teor de ligante					
	-0,50%	-0,25%	T.Projeto N.Dutra	+0,25%	+0,50%	T.Projeto COPPE
	3,70%	3,95%	4,20%	4,45%	4,70%	4,20%
MR (MPa)	6873	7337	6945	7354	8038	7418
RT (MPa)	1,53	1,49	1,67	1,67	1,78	1,64
Creep (%)	0,191	0,227	0,118	0,164	0,213	0,167

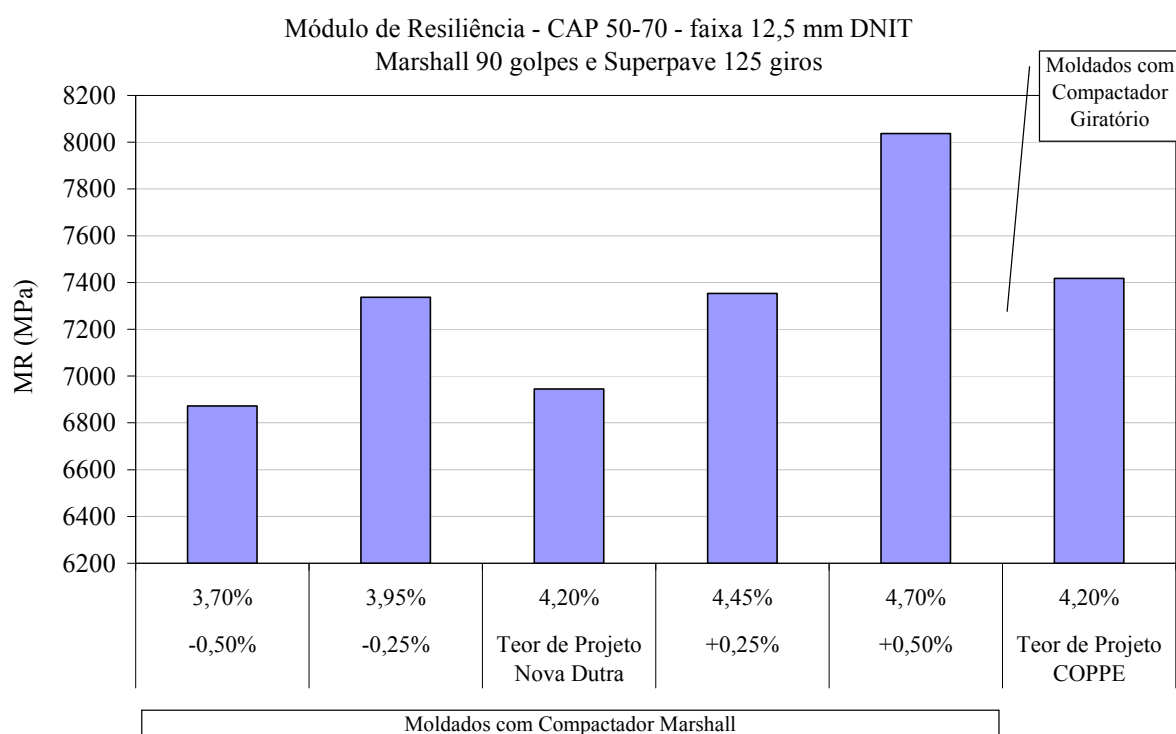


Figura A1.25: Comparação dos valores de MR para misturas com CAP 50-70, faixa 12,5 mm.

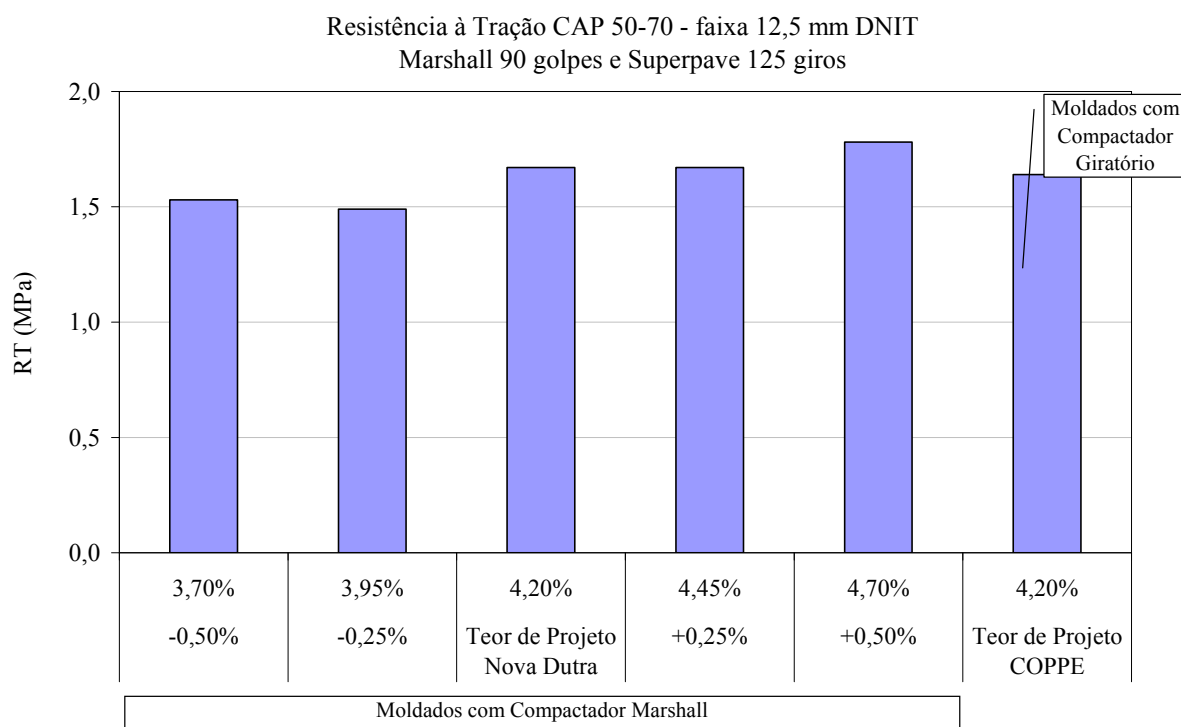


Figura A1.26: Comparação dos valores de RT para misturas com CAP 50-70, faixa 12,5 mm.

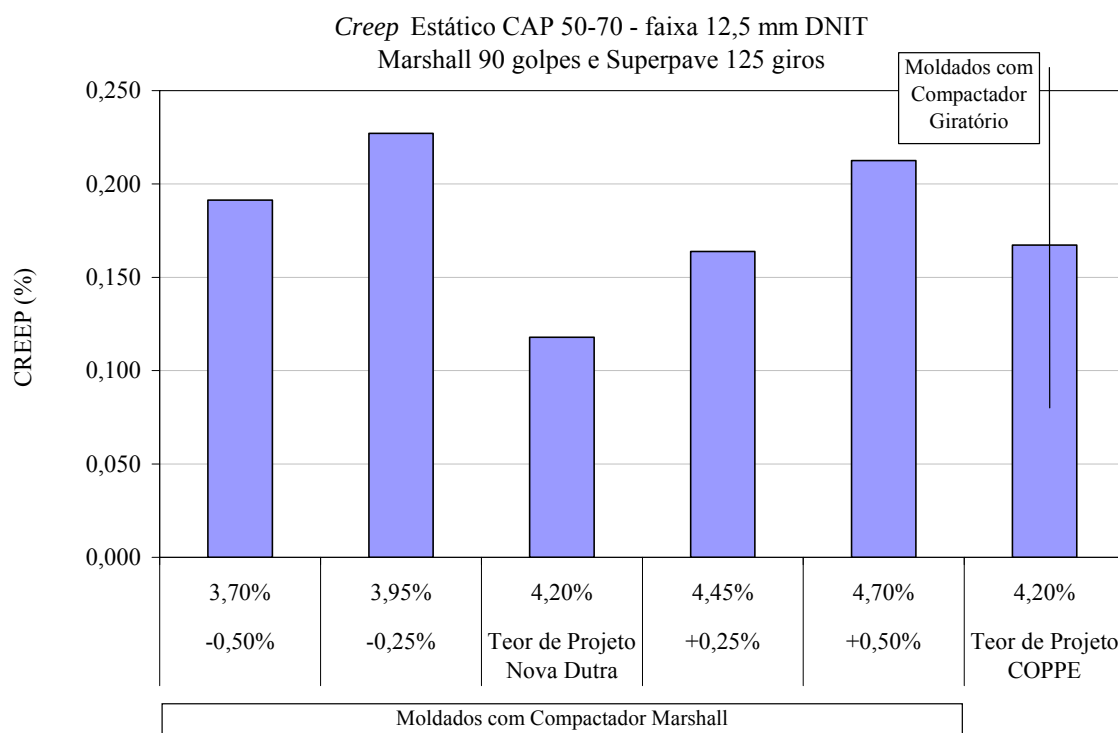


Figura A1.27: Comparação dos valores de *Creep* para misturas com CAP 50-70, granulometria 12,5 mm.

A1.3.6. CA, CAP 50-70, Faixa 19,0 mm

Os resultados dos ensaios mecânicos da mistura asfáltica com CAP 50-70, faixa 19,0 mm, estão apresentados na **Tabela A1.94** e nas **Figuras A1.28 a A1.30**.

Tabela A1.94: Resultados dos ensaios mecânicos - CAP 50-70, Faixa 19,0 mm.

Parâmetros	Teor de ligante					
	-0,50%	-0,25%	T.Projeto N.Dutra	+0,25%	+0,50%	T.Projeto COPPE
	4,00%	4,25%	4,50%	4,75%	5,00%	4,50%
MR (MPa)	6924	7925	7607	6209	7308	11583
RT (MPa)	1,27	1,32	1,30	1,22	1,24	1,70
Creep (%)	0,224	0,165	0,193	0,108	0,125	0,100

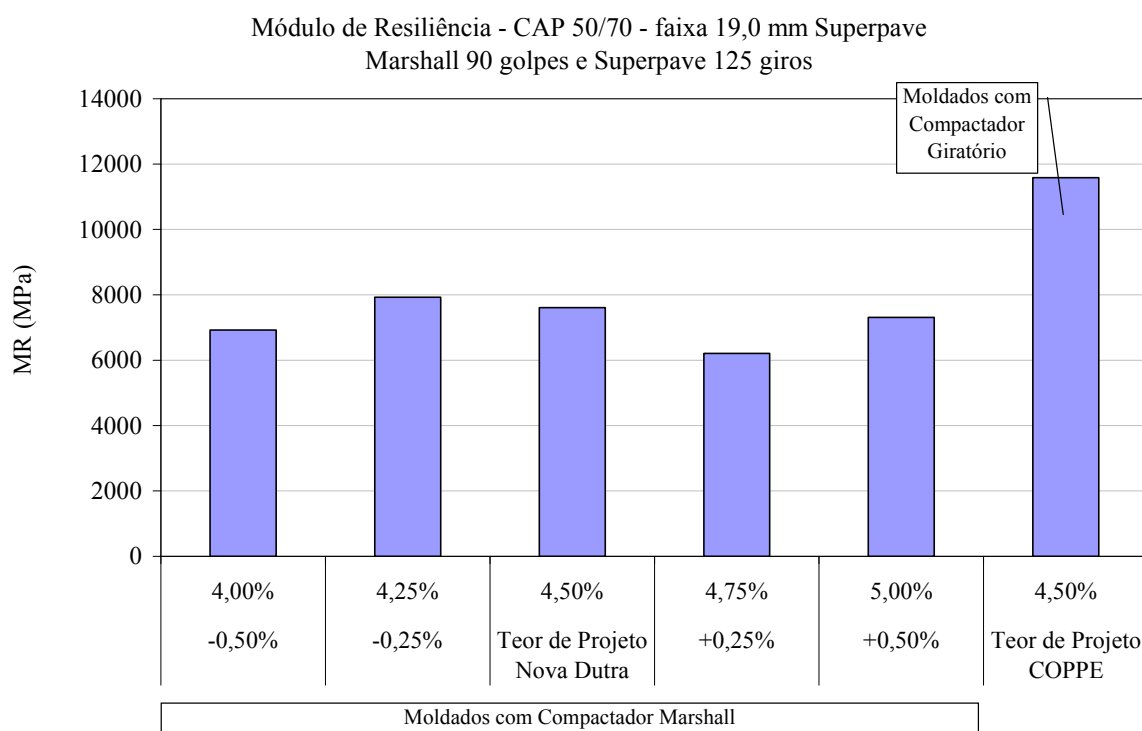


Figura A1.28: Comparação dos valores de MR para misturas com CAP 50-70, granulometria 19,0 mm.

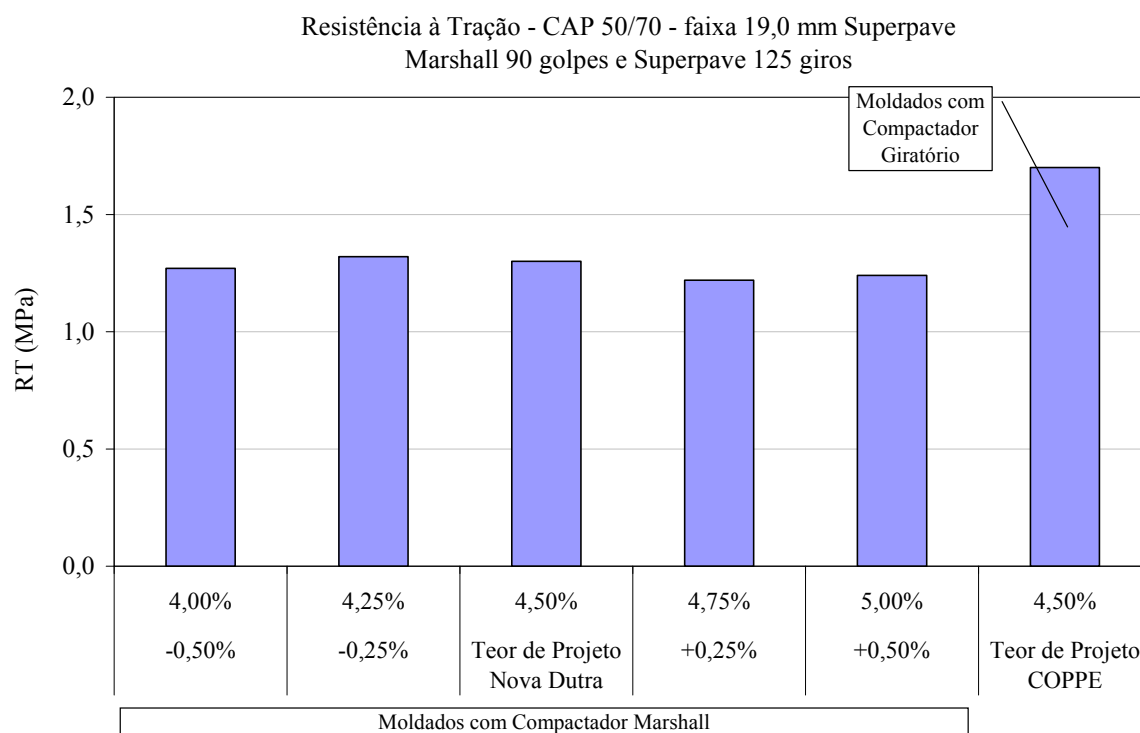


Figura A1.29: Comparação dos valores de RT para misturas com CAP 50-70, faixa 19,0 mm.

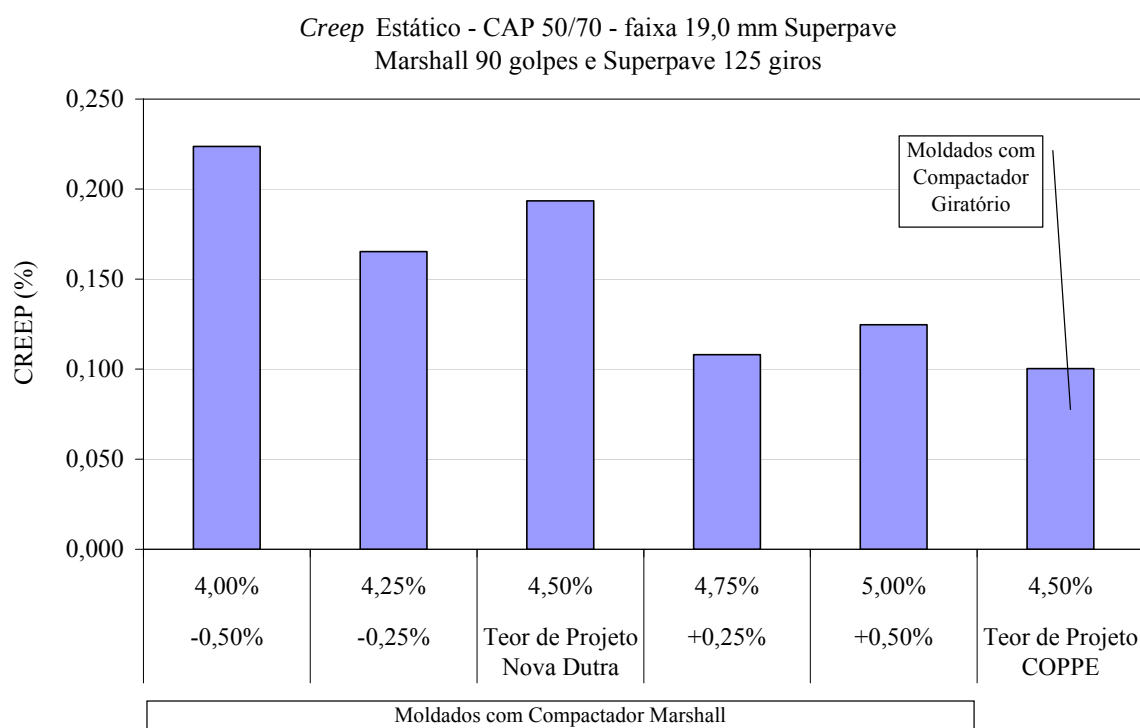


Figura A1.30: Comparação dos valores de Creep para misturas com CAP 50-70, granulometria 19,0 mm.

A1.3.7. CA, CAP SBS, Faixa 9,5 mm

Os resultados dos ensaios mecânicos da mistura asfáltica com CAP SBS, faixa 9,5 mm, estão apresentados na **Tabela A1.95** e nas **Figuras A1.31 a A1.33**.

Tabela A1.95: Resultados dos ensaios mecânicos - CAP SBS, Faixa 9,5 mm.

Parâmetros	Teor de ligante					
	-0,50%	-0,25%	T.Projeto N.Dutra	+0,25%	+0,50%	T.Projeto COPPE
	4,70%	4,95%	5,20%	5,45%	5,70%	5,20%
MR (MPa)	4699	5505	4539	4487	3895	3897
RT (MPa)	1,57	1,79	1,62	1,37	1,6	1,39
Creep (%)	0,178	0,068	0,197	0,169	0,148	0,081

Módulo de Resiliência - SBS - Faixa 9,5 mm Superpave
Marshall 90 golpes e Superpave 125 giros

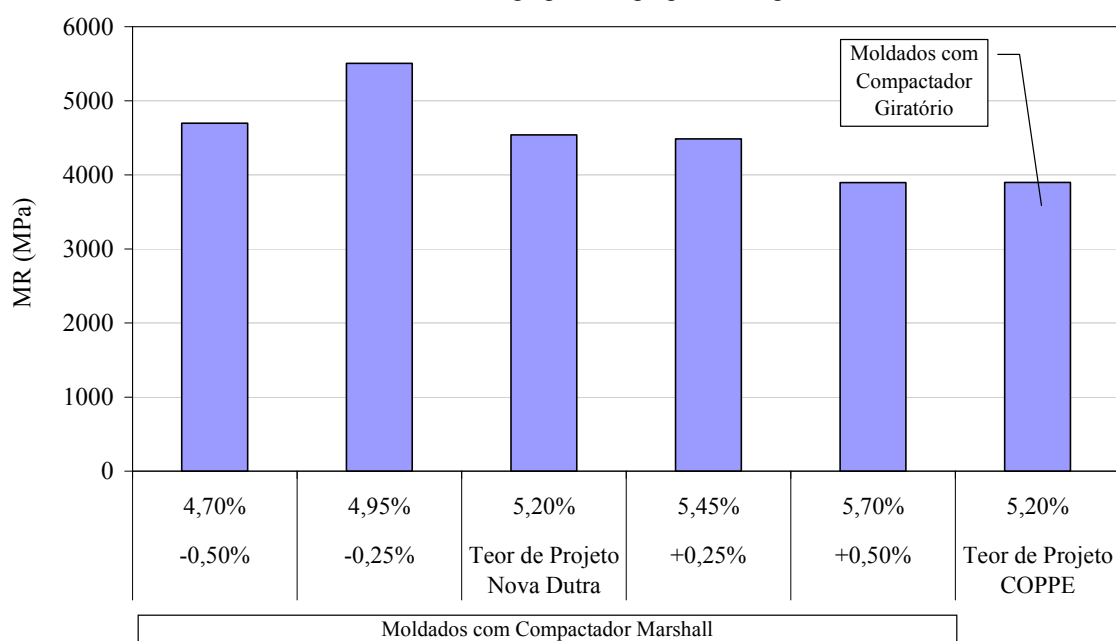


Figura A1.31: Comparação dos valores de MR para misturas com CAP SBS, granulometria 9,5 mm.

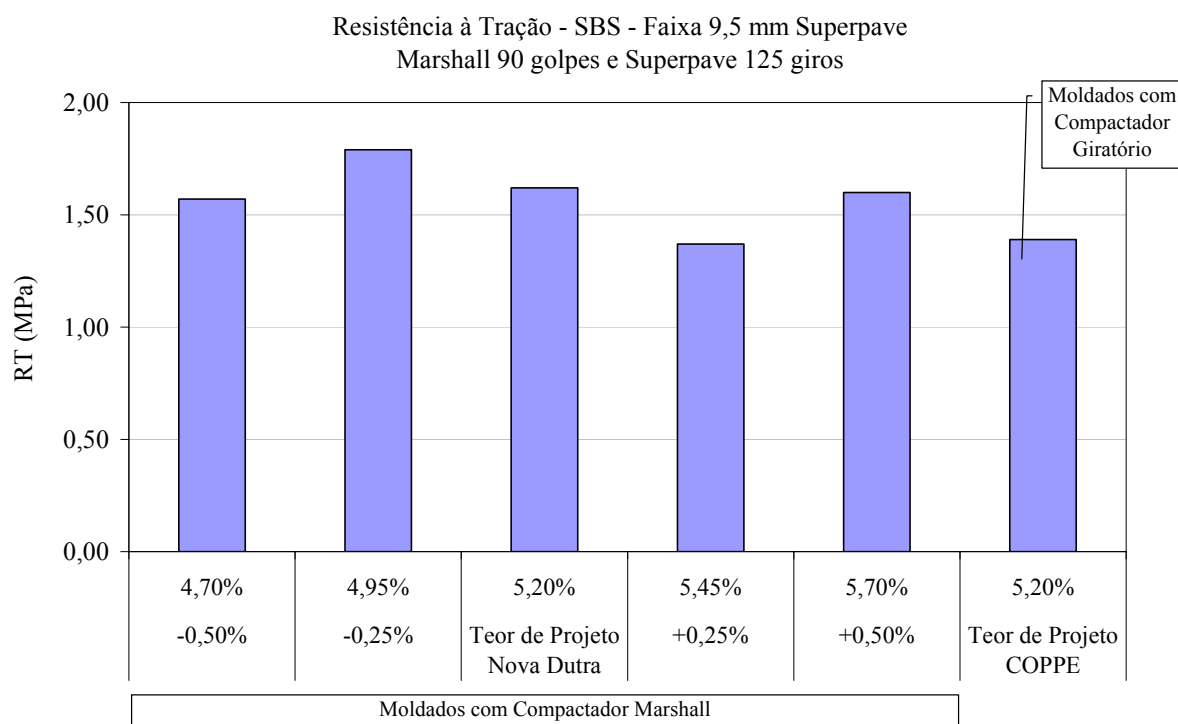


Figura A1.32: Comparação dos valores de RT para misturas com CAP SBS, faixa 9,5 mm.

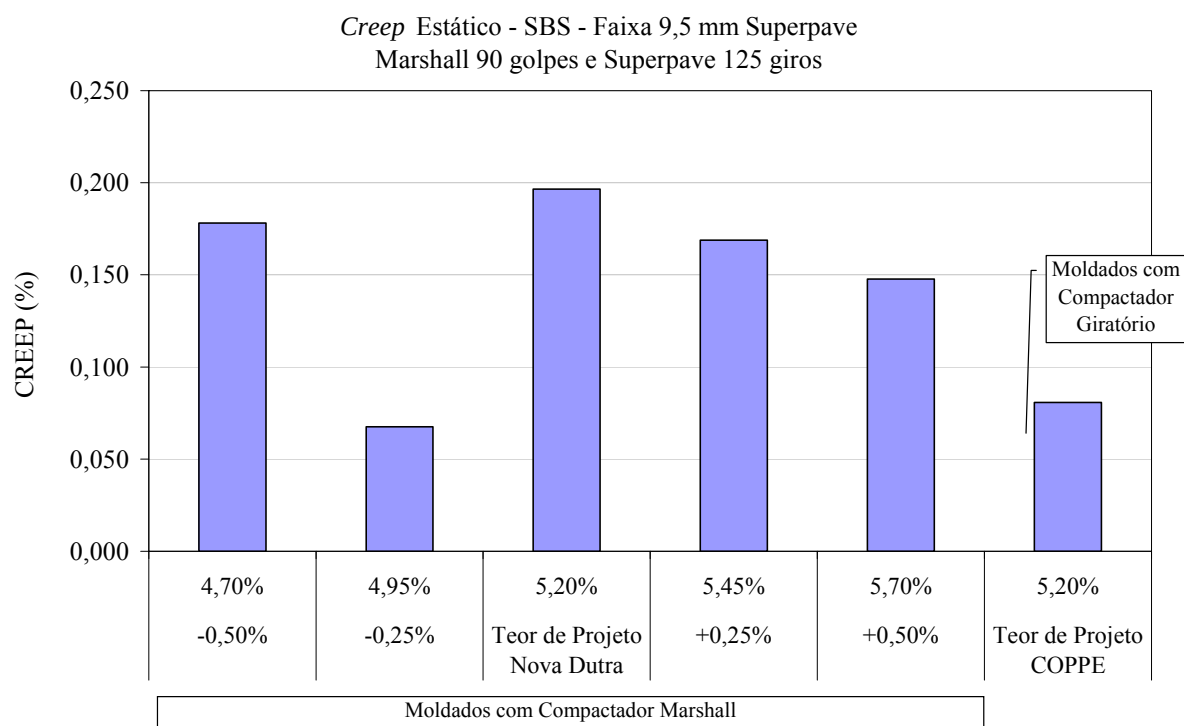


Figura A1.33: Comparação dos valores de *Creep* para misturas com CAP SBS, faixa 9,5 mm.

A1.3.8. CA, CAP SBS, Faixa 12,5 mm

Os resultados dos ensaios mecânicos da mistura asfáltica com CAP SBS, faixa 12,5 mm, estão apresentados na **Tabela A1.96** e nas **Figuras A1.34 a A1.36**.

Tabela A1.96: Resultados dos ensaios mecânicos - CAP SBS, Faixa 12,5 mm.

Parâmetros	Teor de ligante					
	-0,50%	-0,25%	T.Projeto N.Dutra	+0,25%	+0,50%	T.Projeto COPPE
	4,20%	4,45%	4,70%	4,95%	5,20%	4,70%
MR (MPa)	4939	5193	5213	5428	4764	3910
RT (MPa)	1,45	1,55	1,46	1,56	1,51	1,36
Creep (%)	0,176	0,121	0,160	0,207	0,248	0,061

Módulo de Resiliência - SBS - Faixa 12,5 mm Superpave
Marshall 90 golpes e Superpave 125 giros

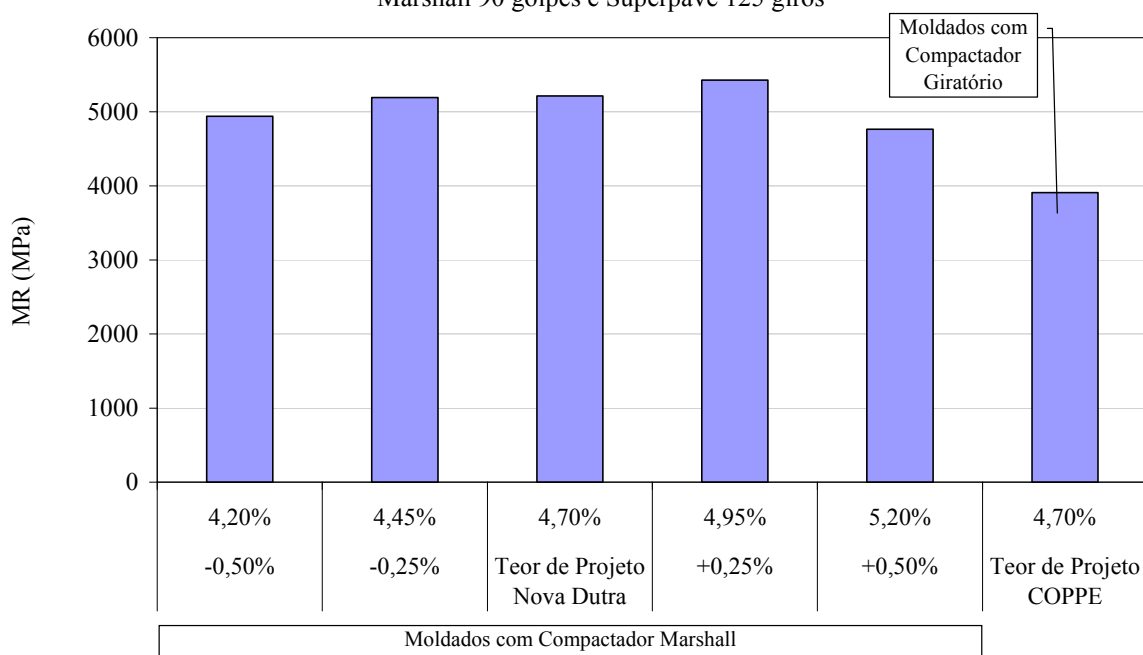


Figura A1.34: Comparação dos valores de MR para misturas com CAP SBS, faixa 12,5 mm.

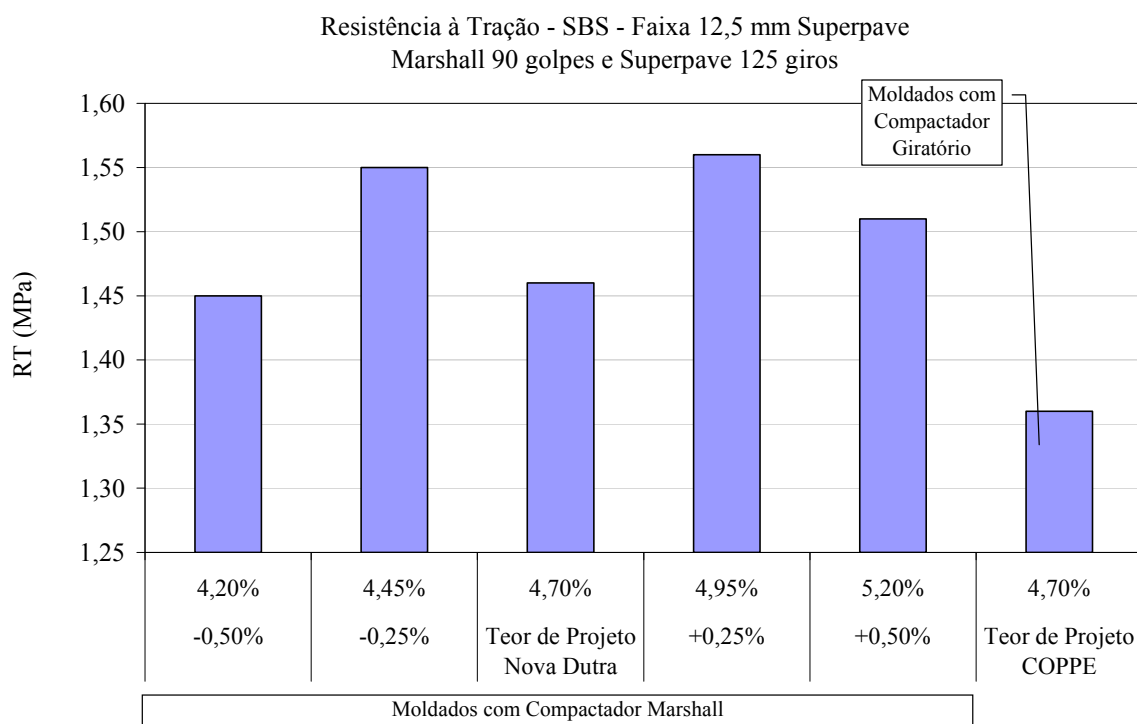


Figura A1.35: Comparação dos valores de RT para misturas com CAP SBS, faixa 12,5 mm.

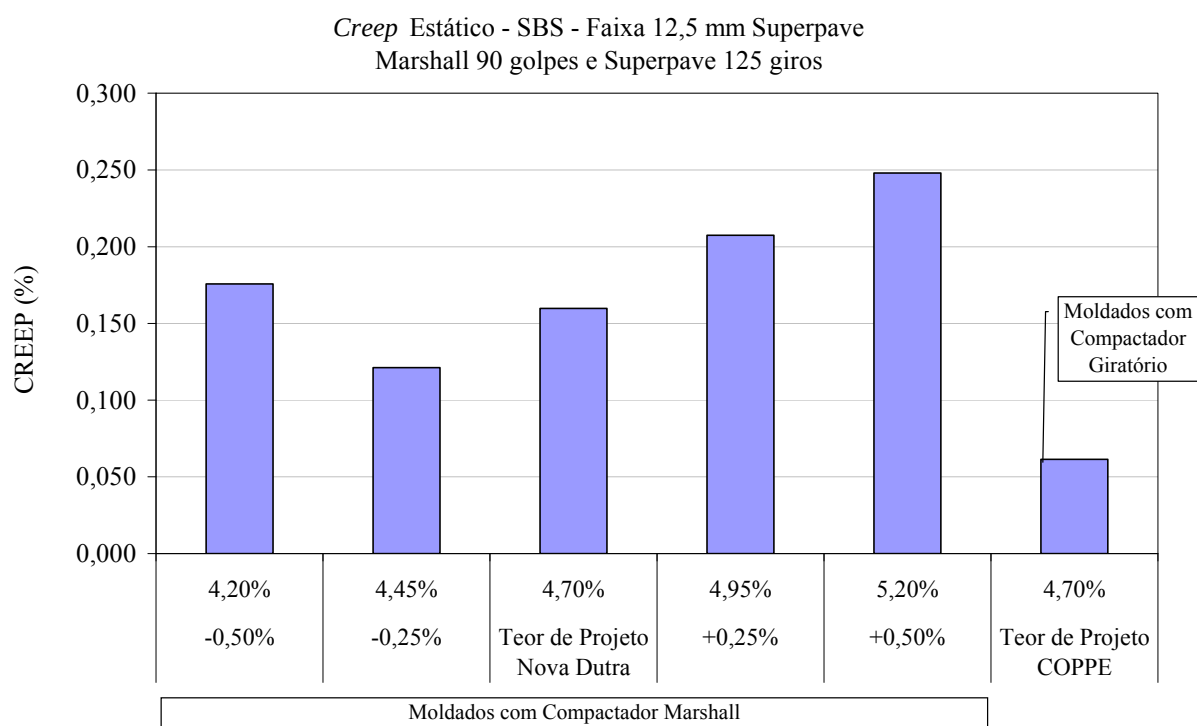


Figura A1.36: Comparação dos valores de *Creep* para misturas com CAP SBS, faixa 12,5 mm.

A1.3.9. CA, CAP SBS, Faixa 19,0 mm

Os resultados dos ensaios mecânicos da mistura asfáltica com CAP SBS, faixa 19,0 mm, estão apresentados na **Tabela A1.97** e nas Figuras **Figuras A1.37 a A1.39**.

Tabela A1.97: Resultados dos ensaios mecânicos - CAP SBS, Faixa 19,0 mm.

Parâmetros	Teor de ligante					
	-0,50%	-0,25%	T.Projeto N.Dutra	+0,25%	+0,50%	T.Projeto COPPE
	3,60%	3,85%	4,10%	4,35%	4,60%	4,10%
MR (MPa)	6015	5063	5467	5225	4673	5476
RT (MPa)	1,29	1,42	1,58	1,60	1,56	1,54
Creep (%)	0,131	0,130	0,118	0,118	0,135	0,074

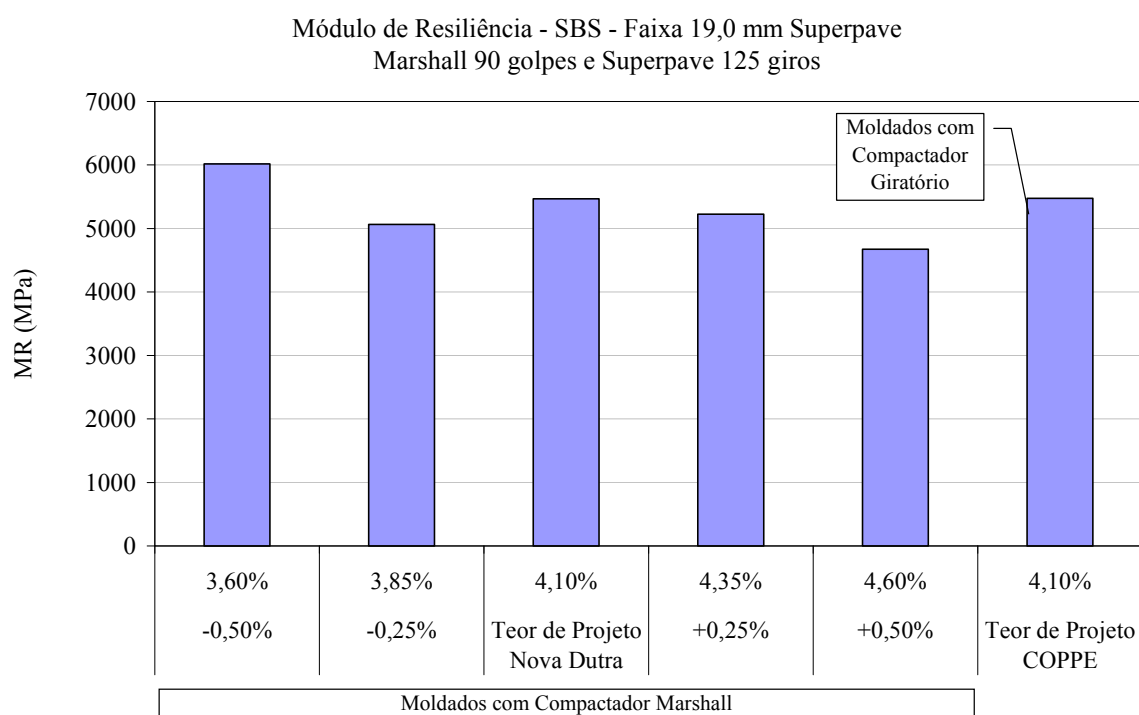


Figura A1.37: Comparação dos valores de MR para misturas com CAP SBS, faixa 19,0 mm.

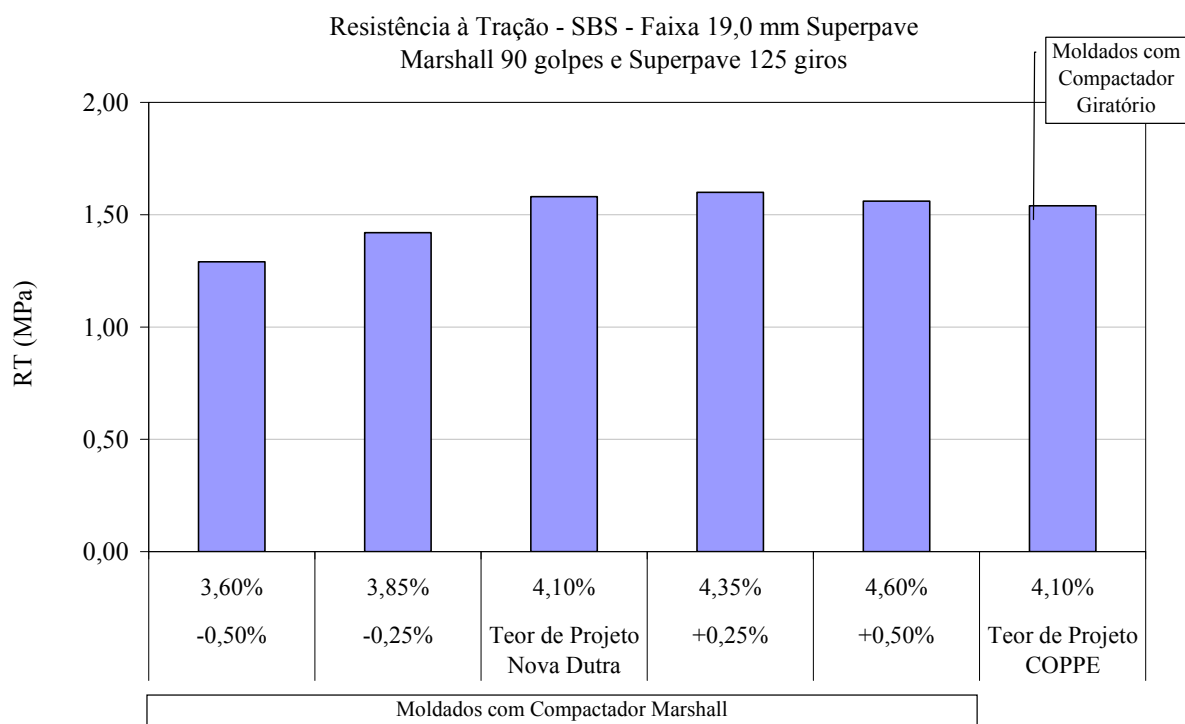


Figura A1.38: Comparação dos valores de RT para misturas com CAP SBS, faixa 19,0 mm.

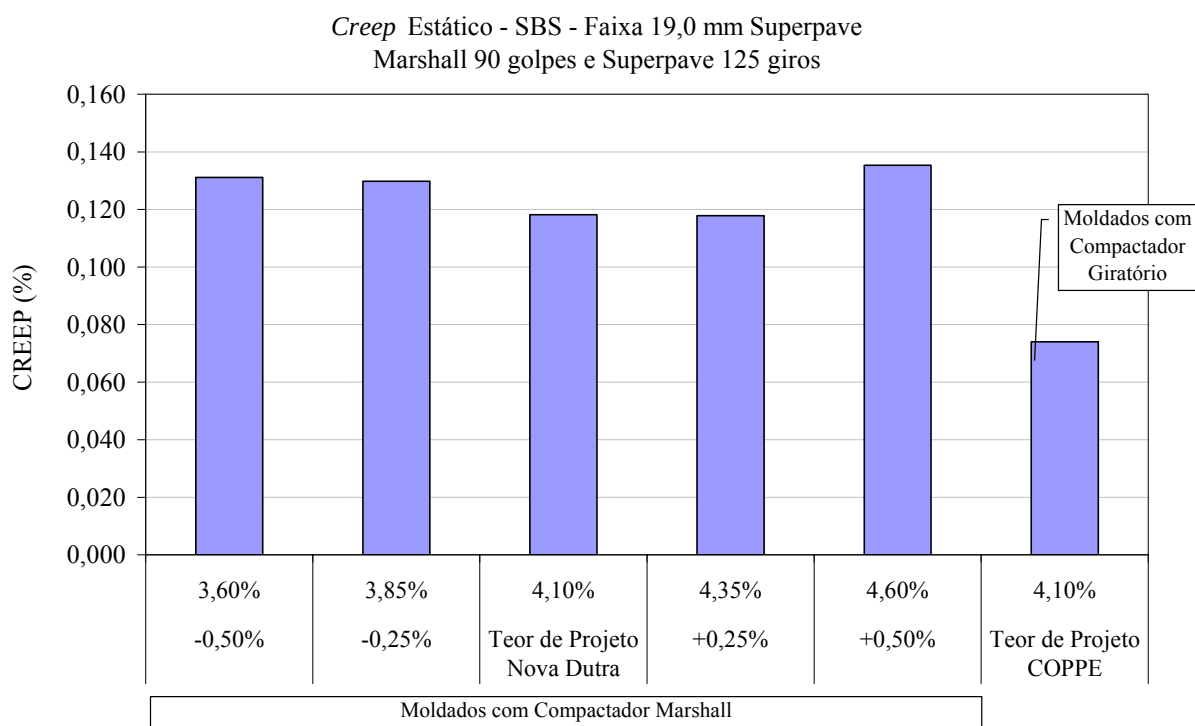


Figura A1.39: Comparação dos valores de *Creep* para misturas com CAP SBS, faixa 19,0 mm.

A1.3.10. CA, ECOFLEX B, Faixa 9,5 mm

Os resultados dos ensaios mecânicos da mistura asfáltica com ECOFLEX B, Faixa 9,5 mm, estão apresentados na **Tabela A1.98** e nas **Figuras A1.40 a A1.42**.

Tabela A1.98: Resultados dos ensaios mecânicos - ECOFLEX B, Faixa 9,5 mm.

Parâmetros	Teor de ligante					
	-0,50%	-0,25%	T.Projeto N.Dutra	+0,25%	+0,50%	T.Projeto COPPE
	5,40%	5,65%	5,90%	6,15%	6,40%	5,90%
MR (MPa)	5115	5979	4934	4798	4937	4764
RT (MPa)	1,16	1,41	1,36	1,42	1,40	1,47
Creep (%)	0,225	0,132	0,219	0,190	0,230	0,155

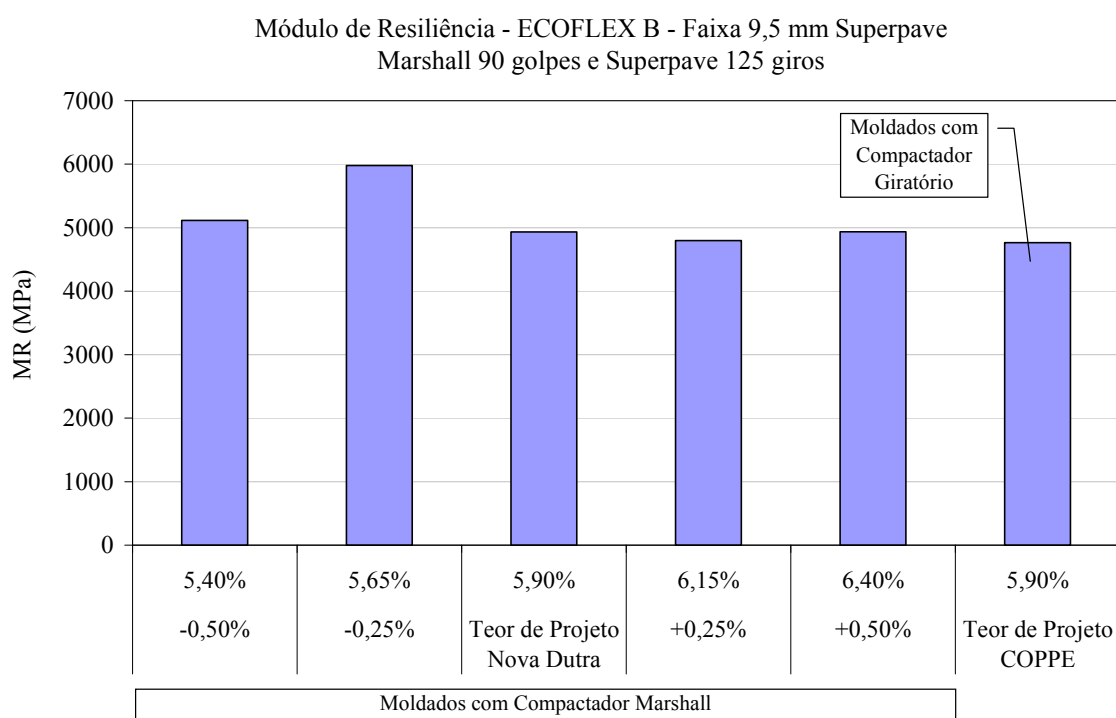


Figura A1.40: Comparação dos valores de MR para misturas com ECOFLEX B, faixa 9,5 mm.

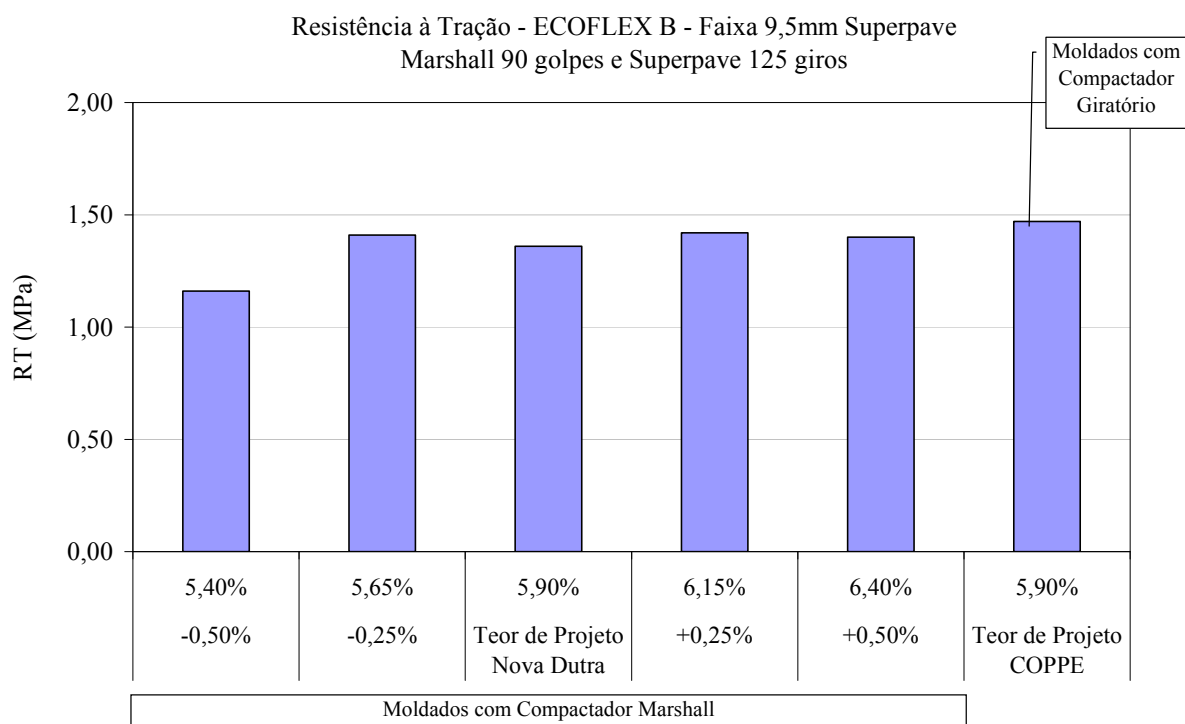


Figura A1.41: Comparação dos valores de RT para misturas com ECOFLEX B, faixa 9,5 mm.

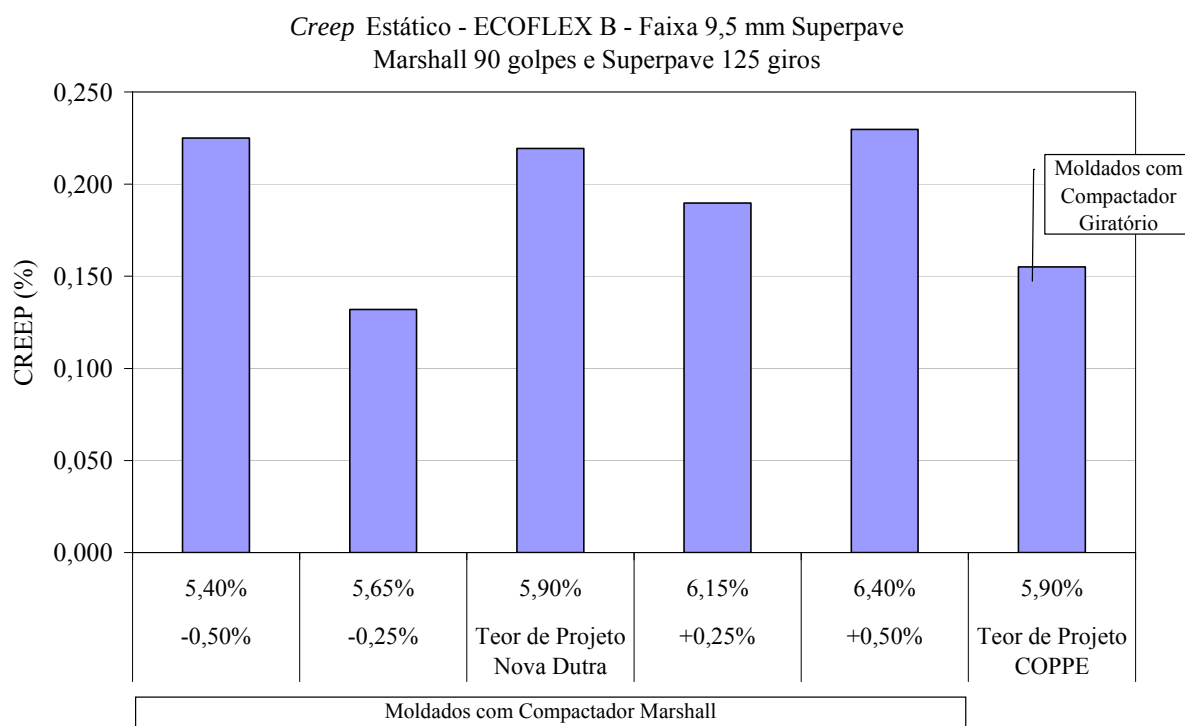


Figura A1.42: Comparação dos valores de *Creep* para misturas com ECOFLEX B, faixa 9,5 mm.

A1.3.11. CA, ECOFLEX B, Faixa 12,5 mm

Os resultados dos ensaios mecânicos da mistura asfáltica com ECOFLEX B, Faixa 12,5 mm, estão apresentados na **Tabela A1.99** e nas **Figuras A1.43 a A1.45**.

Tabela A1.99: Resultados dos ensaios mecânicos - ECOFLEX B, Faixa 12,5 mm.

Parâmetros	Teor de ligante					
	-0,50%	-0,25%	T.Projeto N.Dutra	+0,25%	+0,50%	T.Projeto COPPE
	4,80%	5,05%	5,30%	5,55%	5,80%	5,30%
MR (MPa)	4095	4937	4585	4982	4160	4547
RT (MPa)	1,1	1,33	1,44	1,5	1,48	1,53
Creep (%)	0,103	0,148	0,149	0,082	0,133	0,085

Módulo de Resiliência - ECOFLEX B - Faixa 12,5 mm DNIT
Marshall 90 golpes e Superpave 125 giros

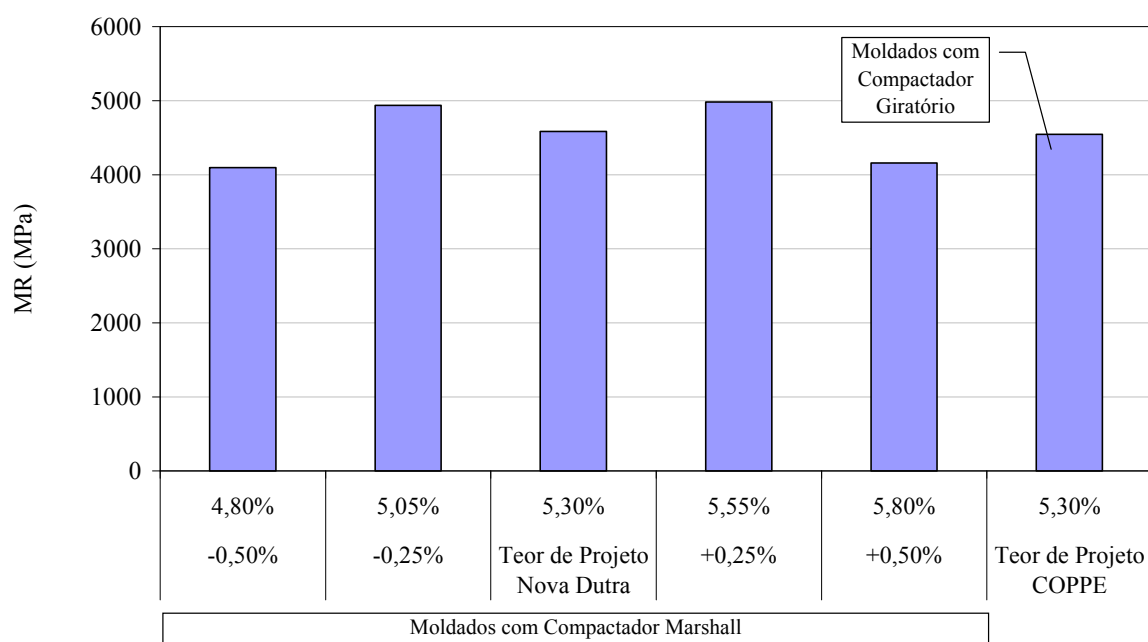


Figura A1.43: Comparação dos valores de MR para misturas com ECOFLEX B, faixa 12,5 mm.

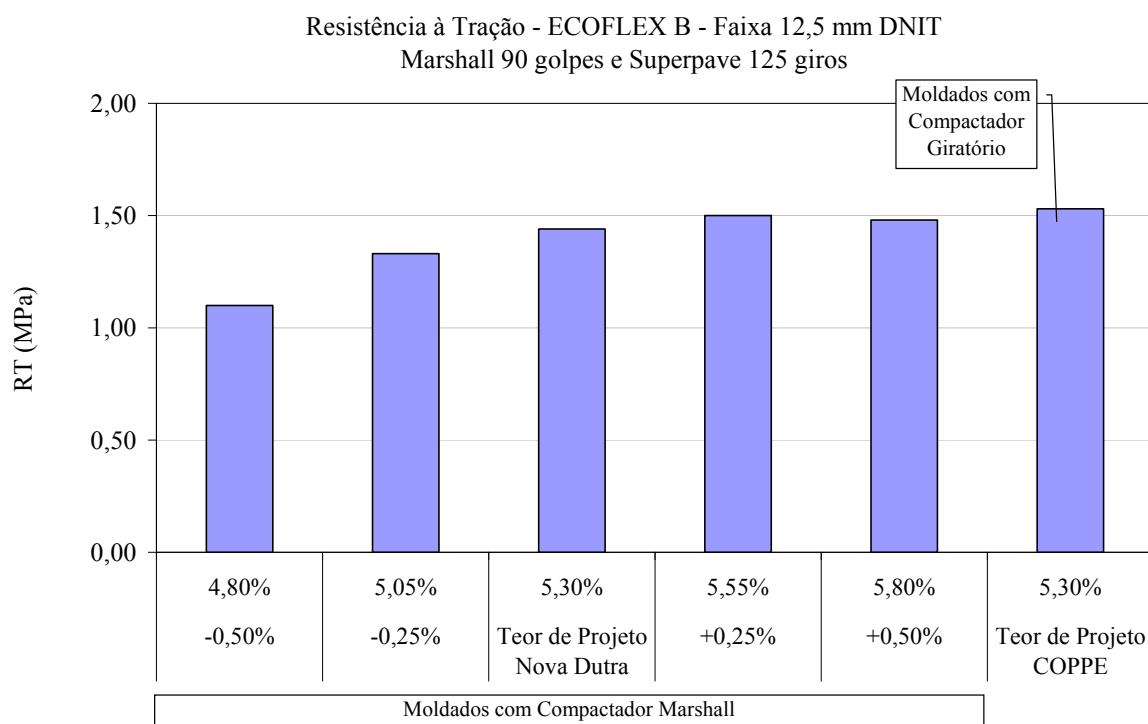


Figura A1.44: Comparação dos valores de RT para misturas com ECOFLEX B, faixa 12,5 mm.

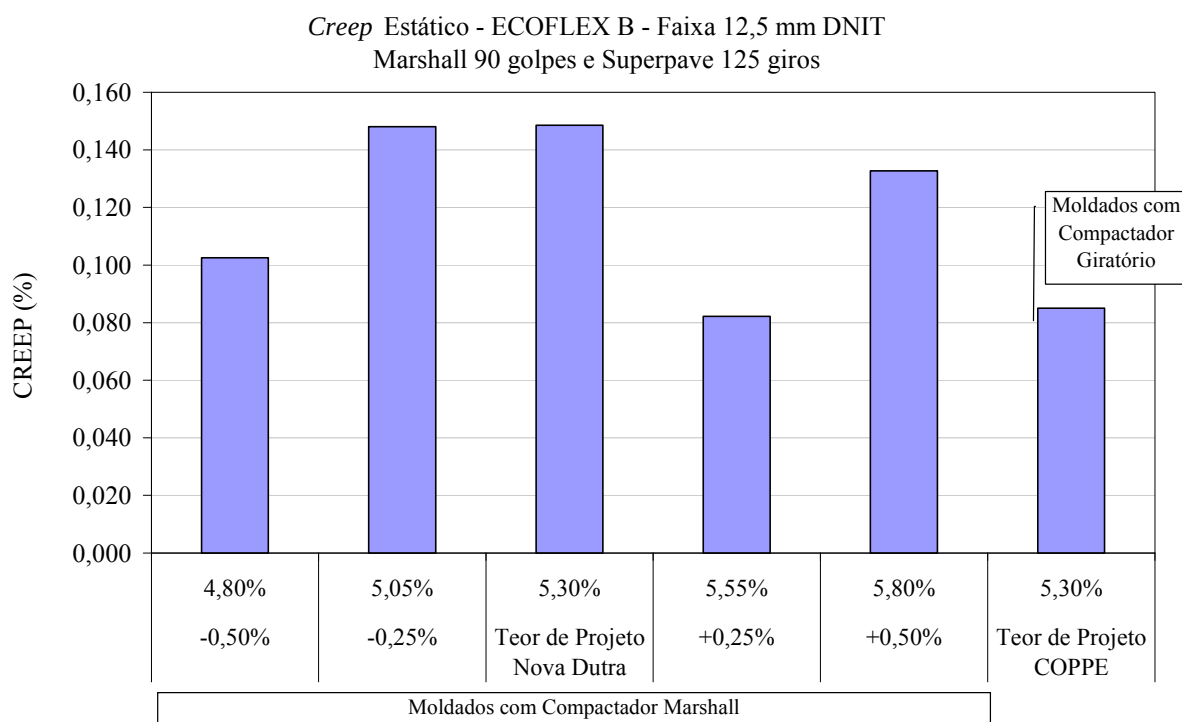


Figura A1.45: Comparação dos valores de *Creep* para misturas com ECOFLEX B, faixa 12,5 mm.

A1.3.12. CA, ECOFLEX B, Faixa 19,0 mm

Os resultados dos ensaios mecânicos da mistura asfáltica com ECOFLEX B, Faixa 19,0 mm, estão apresentados na **Tabela A1.100** e nas **Figuras A1.46 a A1.48**.

Tabela A1.100: Resultados dos ensaios mecânicos - ECOFLEX B, Faixa 19,0 mm.

Parâmetros	Teor de ligante					
	-0,50%	-0,25%	T.Projeto N.Dutra	+0,25%	+0,50%	T.Projeto COPPE
	4,20%	4,45%	4,70%	4,95%	5,20%	4,70%
MR (MPa)	6048	5723	6244	7414	6326	2.978
RT (MPa)	1,36	1,33	1,29	1,34	1,53	1,71
Creep (%)	0,219	0,143	0,113	0,165	0,324	0,032

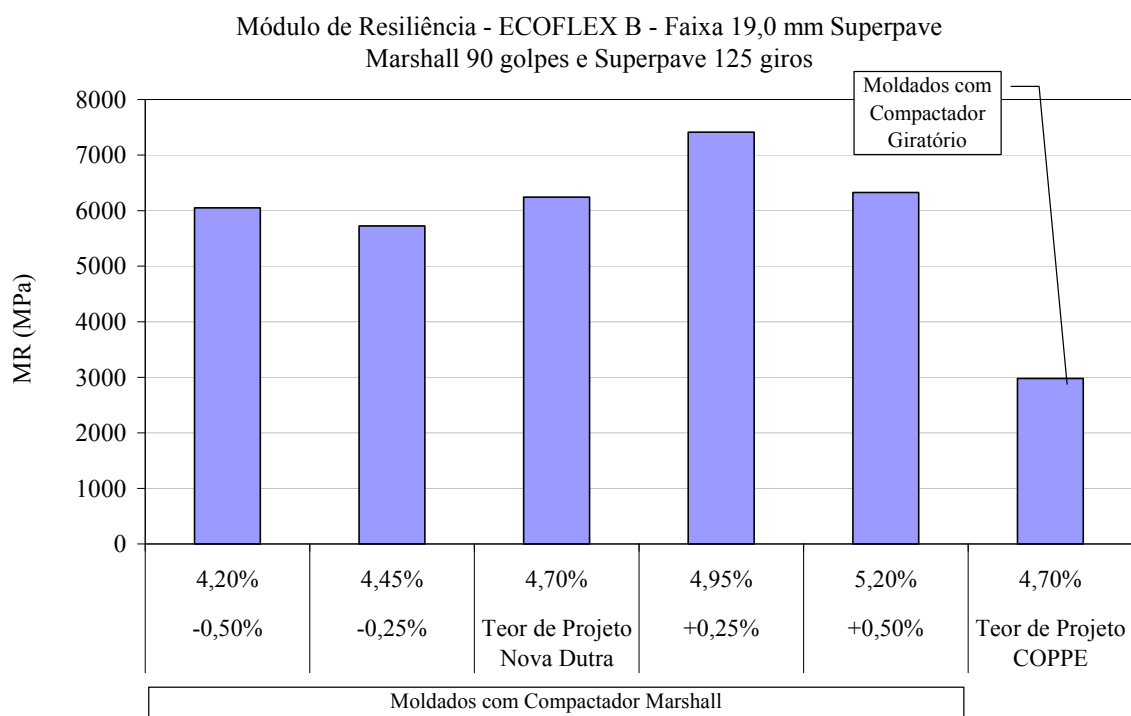


Figura A1.46: Comparação dos valores de MR para misturas com ECOFLEX B, faixa 19,0 mm.

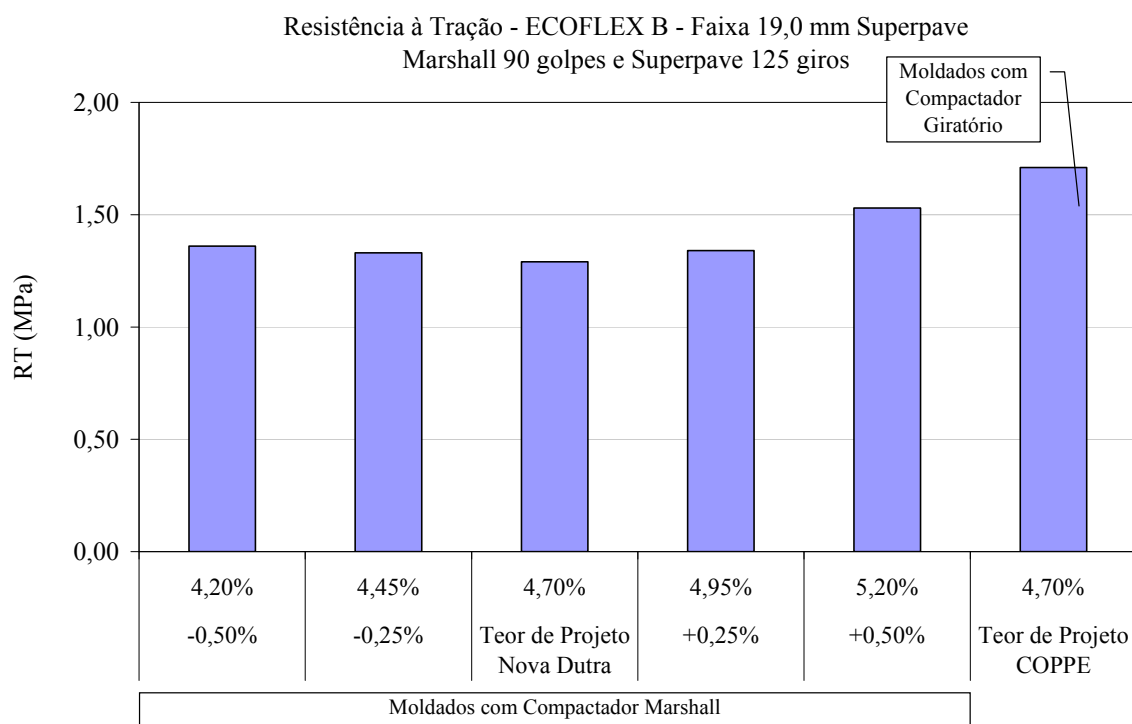


Figura A1.47: Comparação dos valores de RT para misturas com ECOFLEX B, faixa 19,0 mm.

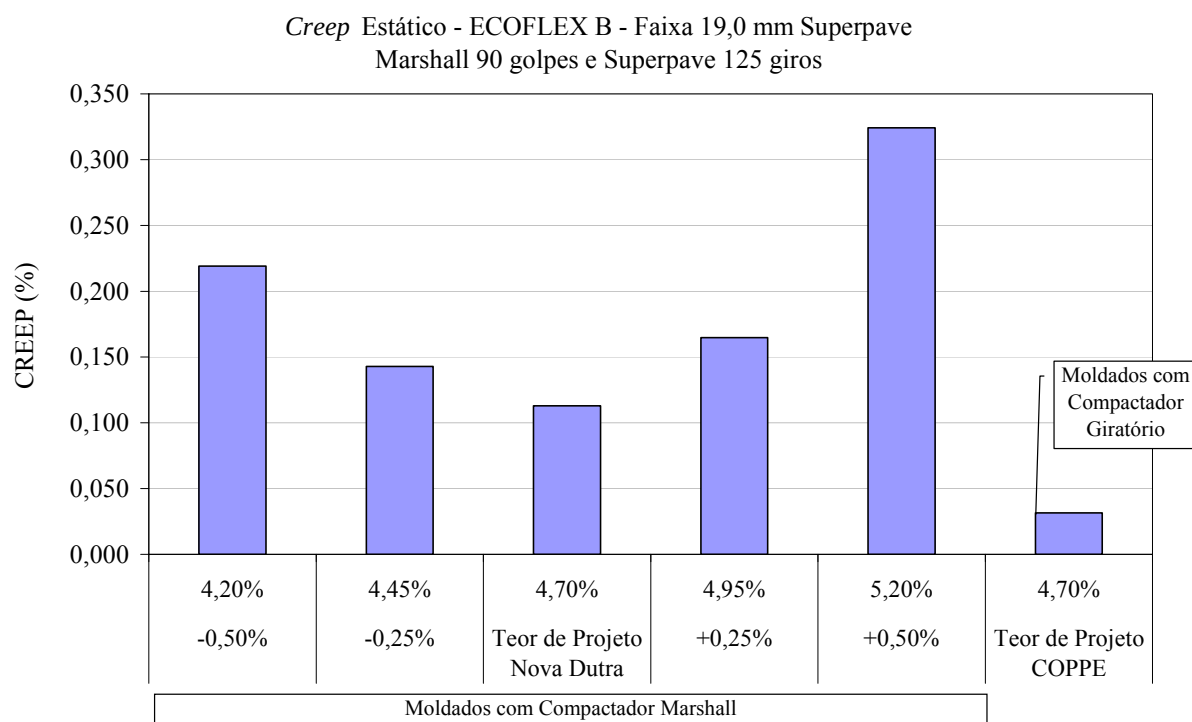


Figura A1.48: Comparação dos valores de *Creep* para misturas com ECOFLEX B, faixa 19,0 mm.

A1.4. Resultados dos Ensaios de Fadiga

Foram elaborados gráficos do número de ciclos em função da diferença de tensões, em escala logarítmica (**Figuras A1.49 a A1.60**). Para cada gráfico foi feita a regressão da curva de fadiga, obtendo-se a equação correspondente à curva (**Tabelas A1.101 a A1.112**).

Tabela A1.101: Modelos de fadiga de misturas com CAP 30-45 - Faixa 9,5 mm.

Teor de ligante (%)		Modelos de Fadiga	R^2	k_1	k_2
-0,50%	5,10	$N = 13.555 (1/\Delta\sigma)^{3,0416}$	0,9753	13.555	3,0416
		$N = 2,0 \times 10^{-10} (1/\varepsilon)^{3,0416}$			
-0,25%	5,35	$N = 28.447 (1/\Delta\sigma)^{4,061}$	0,9890	28.447	4,061
		$N = 1,0 \times 10^{-14} (1/\varepsilon)^{4,061}$			
Teor de Projeto Nova Dutra	5,60	$N = 44.217 (1/\Delta\sigma)^{4,161}$	0,9806	44.217	4,161
		$N = 8,0 \times 10^{-15} (1/\varepsilon)^{4,161}$			
+0,25%	5,85	$N = 20.356 (1/\Delta\sigma)^{3,7088}$	0,9461	20.356	3,7088
		$N = 6,0 \times 10^{-13} (1/\varepsilon)^{3,7088}$			
+0,50%	6,10	$N = 24.965 (1/\Delta\sigma)^{4,418}$	0,9752	24.965	4,418
		$N = 5,0 \times 10^{-16} (1/\varepsilon)^{4,418}$			
Teor de Projeto COPPE	5,60	$N = 30.982 (1/\Delta\sigma)^{3,5309}$	0,9957	30.982	3,5309
		$N = 4,0 \times 10^{-12} (1/\varepsilon)^{3,5309}$			

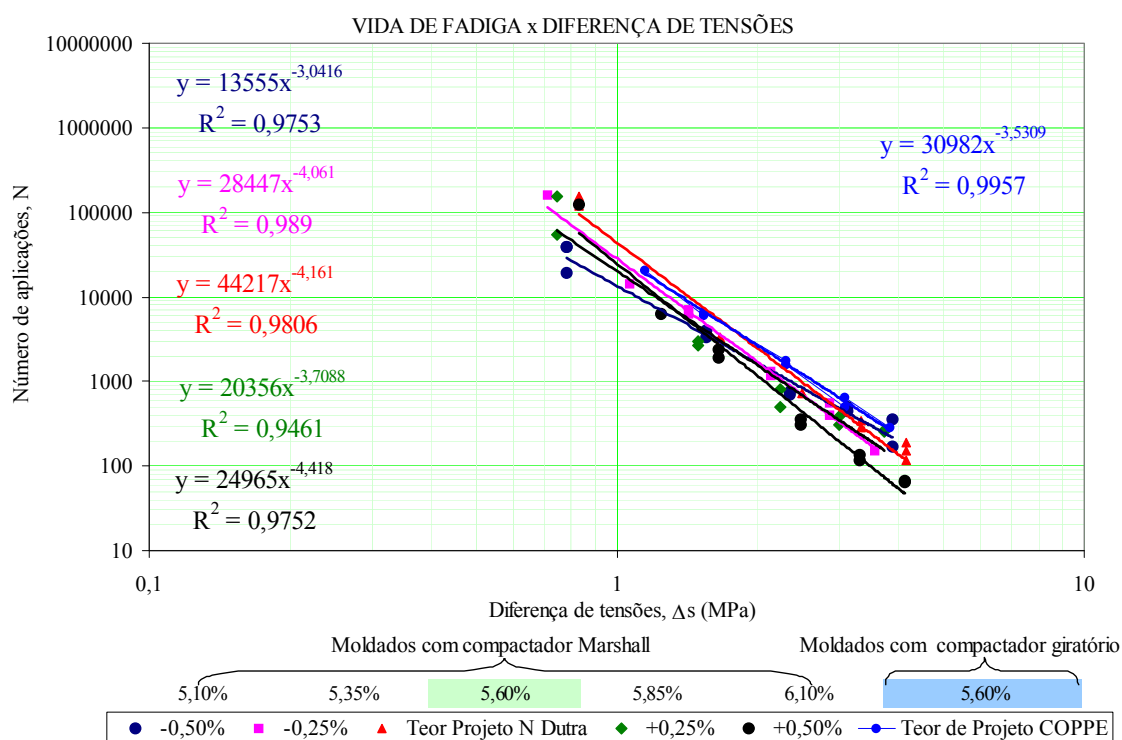


Figura A1.49: Curvas de fadiga de misturas com CAP 30-45 - Faixa 9,5 mm.

Tabela A1.102: Modelos de fadiga de misturas com CAP 30-45 - Faixa 12,5 mm.

Teor de ligante (%)		Modelos de Fadiga	R ²	k ₁	k ₂
-0,50%	4,40	$N = 22.660 (1/\Delta\sigma)^{3,352}$	0,9173	22.660	3,352
		$N = 6,0 \times 10^{-12} (1/\varepsilon)^{3,352}$			
-0,25%	4,65	$N = 21.963 (1/\Delta\sigma)^{3,7165}$	0,9846	21.963	3,7165
		$N = 5,0 \times 10^{-13} (1/\varepsilon)^{3,7165}$			
Teor de Projeto Nova Dutra	4,90	$N = 98.795 (1/\Delta\sigma)^{4,3279}$	0,9788	98.795	4,3279
		$N = 4,0 \times 10^{-15} (1/\varepsilon)^{4,3279}$			
+0,25%	5,15	$N = 46.344 (1/\Delta\sigma)^{3,7898}$	0,9910	46.344	3,7898
		$N = 3,0 \times 10^{-13} (1/\varepsilon)^{3,7898}$			
+0,50%	5,40	$N = 78.931 (1/\Delta\sigma)^{3,891}$	0,9794	78.931	3,8910
		$N = 2,0 \times 10^{-13} (1/\varepsilon)^{3,891}$			
Teor de Projeto COPPE	4,45	$N = 357.009 (1/\Delta\sigma)^{6,6275}$	0,8637	357.009	6,6275
		$N = 8,0 \times 10^{-26} (1/\varepsilon)^{6,6275}$			

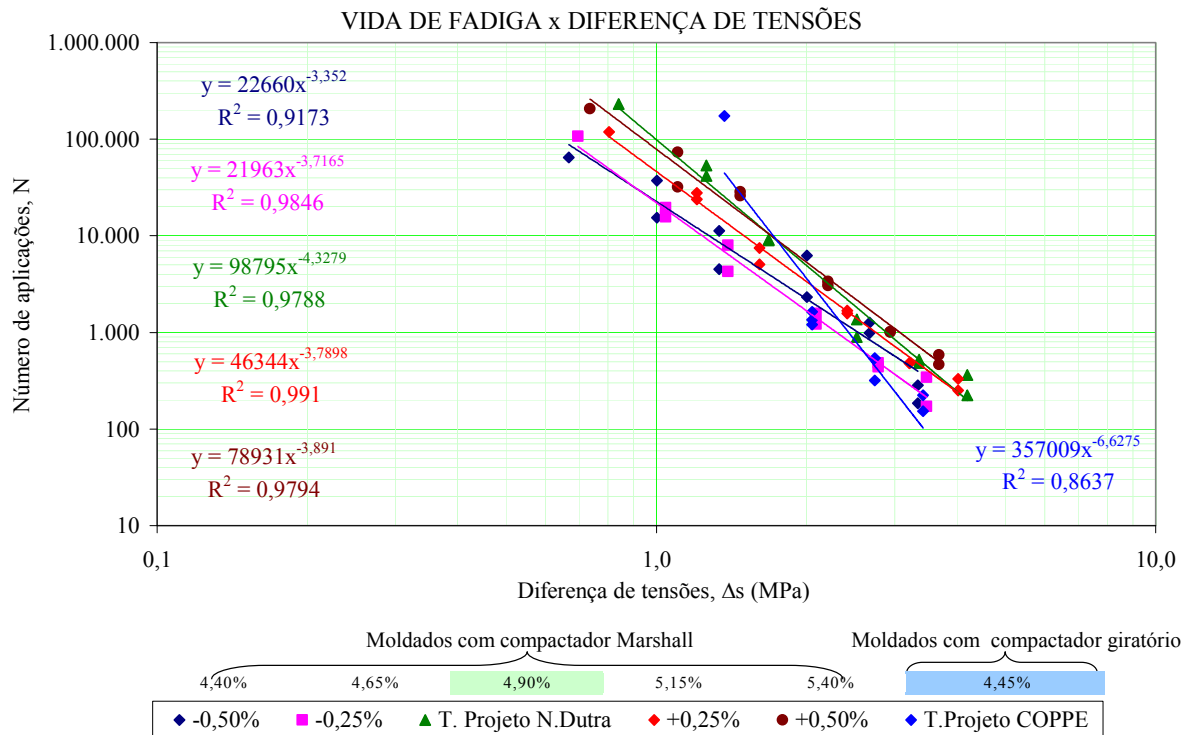


Figura A1.50: Curvas de fadiga de misturas com CAP 30-45 - Faixa 12,5 mm.

Tabela A1.103: Modelos de fadiga de misturas com CAP 30-45 - Faixa 19,0 mm.

Teor de ligante (%)		Modelos de Fadiga	R ²	k ₁	k ₂
-0,50%	4,10	$N = 13.397 (1/\Delta\sigma)^{3,1635}$	0,9637	13.397	3,1635
		$N = 4,0 \times 10^{-11} (1/\varepsilon)^{3,1635}$			
-0,25%	4,35	$N = 270.286 (1/\Delta\sigma)^{3,068}$	0,9542	270.286	3,068
		$N = 8,0 \times 10^{-14} (1/\varepsilon)^{3,068}$			
Teor de Projeto Nova Dutra	4,60	$N = 34.919 (1/\Delta\sigma)^{2,6329}$	0,9102	34.919	2,6329
		$N = 3,0 \times 10^{-13} (1/\varepsilon)^{2,6329}$			
+0,25%	4,85	$N = 380.581 (1/\Delta\sigma)^{3,3612}$	0,9306	380.581	3,3612
		$N = 2,0 \times 10^{-15} (1/\varepsilon)^{3,3612}$			
+0,50%	5,10	$N = 300.917 (1/\Delta\sigma)^{3,3937}$	0,9147	300.917	3,3937
		$N = 2,0 \times 10^{-15} (1/\varepsilon)^{3,3937}$			
Teor de Projeto COPPE	4,60	$N = 12.031 (1/\Delta\sigma)^{3,7329}$	0,9743	12.031	3,7329
		$N = 8,0 \times 10^{-14} (1/\varepsilon)^{3,7329}$			

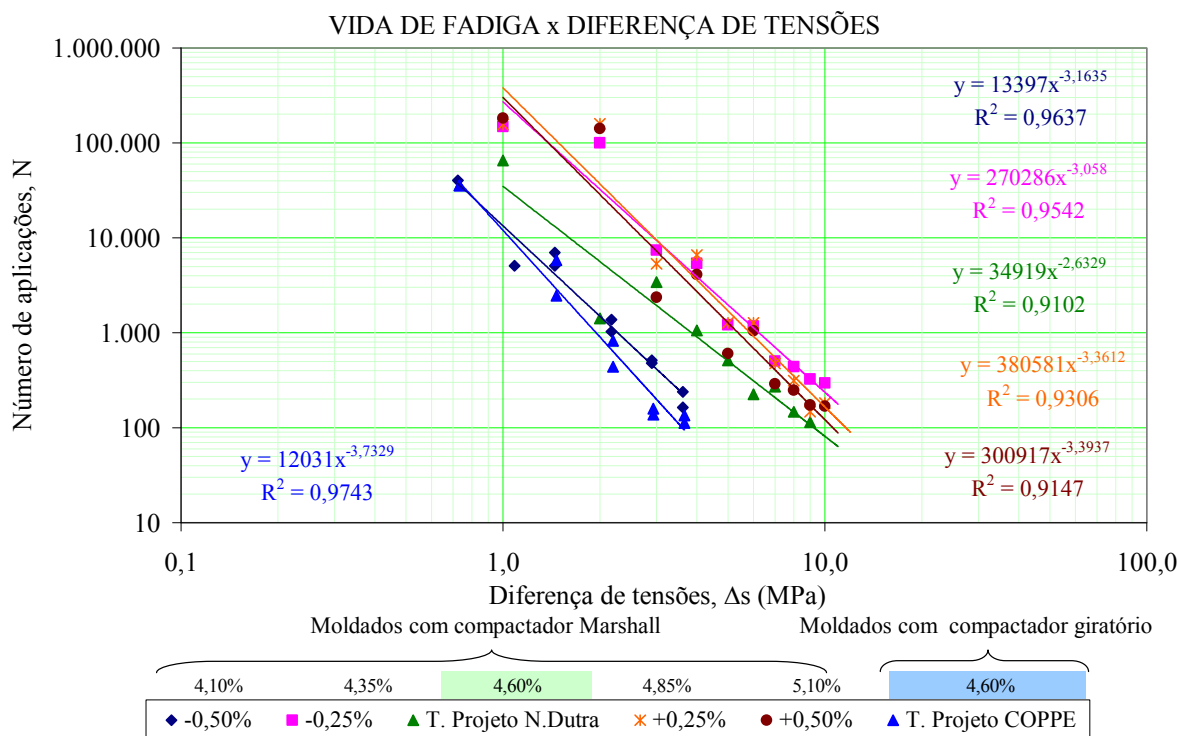


Figura A1.51: Curva de fadiga de misturas com CAP 30-45 - Faixa 19,0 mm.

Tabela A1.104: Modelos de fadiga de misturas com CAP 50-70 - Faixa 9,5 mm.

Teor de ligante (%)		Modelos de Fadiga	R ²	k ₁	k ₂
-0,50%	4,30	$N = 11.650 (1/\Delta\sigma)^{3,9457}$	0,9871	11.650	3,9457
		$N = 6,0 \times 10^{-14} (1/\varepsilon)^{3,9457}$			
-0,25%	4,55	$N = 19.156 (1/\Delta\sigma)^{3,6889}$	0,9922	19.156	3,6889
		$N = 5,0 \times 10^{-13} (1/\varepsilon)^{3,6889}$			
Teor de Projeto Nova Dutra	4,80	$N = 56.630 (1/\Delta\sigma)^{4,7364}$	0,9822	56.630	4,7364
		$N = 5,0 \times 10^{-17} (1/\varepsilon)^{4,7364}$			
+0,25%	5,05	$N = 70.780 (1/\Delta\sigma)^{4,3703}$	0,9957	70.780	4,3703
		$N = 2,0 \times 10^{-15} (1/\varepsilon)^{4,3703}$			
+0,50%	5,30	$N = 47.508 (1/\Delta\sigma)^{3,9793}$	0,9794	47.508	3,9793
		$N = 1,0 \times 10^{-13} (1/\varepsilon)^{3,9793}$			
Teor de Projeto COPPE	5,10	$N = 38.424 (1/\Delta\sigma)^{2,5183}$	0,9298	38.424	2,5183
		$N = 1,0 \times 10^{-7} (1/\varepsilon)^{2,5183}$			

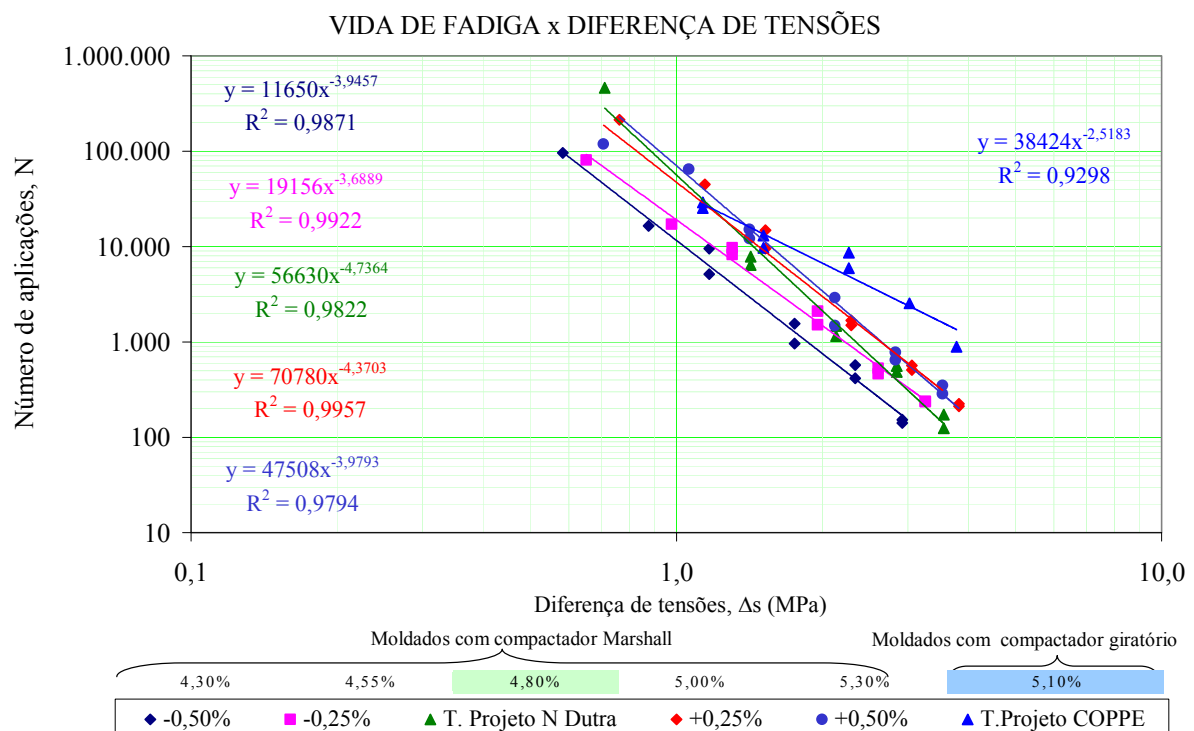


Figura A1.52: Curvas de fadiga de misturas com CAP 50-70 - Faixa 9,5 mm.

Tabela A1.105: Modelos de fadiga de misturas com CAP 50-70 - Faixa 12,5 mm.

Teor de ligante (%)		Modelos de Fadiga	R ²	k ₁	k ₂
-0,50%	3,70	$N = 14.685 (1/\Delta\sigma)^{3,9997}$	0,9814	14.685	3,9997
		$N = 3,0 \times 10^{-14} (1/\varepsilon)^{3,9997}$			
-0,25%	3,95	$N = 56.868 (1/\Delta\sigma)^{4,7998}$	0,8424	56.868	4,7998
		$N = 2,0 \times 10^{-17} (1/\varepsilon)^{4,7998}$			
Teor de Projeto Nova Dutra	4,20	$N = 51.624 (1/\Delta\sigma)^{4,8513}$	0,9611	51.624	4,8513
		$N = 1,0 \times 10^{-17} (1/\varepsilon)^{4,8513}$			
+0,25%	4,45	$N = 56.658 (1/\Delta\sigma)^{3,9574}$	0,9403	56.658	3,9574
		$N = 1,0 \times 10^{-13} (1/\varepsilon)^{3,9574}$			
+0,50%	4,70	$N = 31.494 (1/\Delta\sigma)^{4,2971}$	0,9652	31.494	4,2971
		$N = 1,0 \times 10^{-15} (1/\varepsilon)^{4,2971}$			
Teor de Projeto COPPE	4,20	$N = 21.147 (1/\Delta\sigma)^{3,2064}$	0,9619	21.147	3,2064
		$N = 9,0 \times 10^{-11} (1/\varepsilon)^{3,2064}$			

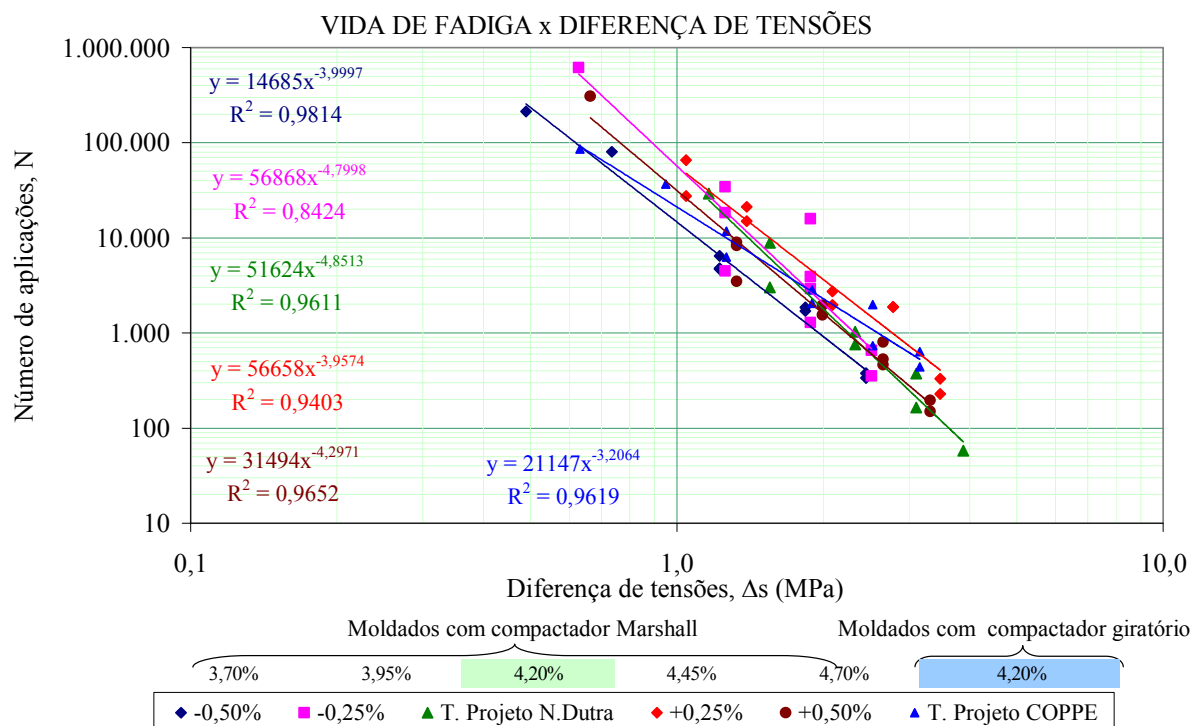


Figura A1.53: Curvas de fadiga de misturas com CAP 50-70 - Faixa 12,5 mm.

Tabela A1.106: Modelos de fadiga de misturas com CAP 50-70 - Faixa 19,0 mm.

Teor de ligante (%)		Modelos de Fadiga	R^2	k_1	k_2
-0,50%	4,00	$N = 5.722,1 (1/\Delta\sigma)^{3,9053}$	0,9647	5.722,1	3,9053
		$N = 3,0 \times 10^{-14} (1/\varepsilon)^{3,9053}$			
-0,25%	4,25	$N = 8.943 (1/\Delta\sigma)^{3,729}$	0,9591	8.943	3,729
		$N = 1,0 \times 10^{-13} (1/\varepsilon)^{3,729}$			
Teor de Projeto Nova Dutra	4,50	$N = 11.577 (1/\Delta\sigma)^{3,9467}$	0,9827	11.577	3,9467
		$N = 2,0 \times 10^{-14} (1/\varepsilon)^{3,9467}$			
+0,25%	4,75	$N = 10.978 (1/\Delta\sigma)^{4,3871}$	0,9686	10.978	4,3871
		$N = 6,0 \times 10^{-16} (1/\varepsilon)^{4,3871}$			
+0,50%	5,00	$N = 11.649 (1/\Delta\sigma)^{4,3667}$	0,9842	11.649	4,3667
		$N = 4,0 \times 10^{-16} (1/\varepsilon)^{4,3667}$			
Teor de Projeto COPPE	4,50	$N = 40.275 (1/\Delta\sigma)^{3,4389}$	0,9560	40.275	3,4389
		$N = 4,0 \times 10^{-12} (1/\varepsilon)^{3,4389}$			

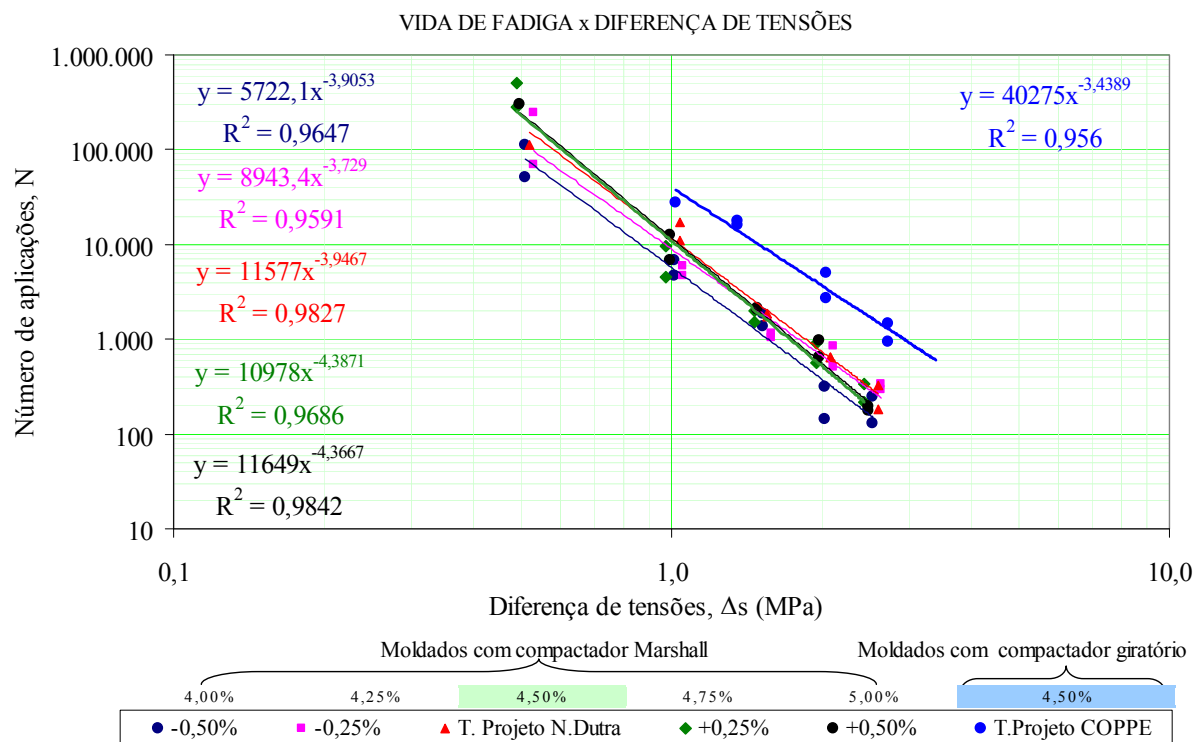


Figura A1.54: Curvas de fadiga de misturas com CAP 50-70 - Faixa 19,0 mm.

Tabela A1.107: Modelos de fadiga de misturas com CAP SBS - Faixa 9,5 mm.

Teor de ligante (%)		Modelos de Fadiga	R ²	k ₁	k ₂
-0,50%	4,70	$N = 24.839 (1/\Delta\sigma)^{4,3757}$	0,9536	24.839	4,3757
		$N = 5,0 \times 10^{-15} (1/\varepsilon)^{4,3757}$			
-0,25%	4,95	$N = 44.659 (1/\Delta\sigma)^{4,5098}$	0,9443	44.659	4,5098
		$N = 1,0 \times 10^{-15} (1/\varepsilon)^{4,5098}$			
Teor de Projeto Nova Dutra	5,20	$N = 18.180 (1/\Delta\sigma)^{4,1771}$	0,9849	18.180	4,1771
		$N = 3,0 \times 10^{-14} (1/\varepsilon)^{4,1771}$			
+0,25%	5,45	$N = 28.157 (1/\Delta\sigma)^{4,5432}$	0,8323	28.157	4,5432
		$N = 1,0 \times 10^{-15} (1/\varepsilon)^{4,5432}$			
+0,50%	5,70	$N = 19.883 (1/\Delta\sigma)^{3,5025}$	0,9973	19.883	3,5025
		$N = 4,0 \times 10^{-11} (1/\varepsilon)^{3,5025}$			
Teor de Projeto COPPE	5,15	$N = 10.112 (1/\Delta\sigma)^{3,7635}$	0,9898	10.112	3,7635
		$N = 2,0 \times 10^{-12} (1/\varepsilon)^{3,7635}$			

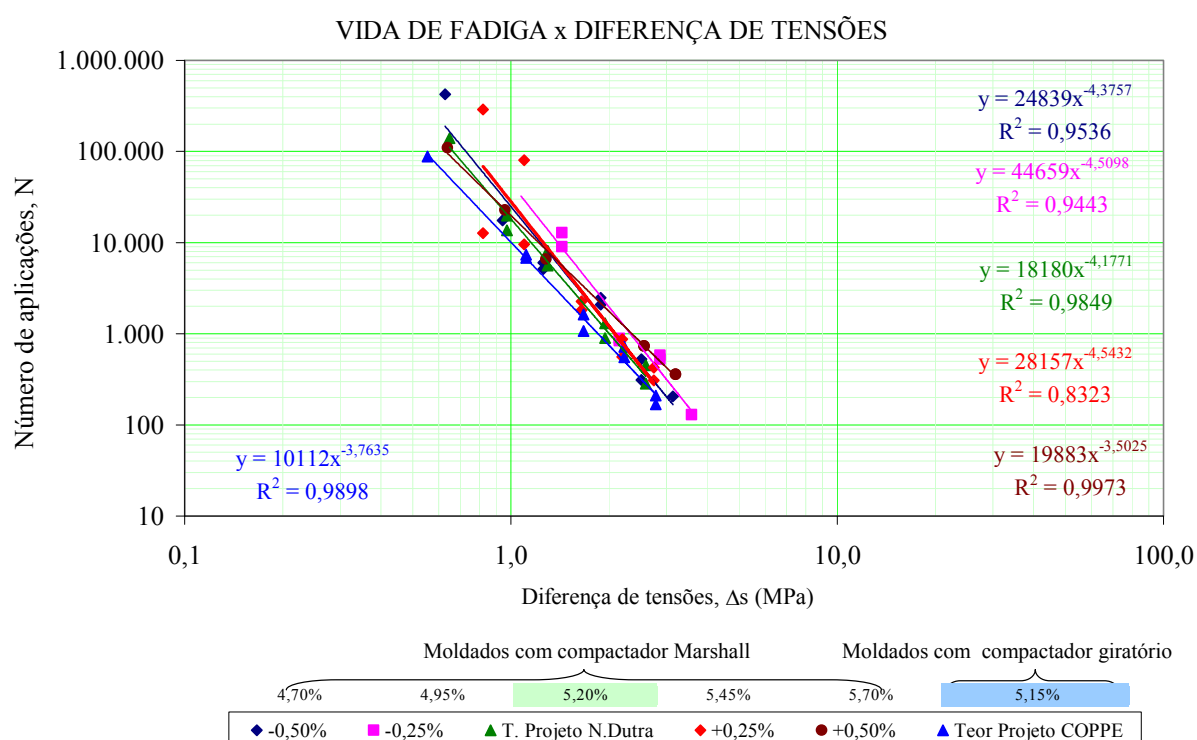


Figura A1.55: Curva de fadiga de misturas com CAP SBS - Faixa 9,5 mm.

Tabela A1.108: Modelos de fadiga de misturas com CAP SBS - Faixa 12,5 mm.

Teor de ligante (%)		Modelos de Fadiga	R ²	k ₁	k ₂
-0,50%	4,20	$N = 15.370 (1/\Delta\sigma)^{3,7447}$	0,9833	15.370	3,7447
		$N = 1,0 \times 10^{-12} (1/\varepsilon)^{3,7447}$			
-0,25%	4,45	$N = 26.965 (1/\Delta\sigma)^{4,9654}$	0,9569	26.965	4,9654
		$N = 1,0 \times 10^{-17} (1/\varepsilon)^{4,9654}$			
Teor de Projeto Nova Dutra	4,70	$N = 12.480 (1/\Delta\sigma)^{3,4963}$	0,9700	12.480	3,4963
		$N = 1,0 \times 10^{-11} (1/\varepsilon)^{3,4963}$			
+0,25%	4,95	$N = 40.109 (1/\Delta\sigma)^{4,6609}$	0,9744	40.109	4,6609
		$N = 2,0 \times 10^{-16} (1/\varepsilon)^{4,6609}$			
+0,50%	5,20	$N = 28.522 (1/\Delta\sigma)^{4,9077}$	0,9707	28.522	4,9077
		$N = 2,0 \times 10^{-17} (1/\varepsilon)^{4,9077}$			
Teor de Projeto COPPE	4,70	$N = 10.879 (1/\Delta\sigma)^{4,7467}$	0,9700	10.879	4,7467
		$N = 1,0 \times 10^{-16} (1/\varepsilon)^{4,7467}$			

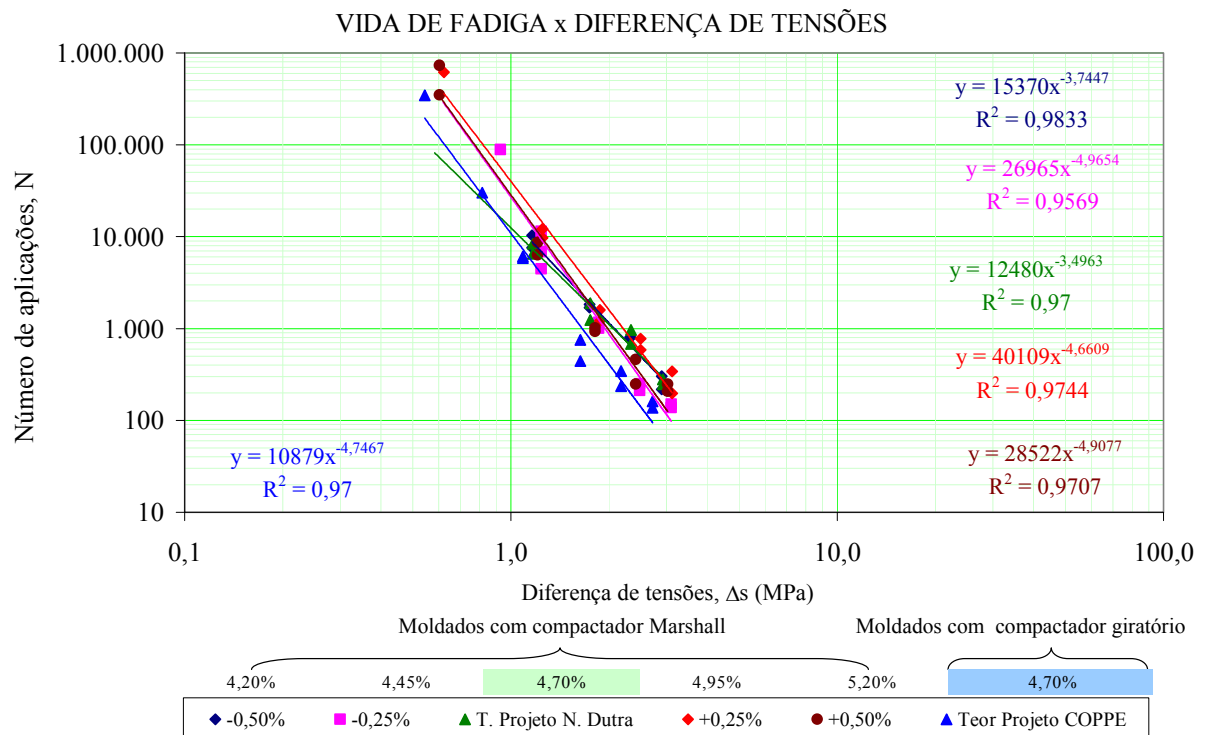


Figura A1.56: Curva de fadiga de misturas com CAP SBS - Faixa 12,5 mm.

Tabela A1.109: Modelos de fadiga de misturas com CAP SBS - Faixa 19,0 mm.

Teor de ligante (%)		Modelos de Fadiga	R ²	k ₁	k ₂
-0,50%	3,60	$N = 32.237 (1/\Delta\sigma)^{4,5815}$	0,9543	32.237	4,5815
		$N = 3,0 \times 10^{-16} (1/\varepsilon)^{4,5815}$			
-0,25%	3,85	$N = 16.191 (1/\Delta\sigma)^{3,8682}$	0,9812	16.191	3,8682
		$N = 4,0 \times 10^{-13} (1/\varepsilon)^{3,8682}$			
Teor de Projeto Nova Dutra	4,10	$N = 27.140 (1/\Delta\sigma)^{4,3951}$	0,9604	27.140	4,3951
		$N = 2,0 \times 10^{-15} (1/\varepsilon)^{4,3951}$			
+0,25%	4,35	$N = 33.752 (1/\Delta\sigma)^{4,5041}$	0,9952	33.752	4,5041
		$N = 1,0 \times 10^{-15} (1/\varepsilon)^{4,5041}$			
+0,50%	4,60	$N = 26.318 (1/\Delta\sigma)^{4,2839}$	0,9423	26.318	4,2839
		$N = 1,0 \times 10^{-14} (1/\varepsilon)^{4,2839}$			
Teor de Projeto COPPE	4,10	$N = 18.025 (1/\Delta\sigma)^{4,6310}$	0,9683	18.025	4,6310
		$N = 1,0 \times 10^{-16} (1/\varepsilon)^{4,6310}$			

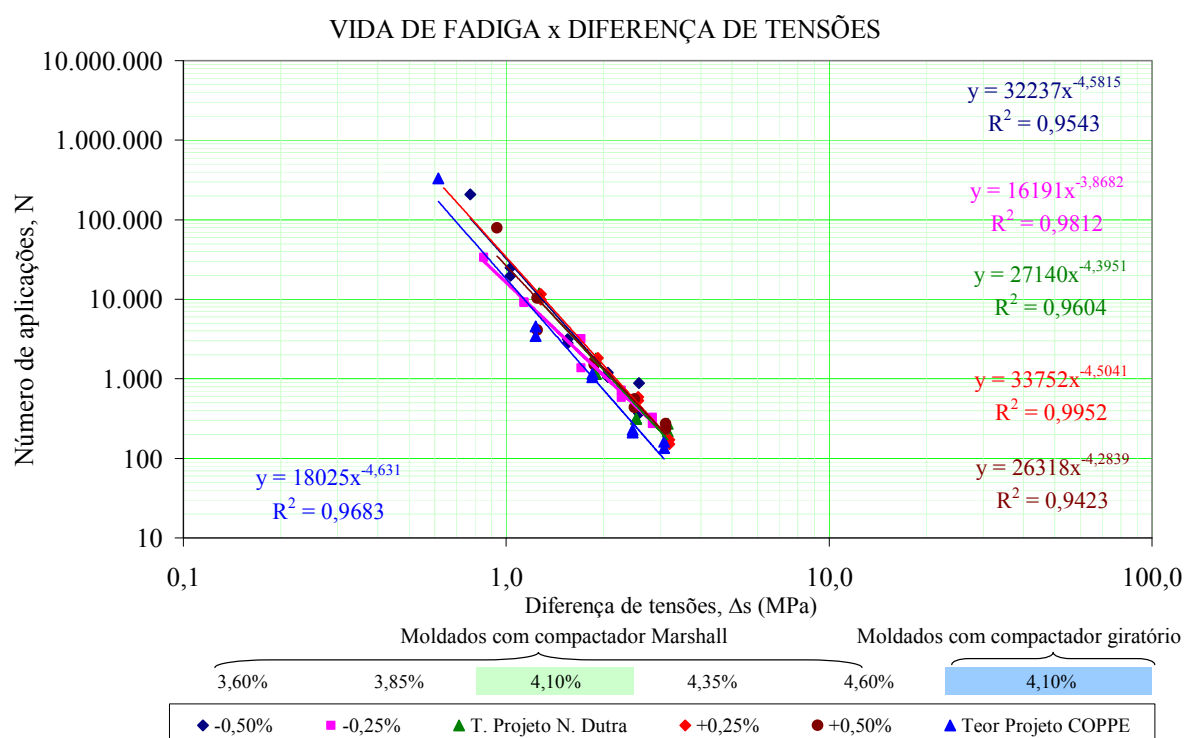


Figura A1.57: Curva de fadiga de misturas com CAP SBS - Faixa 19,0 mm.

Tabela A1.110: Modelos de fadiga de misturas com ECOFLEX B - Faixa 9,5 mm.

Teor de ligante (%)		Modelos de Fadiga	R ²	k ₁	k ₂
-0,50%	5,40	$N = 36.476 (1/\Delta\sigma)^{6,6532}$	0,9703	36.476	6,6532
		$N = 8,0 \times 10^{-25} (1/\varepsilon)^{6,6532}$			
-0,25%	5,65	$N = 67.315 (1/\Delta\sigma)^{4,9043}$	0,9571	67.315	4,9043
		$N = 2,0 \times 10^{-17} (1/\varepsilon)^{4,9043}$			
Teor de Projeto Nova Dutra	5,90	$N = 27.465 (1/\Delta\sigma)^{4,7220}$	0,9980	27.465	4,7220
		$N = 1,0 \times 10^{-16} (1/\varepsilon)^{4,7220}$			
+0,25%	6,15	$N = 47.614 (1/\Delta\sigma)^{3,7693}$	0,9276	47.614	3,7693
		$N = 3,0 \times 10^{-12} (1/\varepsilon)^{3,7693}$			
+0,50%	6,40	$N = 67.774 (1/\Delta\sigma)^{5,0298}$	0,9151	67.774	5,0298
		$N = 2,0 \times 10^{-17} (1/\varepsilon)^{5,0298}$			
Teor de Projeto COPPE	5,90	$N = 51.528 (1/\Delta\sigma)^{3,8620}$	0,8305	51.528	3,8620
		$N = 2,0 \times 10^{-12} (1/\varepsilon)^{3,8620}$			

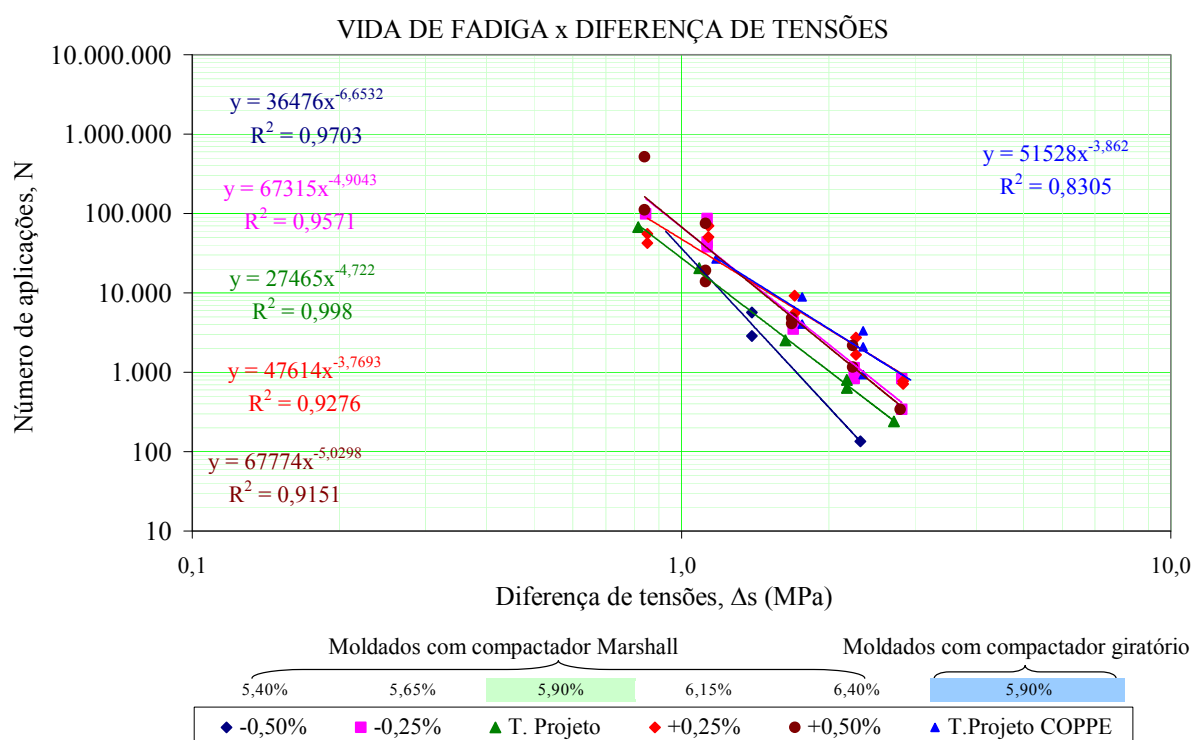


Figura A1.58: Curva de fadiga de misturas com ECOFLEX B - Faixa 9,5 mm.

Tabela A1.111: Modelos de fadiga de misturas com ECOFLEX B - Faixa 12,5 mm.

Teor de ligante (%)		Modelos de Fadiga	R ²	k ₁	k ₂
-0,50%	4,80	$N = 9.710 (1/\Delta\sigma)^{3,9462}$	0,9659	9.710	3,9462
		$N = 2,0 \times 10^{-13} (1/\varepsilon)^{3,9462}$			
-0,25%	5,05	$N = 47.291 (1/\Delta\sigma)^{5,0622}$	0,9992	47.291	5,0622
		$N = 9,0 \times 10^{-18} (1/\varepsilon)^{5,0622}$			
Teor de Projeto Nova Dutra	5,30	$N = 44.055 (1/\Delta\sigma)^{5,1239}$	0,9958	44.055	5,1239
		$N = 6,0 \times 10^{-18} (1/\varepsilon)^{5,1239}$			
+0,25%	5,55	$N = 37.464 (1/\Delta\sigma)^{4,492}$	0,9508	37.464	4,492
		$N = 2,0 \times 10^{-15} (1/\varepsilon)^{4,492}$			
+0,50%	5,80	$N = 28.078 (1/\Delta\sigma)^{4,2253}$	0,9739	28.078	4,2253
		$N = 4,0 \times 10^{-14} (1/\varepsilon)^{4,2253}$			
Teor de Projeto COPPE	5,30	$N = 42.141 (1/\Delta\sigma)^{4,7819}$	0,9911	42.141	4,7819
		$N = 2,0 \times 10^{-16} (1/\varepsilon)^{4,7819}$			

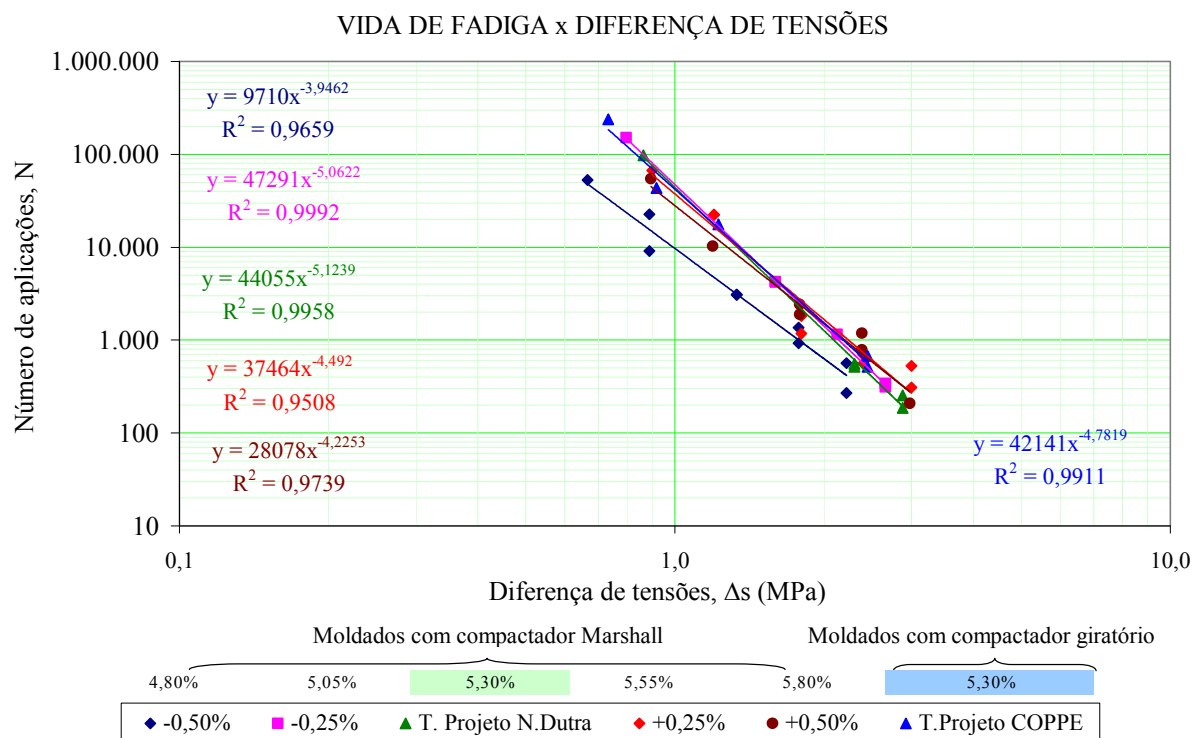


Figura A1.59: Curva de fadiga de misturas com ECOFLEX B - Faixa 12,5 mm.

Tabela A1.112: Modelos de fadiga de misturas com ECOFLEX B - Faixa 19,0 mm.

Teor de ligante (%)		Modelos de Fadiga	R ²	k ₁	k ₂
-0,50%	4,20	$N = 17.489 (1/\Delta\sigma)^{4,7936}$	0,9831	17.489	4,7936
		$N = 2,0 \times 10^{-17} (1/\varepsilon)^{4,7936}$			
-0,25%	4,45	$N = 45.347 (1/\Delta\sigma)^{5,3071}$	0,8635	45.347	5,3071
		$N = 3,0 \times 10^{-19} (1/\varepsilon)^{5,3071}$			
Teor de Projeto Nova Dutra	4,70	$N = 53.959 (1/\Delta\sigma)^{4,6492}$	0,9423	53.959	4,6492
		$N = 2,0 \times 10^{-16} (1/\varepsilon)^{4,6492}$			
+0,25%	4,95	$N = 62.386 (1/\Delta\sigma)^{4,8914}$	0,9761	62.386	4,8914
		$N = 8,0 \times 10^{-18} (1/\varepsilon)^{4,8914}$			
+0,50%	5,20	$N = 49.596 (1/\Delta\sigma)^{5,2321}$	0,9861	49.596	5,2321
		$N = 5,0 \times 10^{-19} (1/\varepsilon)^{5,2321}$			
Teor de Projeto COPPE	4,70	$N = 17.396 (1/\Delta\sigma)^{3,8379}$	0,9831	17.396	3,8379
		$N = 5,0 \times 10^{-12} (1/\varepsilon)^{3,8379}$			

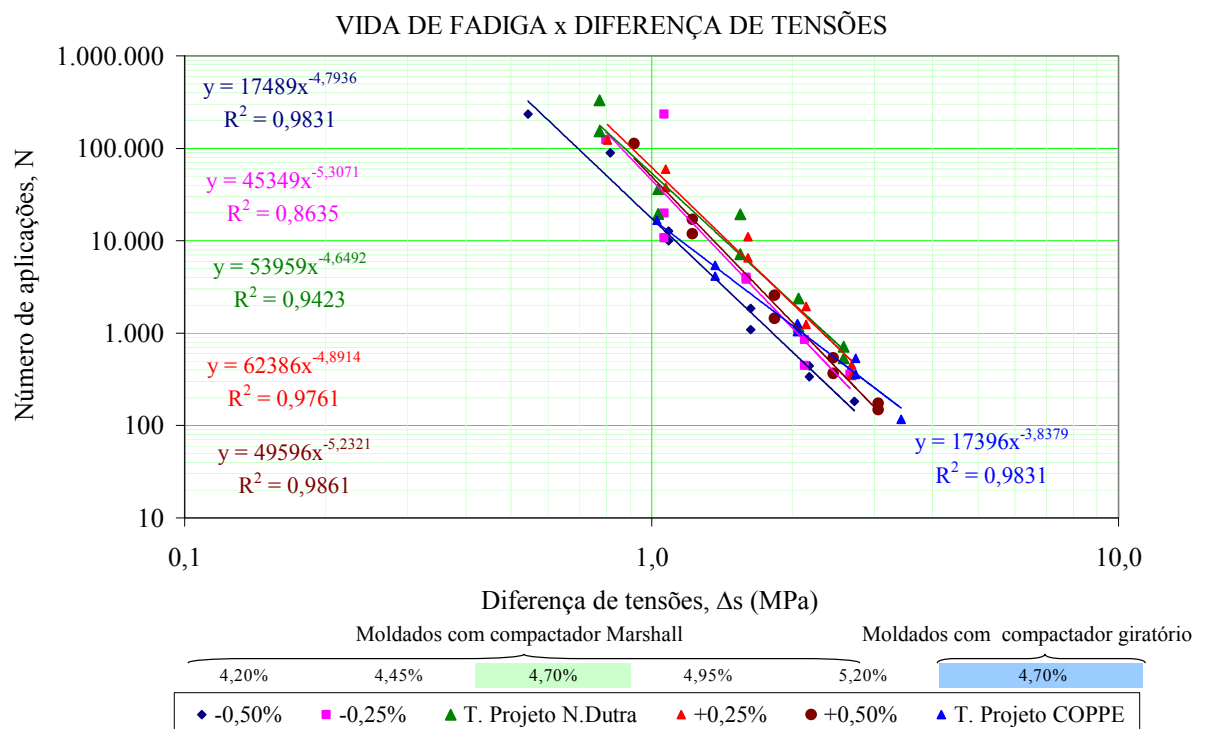


Figura A1.60: Curva de fadiga de misturas com ECOFLEX B - Faixa 19,0 mm.

Com os resultados obtidos, fez-se a comparação das misturas avaliadas (com CAP 30-45, CAP 50-70, CAP SBS e ECOFLEX B) através de uma simulação de duas estruturas de pavimento hipotéticas (**Tabela A1.113**). A análise tensional foi feita com o programa ELSYM 5 e os resultados são apresentados nas **Tabelas A1.114 a A1.125** e nas **Figuras A1.61 a A1.72**.

Tabela A1.113: Estruturas de pavimentos usadas nas comparações das misturas deste estudo.

Estrutura	Camada	Espessura (cm)	Coef. Poisson	MR (MPa)	MR (psi)
1	Capa	10,0	0,30	Variável	MR
	Base	20,0	0,34	340	51.000
	Sub-base	20,0	0,38	210	31.500
	Subleito	Semi-infinito	0,42	85	12.750
2	Capa	7,5	0,30	Variável	MR
	Base	20,0	0,30	450	67.500
	Subleito	Semi-infinito	0,40	60	9.000
3	Capa	12,0 - EGL 12,5 mm	0,30	Variável	MR
	Binder	10,0 - Faixa A DNIT	0,30	3700	555.000
	Base	15,0 - BGS	0,35	250	37.500
	Sub-base	55,0 - Rachão	0,37	100	15.000
	Subleito	Semi-infinito	0,45	52	7.800

Tabela A1.114: Resultados da análise mecânica com as estruturas 1 e 2 - CAP 30-45 - Faixa 9,5 mm.

Estrutura 1						
Teor de ligante (%)		MR (MPa)	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,50%	5,10	9088	1,340	-0,117	1,457	4.317
-0,25%	5,35	8596	1,307	-0,120	1,427	6.719
T. Projeto N.Dutra	5,60	8018	1,260	-0,124	1,384	11.437
+0,25%	5,85	7209	1,187	-0,131	1,317	7.324
+0,50%	6,10	7123	1,180	-0,131	1,311	7.538
T. Projeto COPPE	5,60	8239	1,273	-0,123	1,396	9.540
Estrutura 2						
Teor de ligante (%)		MR (MPa)	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,50%	5,10	9088	1,593	-0,177	1,770	2.387
-0,25%	5,35	8596	1,533	-0,181	1,715	3.184
T. Projeto N.Dutra	5,60	8018	1,460	-0,187	1,647	5.541
+0,25%	5,85	7209	1,353	-0,196	1,549	4.013
+0,50%	6,10	7123	1,340	-0,197	1,537	3.741
T. Projeto COPPE	5,60	8239	1,487	-0,185	1,671	5.052

onde:

MR = módulo de resiliência obtido no ensaio de laboratório;

σ_t = tensão de tração no revestimento obtida no programa ELSYM 5;

σ_c = tensão de compressão no revestimento obtida no programa ELSYM 5;

$\Delta\sigma$ = diferença entre as tensões de tração e compressão ($\sigma_t - \sigma_c$);

N = número de ciclos.

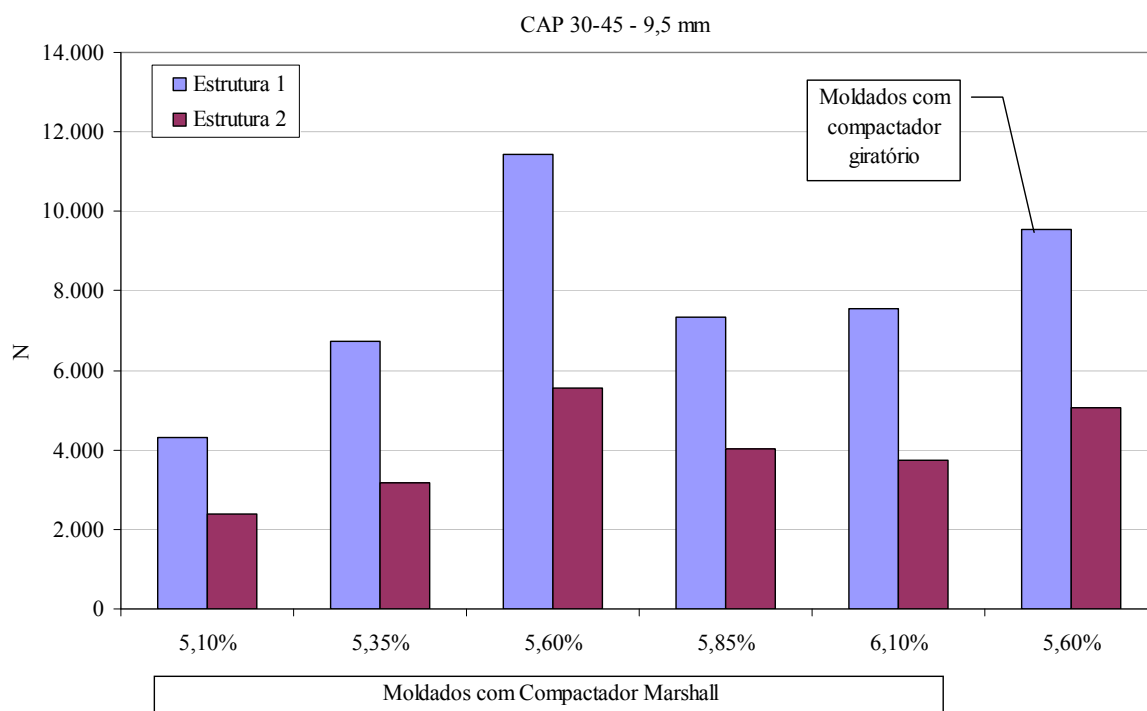


Figura A1.61: Resultados da análise de vida de fadiga de misturas com CAP 30-45 - Faixa 9,5 mm.

Tabela A1.115: Resultados da análise mecânica com as estruturas 1, 2 e 3 - CAP 30-45 - Faixa 12,5 mm.

Estrutura 1						
Teor de ligante (%)		MR (MPa)	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,50%	4,40	11211	1,487	-0,105	1,592	4.768
-0,25%	4,65	7345	1,200	-0,129	1,329	7.624
T. Projeto N.Dutra	4,90	7795	1,240	-0,126	1,366	25.616
+0,25%	5,15	8610	1,307	-0,120	1,427	12.054
+0,50%	5,40	8227	1,273	-0,123	1,396	21.553
T. Projeto COPPE	4,45	10318	1,433	-0,110	1,543	20.122
Estrutura 2						
Teor de ligante (%)		MR (MPa)	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,50%	4,40	11211	1,827	-0,161	1,987	2.267
-0,25%	4,65	7345	1,373	-0,194	1,567	4.134
T. Projeto N.Dutra	4,90	7795	1,433	-0,189	1,623	12.159
+0,25%	5,15	8610	1,533	-0,181	1,715	6.005
+0,50%	5,40	8227	1,487	-0,185	1,671	10.698
T. Projeto COPPE	4,45	10318	1,733	-0,167	1,901	5.061
Estrutura 3						
Teor de ligante (%)		MR (MPa)	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,50%	4,40	11211	0,478	-0,167	0,645	98.712
-0,25%	4,65	7345	0,260	-0,197	0,457	404.381
T. Projeto N.Dutra	4,90	7795	0,287	-0,192	0,479	2.381.789
+0,25%	5,15	8610	0,336	-0,185	0,521	547.103
+0,50%	5,40	8227	0,313	-0,189	0,502	1.152.947
T. Projeto COPPE	4,45	10318	0,431	-0,173	0,604	10.089.203

onde:

MR = módulo de resiliência obtido no ensaio de laboratório;

σ_t = tensão de tração no revestimento obtida no programa ELSYM 5;

σ_c = tensão de compressão no revestimento obtida no programa ELSYM 5;

$\Delta\sigma$ = diferença entre as tensões de tração e compressão ($\sigma_t - \sigma_c$);

N = número de ciclos.

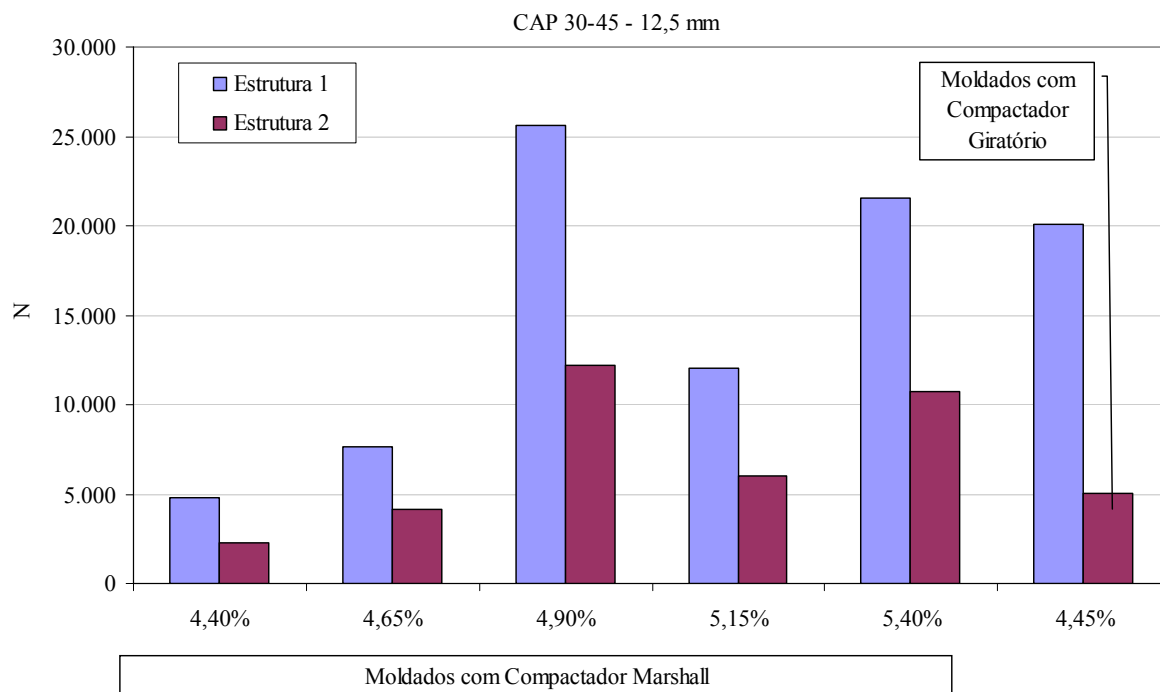


Figura A1.62: Resultados da análise de vida de fadiga de misturas com CAP 30-45 - Faixa 12,5 mm - Estruturas 1 e 2.

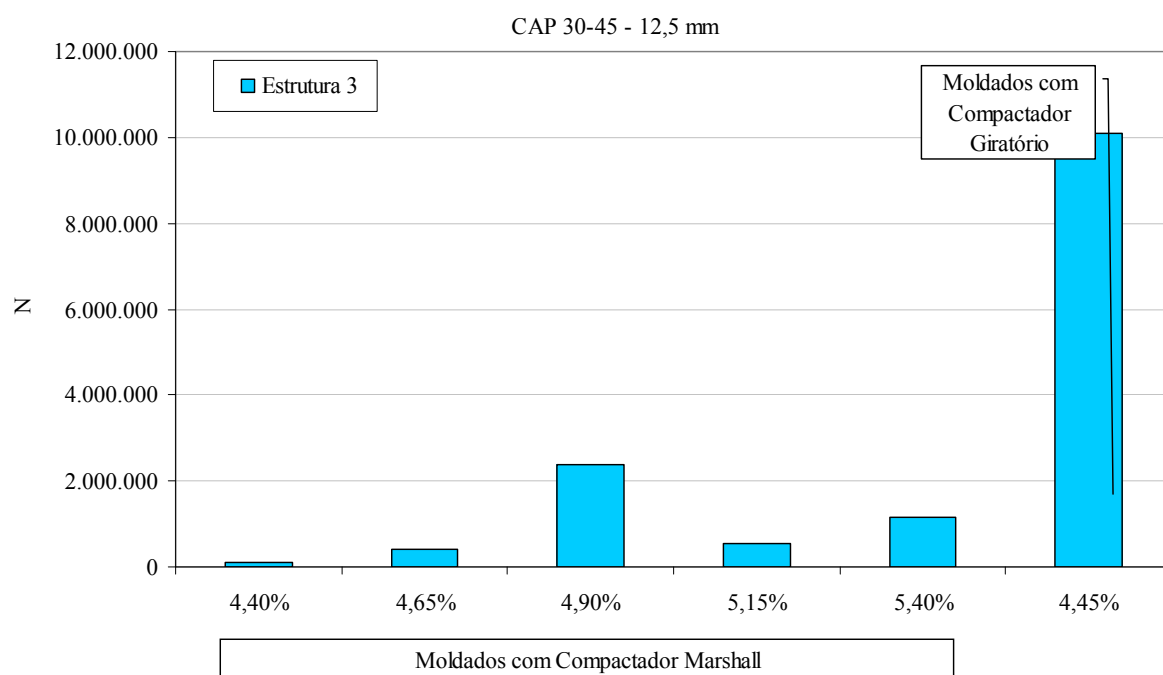


Figura A1.63: Resultados da análise de vida de fadiga de misturas com CAP 30-45 - Faixa 12,5 mm - Estrutura 3.

Tabela A1.116: Resultados da análise mecânica com as estruturas 1 e 2 - CAP 30-45 - faixa 19,0 mm.

Estrutura 1						
Teor de ligante (%)		MR (MPa)	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,50%	4,10	9526	1,487	-0,105	1,592	3.295
-0,25%	4,35	9763	1,200	-0,129	1,329	7.772
T. Projeto N.Dutra	4,60	9117	1,240	-0,126	1,366	5.623
+0,25%	4,85	8558	1,307	-0,120	1,427	5.449
+0,50%	5,10	8092	1,273	-0,123	1,396	8.146
T. Projeto COPPE	4,60	10084	1,167	-0,111	1,278	4.815
Estrutura 2						
Teor de ligante (%)		MR (MPa)	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,50%	4,10	9526	1,827	-0,161	1,987	1.678
-0,25%	4,35	9763	1,373	-0,194	1,567	4.154
T. Projeto N.Dutra	4,60	9117	1,433	-0,189	1,623	2.974
+0,25%	4,85	8558	1,533	-0,181	1,715	2.755
+0,50%	5,10	8092	1,487	-0,185	1,671	3.773
T. Projeto COPPE	4,60	10084	1,707	-0,169	1,875	1.151

onde:

MR = módulo de resiliência obtido no ensaio de laboratório;

σ_t = tensão de tração no revestimento obtida no programa ELSYM 5;

σ_c = tensão de compressão no revestimento obtida no programa ELSYM 5;

$\Delta\sigma$ = diferença entre as tensões de tração e compressão ($\sigma_t - \sigma_c$);

N = número de ciclos.

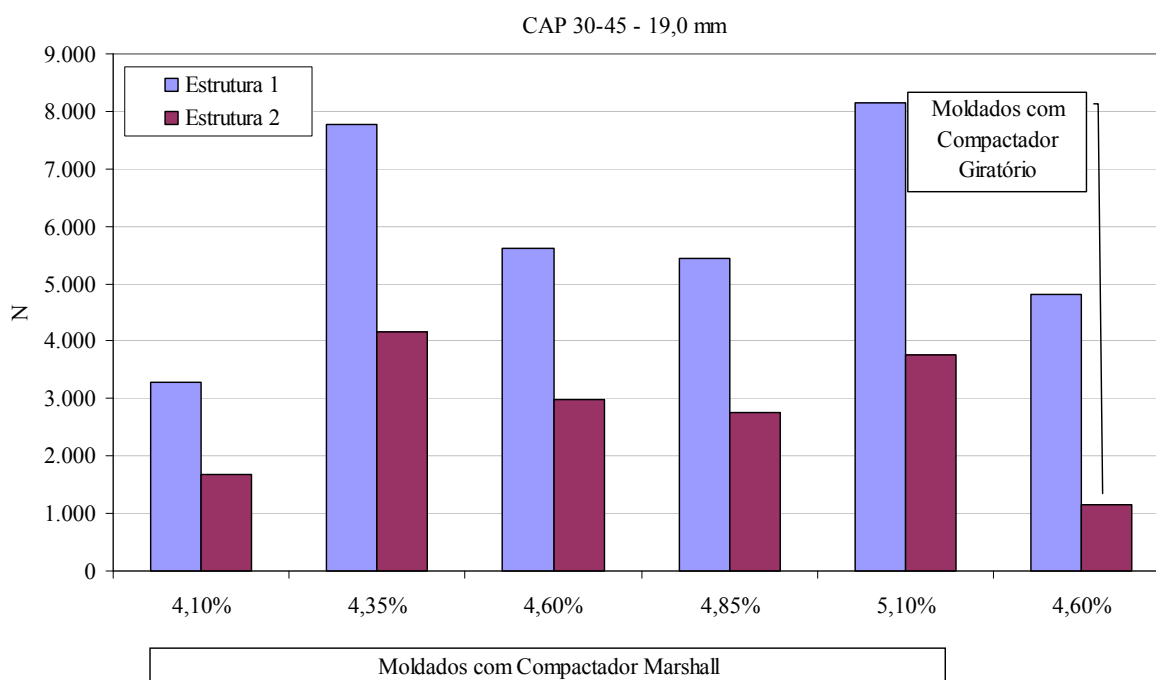


Figura A1.64: Resultados da análise de vida de fadiga de misturas com CAP 30-45 - Faixa 19,0 mm

Tabela A1.117: Resultados da análise mecânica com as estruturas 1 e 2 - CAP 50-70 - faixa 9,5 mm.

Estrutura 1						
Teor de ligante (%)		MR (MPa)	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,50%	4,30	6083	1,080	-0,141	1,221	5.293
-0,25%	4,55	7935	1,247	-0,125	1,371	5.976
T. Projeto N.Dutra	4,80	7075	1,173	-0,132	1,305	16.030
+0,25%	5,05	7369	1,200	-0,129	1,329	20.398
+0,50%	5,30	6743	1,140	-0,135	1,275	18.087
T. Projeto COPPE	5,10	7062	1,173	-0,132	1,305	19.642
Estrutura 2						
Teor de ligante (%)		MR (MPa)	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,50%	4,30	6083	1,187	-0,210	1,397	3.118
-0,25%	4,55	7935	1,447	-0,188	1,635	3.126
T. Projeto N.Dutra	4,80	7075	1,333	-0,197	1,531	7.540
+0,25%	5,05	7369	1,373	-0,194	1,567	9.931
+0,50%	5,30	6743	1,287	-0,201	1,488	9.771
T. Projeto COPPE	5,10	7062	1,333	-0,197	1,531	13.153

onde:

MR = módulo de resiliência obtido no ensaio de laboratório;

σ_t = tensão de tração no revestimento obtida no programa ELSYM 5;

σ_c = tensão de compressão no revestimento obtida no programa ELSYM 5;

$\Delta\sigma$ = diferença entre as tensões de tração e compressão ($\sigma_t - \sigma_c$);

N = número de ciclos.

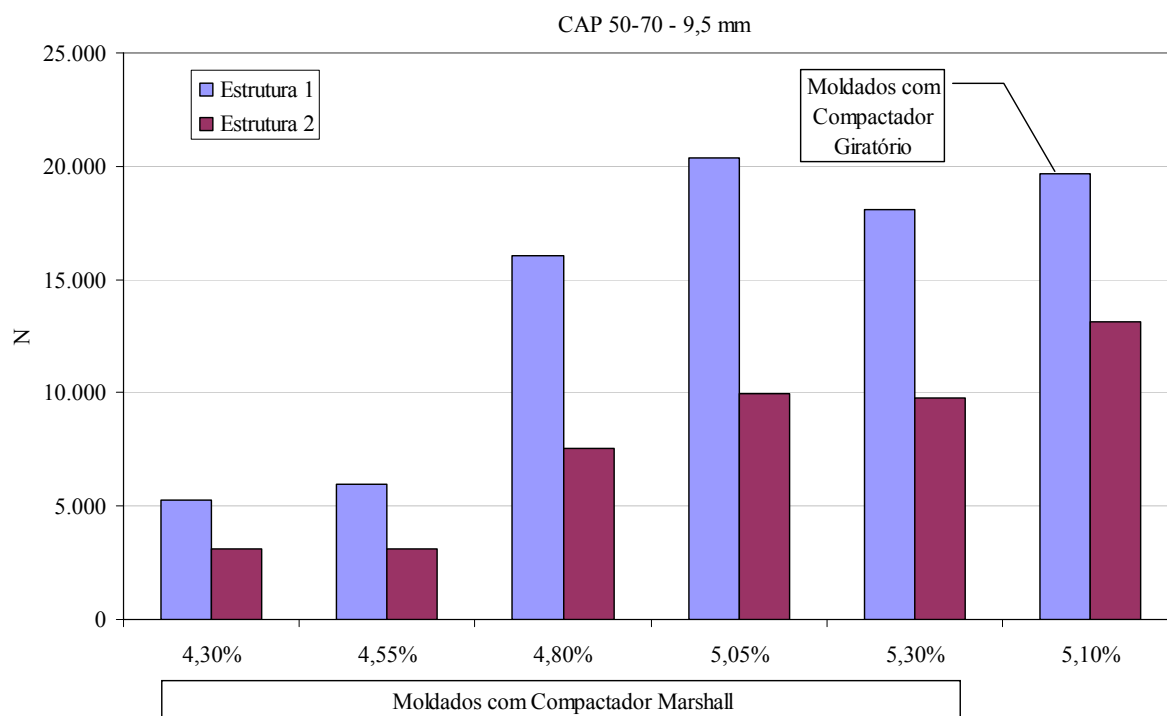


Figura A1.65: Resultados da análise de vida de fadiga de misturas com CAP 50-70 - Faixa 9,5 mm.

Tabela A1.118: Resultados da análise mecânica com as estruturas 1 e 2 - CAP 50-70 - Faixa 12,5 mm.

Estrutura 1						
Teor de ligante (%)		MR (MPa)	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,50%	3,70	6845	1,153	-0,134	1,287	5.347
-0,25%	3,95	7599	1,220	-0,127	1,347	13.596
T. Projeto N.Dutra	4,20	6878	1,153	-0,133	1,287	15.198
+0,25%	4,45	7479	1,213	-0,128	1,341	17.723
+0,50%	4,70	8003	1,253	-0,124	1,377	7.957
T. Projeto COPPE	4,20	7418	1,207	-0,129	1,335	8.367
Estrutura 2						
Teor de ligante (%)		MR (MPa)	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,50%	3,70	6845	1,300	-0,200	1,500	2.901
-0,25%	3,95	7599	1,407	-0,191	1,598	5.994
T. Projeto N.Dutra	4,20	6878	1,307	-0,200	1,507	7.067
+0,25%	4,45	7479	1,387	-0,193	1,579	9.286
+0,50%	4,70	8003	1,460	-0,187	1,647	3.687
T. Projeto COPPE	4,20	7418	1,380	-0,127	1,507	5.681
Estrutura 3						
Teor de ligante (%)		MR (MPa)	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,50%	3,70	6845	0,229	-0,201	0,430	429.428
-0,25%	3,95	7599	0,275	-0,194	0,469	2.146.305
T. Projeto N.Dutra	4,20	6878	0,231	-0,201	0,432	3.028.512
+0,25%	4,45	7479	0,268	-0,195	0,463	1.189.746
+0,50%	4,70	8003	0,300	-0,191	0,491	671.350
T. Projeto COPPE	4,20	7418	0,265	-0,196	0,461	253.843

onde:

MR = módulo de resiliência obtido no ensaio de laboratório;

σ_t = tensão de tração no revestimento obtida no programa ELSYM 5;

σ_c = tensão de compressão no revestimento obtida no programa ELSYM 5;

$\Delta\sigma$ = diferença entre as tensões de tração e compressão ($\sigma_t - \sigma_c$);

N = número de ciclos.

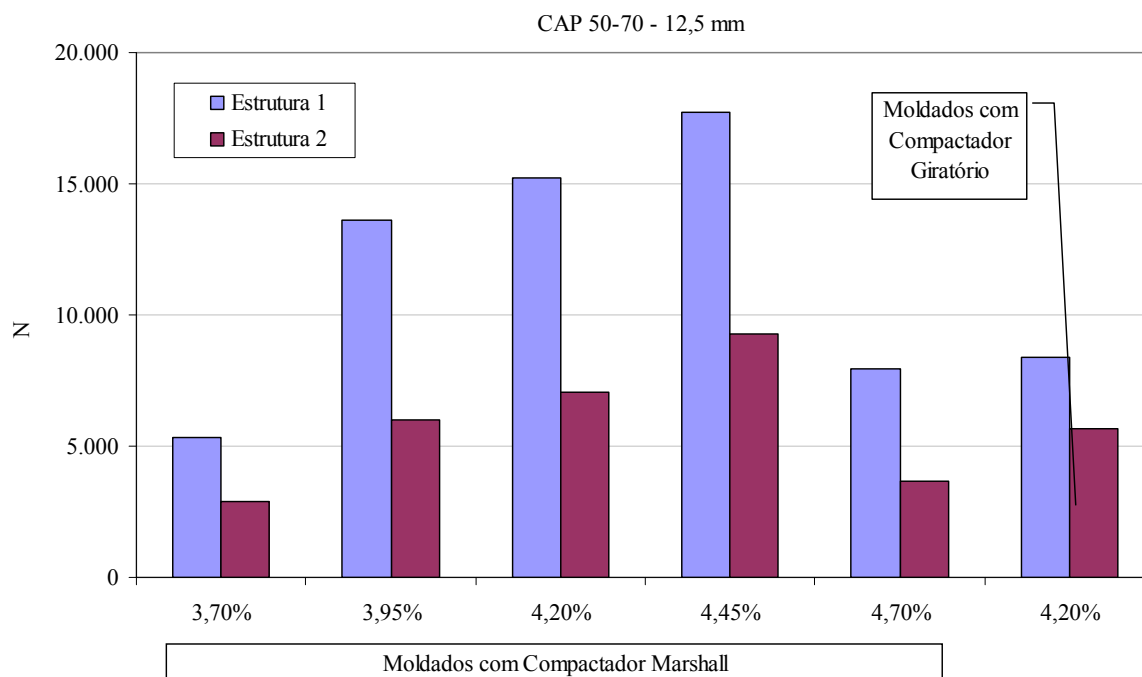


Figura A1.66: Resultados da análise de vida de fadiga de misturas com CAP 50-70 - Faixa 12,5 mm - Estruturas 1 e 2.

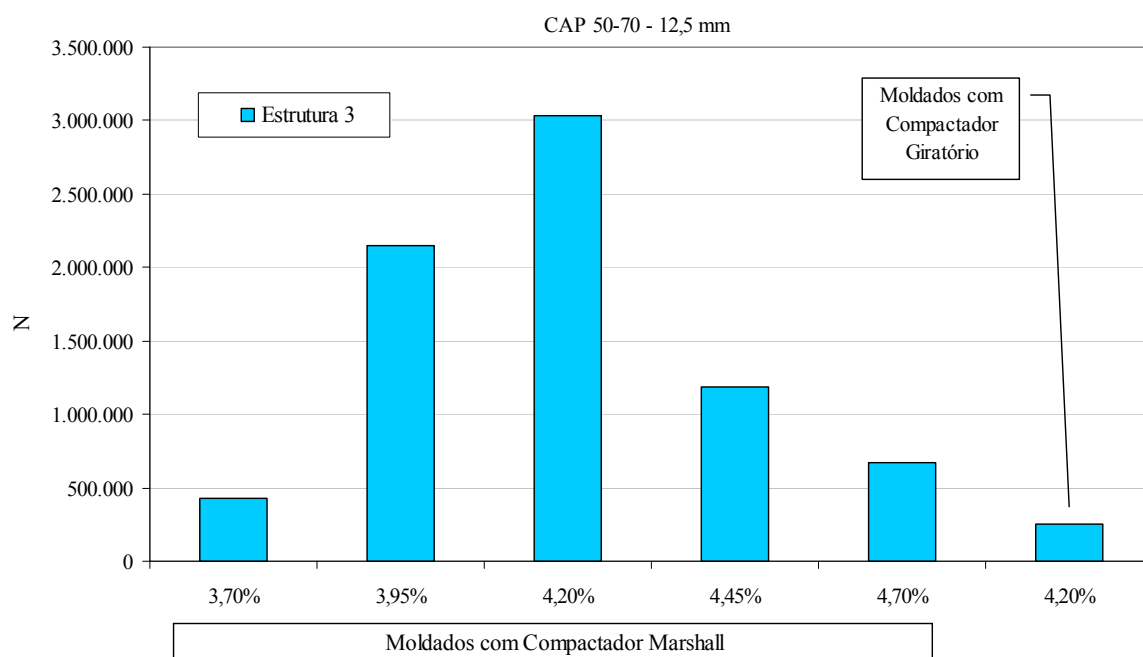


Figura A1.67: Resultados da análise de vida de fadiga de misturas com CAP 50-70 - Faixa 12,5 mm - Estrutura 3.

Tabela A1.119: Resultados da análise mecânica com as estruturas 1 e 2 - CAP 50-70 - Faixa 19,0 mm.

Estrutura 1						
Teor de ligante (%)		MR (MPa)	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,50%	4,00	6924	1,160	-0,133	1,293	2.096
-0,25%	4,25	7925	1,247	-0,125	1,371	2.755
T. Projeto N.Dutra	4,50	7607	1,220	-0,127	1,347	3.569
+0,25%	4,75	6209	1,093	-0,140	1,233	4.375
+0,50%	5,00	7309	1,193	-0,130	1,323	3.428
T. Projeto COPPE	4,50	11.583	1,220	-0,104	1,324	15.342
Estrutura 2						
Teor de ligante (%)		MR (MPa)	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,50%	4,00	6924	1,313	-0,199	1,513	1.137
-0,25%	4,25	7925	1,447	-0,188	1,635	1.431
T. Projeto N.Dutra	4,50	7607	1,407	-0,191	1,598	1.820
+0,25%	4,75	6209	1,207	-0,209	1,415	2.392
+0,50%	5,00	7309	1,367	-0,195	1,561	1.665
T. Projeto COPPE	4,50	11.583	1,527	-0,158	1,685	6.700

onde:

MR = módulo de resiliência obtido no ensaio de laboratório;

σ_t = tensão de tração no revestimento obtida no programa ELSYM 5;

σ_c = tensão de compressão no revestimento obtida no programa ELSYM 5;

$\Delta\sigma$ = diferença entre as tensões de tração e compressão ($\sigma_t - \sigma_c$);

N = número de ciclos.

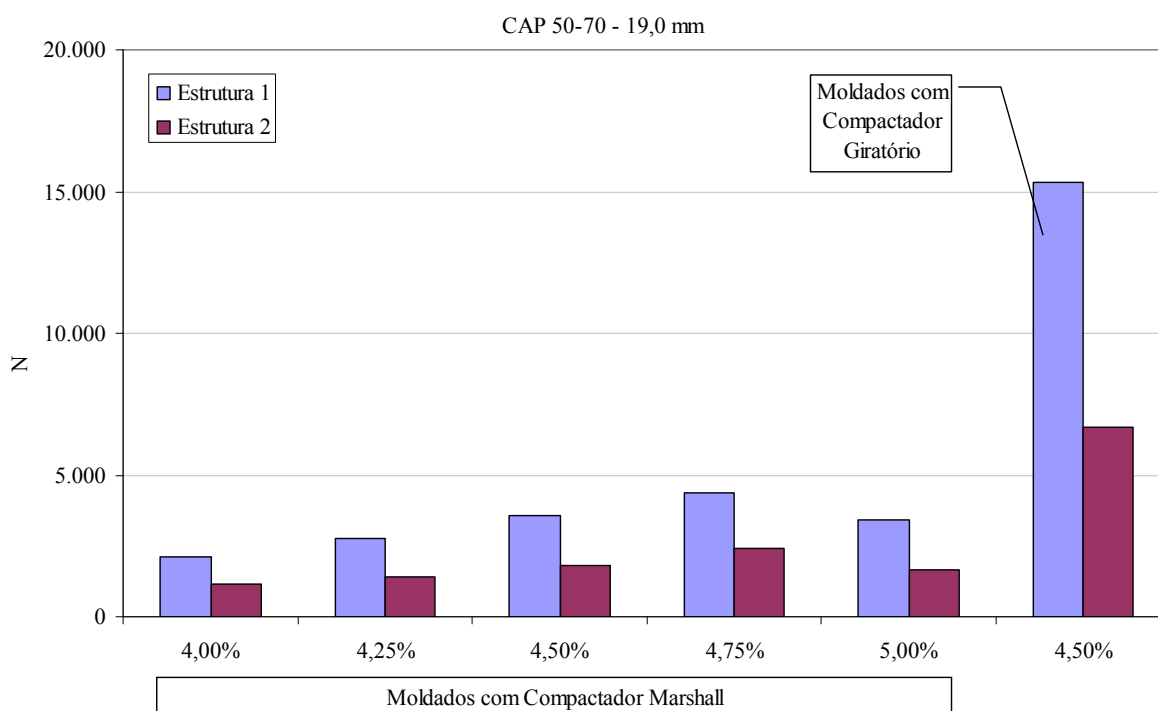


Figura A1.68: Resultados da análise de vida de fadiga de misturas com CAP 50-70 - Faixa 19,0 mm.

Tabela A1.120: Resultados da análise mecânica com as estruturas 1 e 2 - CAP SBS - Faixa 9,5 mm.

Estrutura 1						
Teor de ligante (%)		MR (MPa)	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,50%	4,70	4699	0,920	-0,159	1,079	17.833
-0,25%	4,95	5505	1,013	-0,147	1,161	22.808
T. Projeto N.Dutra	5,20	4539	0,900	-0,161	1,061	14.215
+0,25%	5,45	4487	0,893	-0,161	1,055	22.109
+0,50%	5,70	3895	0,813	-0,171	0,985	20.989
T. Projeto COPPE	5,15	3897	0,813	-0,171	0,985	10.717
Estrutura 2						
Teor de ligante (%)		MR (MPa)	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,50%	4,70	4699	0,953	-0,233	1,186	11.704
-0,25%	4,95	5505	1,093	-0,219	1,312	20.980
T. Projeto N.Dutra	5,20	4539	0,927	-0,236	1,163	9.687
+0,25%	5,45	4487	0,920	-0,237	1,157	14.201
+0,50%	5,70	3895	0,807	-0,250	1,057	18.056
T. Projeto COPPE	5,15	3897	0,807	-0,250	1,057	8.504

onde:

MR = módulo de resiliência obtido no ensaio de laboratório;

σ_t = tensão de tração no revestimento obtida no programa ELSYM 5;

σ_c = tensão de compressão no revestimento obtida no programa ELSYM 5;

$\Delta\sigma$ = diferença entre as tensões de tração e compressão ($\sigma_t - \sigma_c$);

N = número de ciclos.

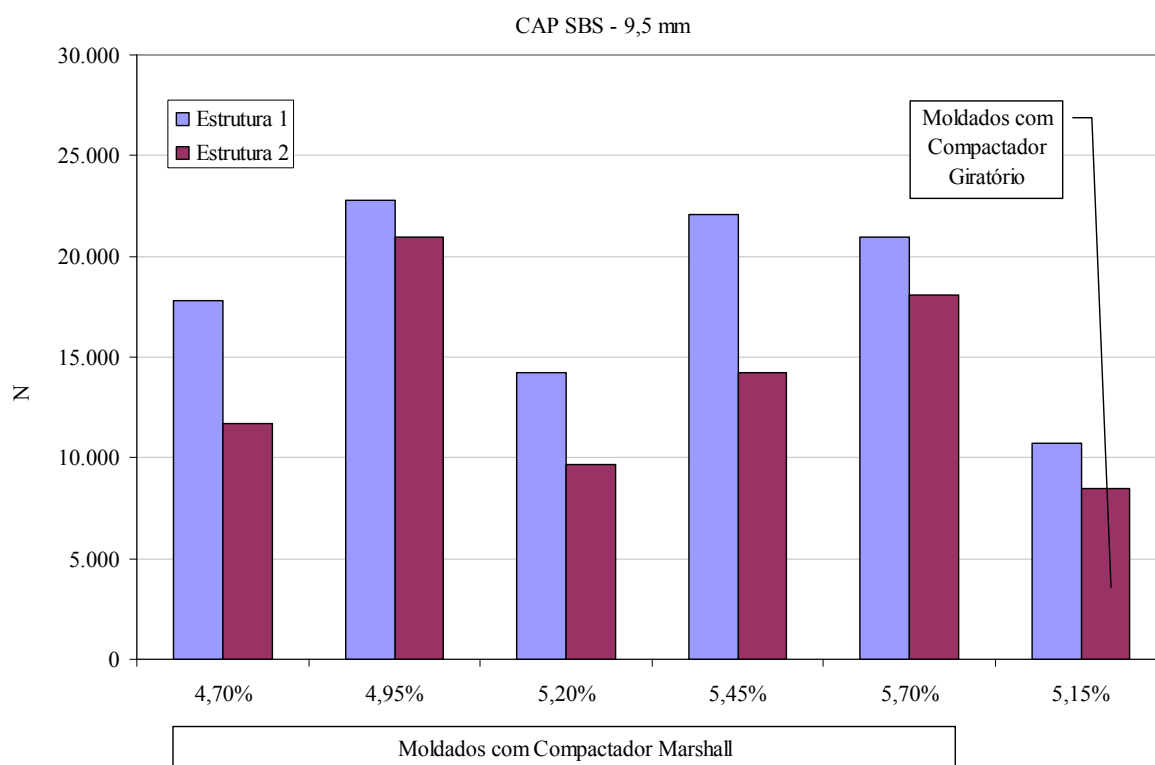


Figura A1.69: Resultados da análise de vida de fadiga de misturas com CAP SBS - Faixa 9,5 mm.

Tabela A1.121: Resultados da análise mecânica com as estruturas 1 e 2 - CAP SBS - Faixa 12,5 mm.

Estrutura 1						
Teor de ligante (%)		MR (MPa)	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,50%	4,20	4939	0,947	-0,155	1,101	10.708
-0,25%	4,45	5193	0,980	-0,151	1,131	14.612
T. Projeto N.Dutra	4,70	5213	0,980	-0,151	1,131	8.107
+0,25%	4,95	5428	1,007	-0,149	1,155	20.463
+0,50%	5,20	4764	0,927	-0,157	1,084	19.198
T. Projeto COPPE	4,70	3910	0,813	-0,171	0,985	11.707
Estrutura 2						
Teor de ligante (%)		MR (MPa)	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,50%	4,20	4939	1,000	-0,229	1,229	7.108
-0,25%	4,45	5193	1,040	-0,224	1,264	8.425
T. Projeto N.Dutra	4,70	5213	1,047	-0,224	1,271	5.401
+0,25%	4,95	5428	1,080	-0,220	1,300	11.808
+0,50%	5,20	4764	0,967	-0,232	1,199	11.721
T. Projeto COPPE	4,70	3910	0,807	-0,231	1,038	9.114
Estrutura 3						
Teor de ligante (%)		MR (MPa)	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,50%	4,20	4939	0,102	-0,224	0,326	1.022.181
-0,25%	4,45	5193	0,119	-0,221	0,340	5.717.353
T. Projeto N.Dutra	4,70	5213	0,121	-0,221	0,341	535.010
+0,25%	4,95	5428	0,135	-0,217	0,353	5.163.344
+0,50%	5,20	4764	0,089	-0,227	0,316	8.138.899
T. Projeto COPPE	4,70	3910	0,028	-0,240	0,268	5.590.814

onde:

MR = módulo de resiliência obtido no ensaio de laboratório;

σ_t = tensão de tração no revestimento obtida no programa ELSYM 5;

σ_c = tensão de compressão no revestimento obtida no programa ELSYM 5;

$\Delta\sigma$ = diferença entre as tensões de tração e compressão ($\sigma_t - \sigma_c$);

N = número de ciclos.

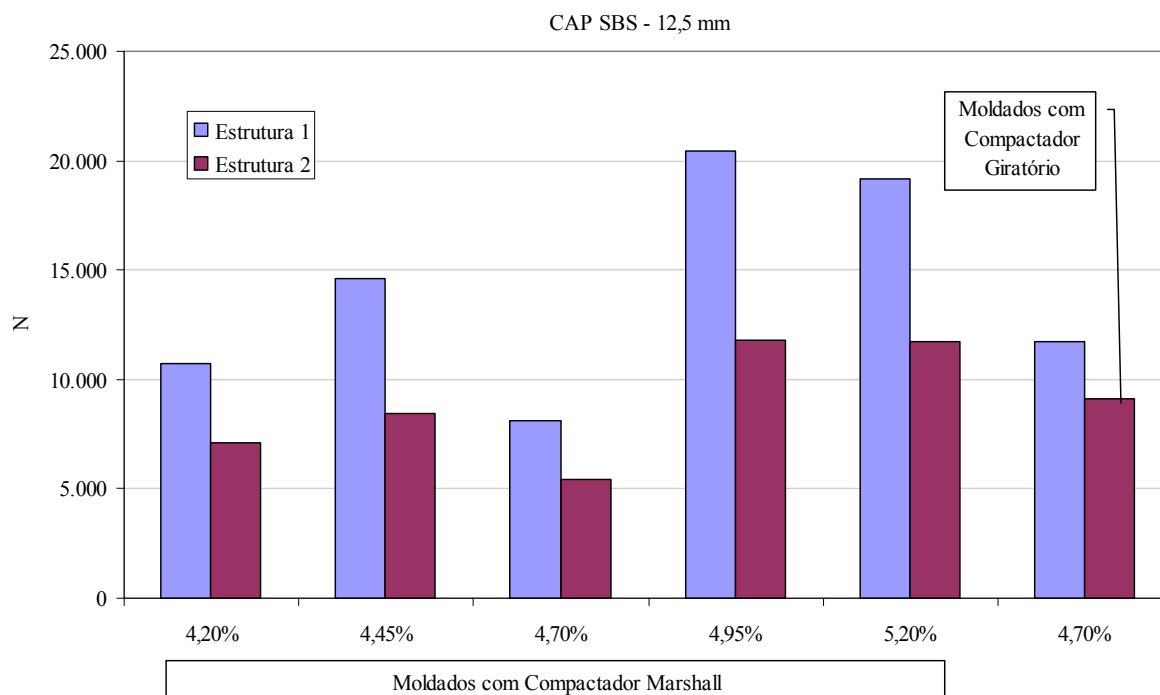


Figura A1.70: Resultados da análise de vida de fadiga de misturas com CAP SBS - Faixa 12,5 mm - Estruturas 1 e 2.

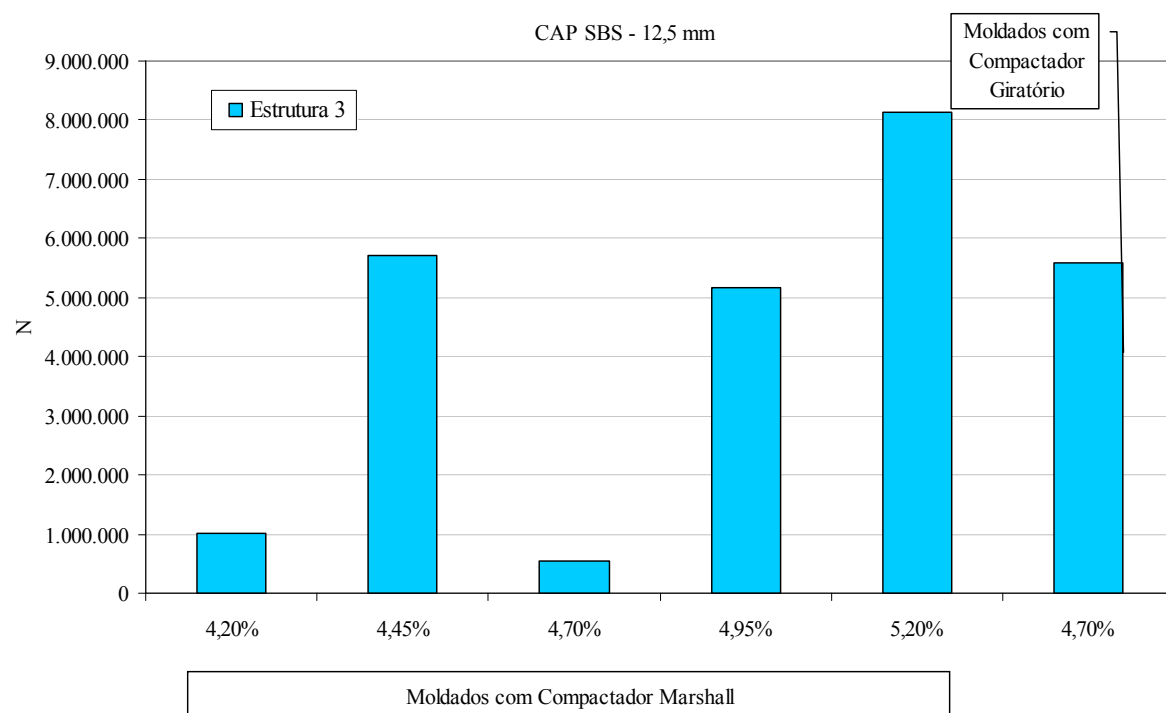


Figura A1.71: Resultados da análise de vida de fadiga de misturas com CAP SBS - Faixa 12,5 mm - Estrutura 3.

Tabela A1.122: Resultados da análise mecânica com as estruturas 1 e 2 - CAP SBS - Faixa 19,0 mm.

Estrutura 1						
Teor de ligante (%)		MR (MPa)	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,50%	3,60	6015	1,073	-0,142	1,215	13.192
-0,25%	3,85	5063	0,967	-0,153	1,120	10.445
T. Projeto N.Dutra	4,10	5467	1,013	-0,148	1,161	14.064
+0,25%	4,35	5225	0,987	-0,151	1,138	18.855
+0,50%	4,60	4673	0,920	-0,159	1,079	19.027
T. Projeto COPPE	4,10	5476	1,013	-0,148	1,161	9.017
Estrutura 2						
Teor de ligante (%)		MR (MPa)	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,50%	3,60	6015	1,173	-0,211	1,385	7.257
-0,25%	3,85	5063	1,020	-0,227	1,247	6.901
T. Projeto N.Dutra	4,10	5467	1,087	-0,219	1,306	8.395
+0,25%	4,35	5225	1,047	-0,223	1,270	11.502
+0,50%	4,60	4673	0,953	-0,233	1,187	12.643
T. Projeto COPPE	4,10	5476	1,093	-0,219	1,313	5.113

onde:

MR = módulo de resiliência obtido no ensaio de laboratório;

σ_t = tensão de tração no revestimento obtida no programa ELSYM 5;

σ_c = tensão de compressão no revestimento obtida no programa ELSYM 5;

$\Delta\sigma$ = diferença entre as tensões de tração e compressão ($\sigma_t - \sigma_c$);

N = número de ciclos.

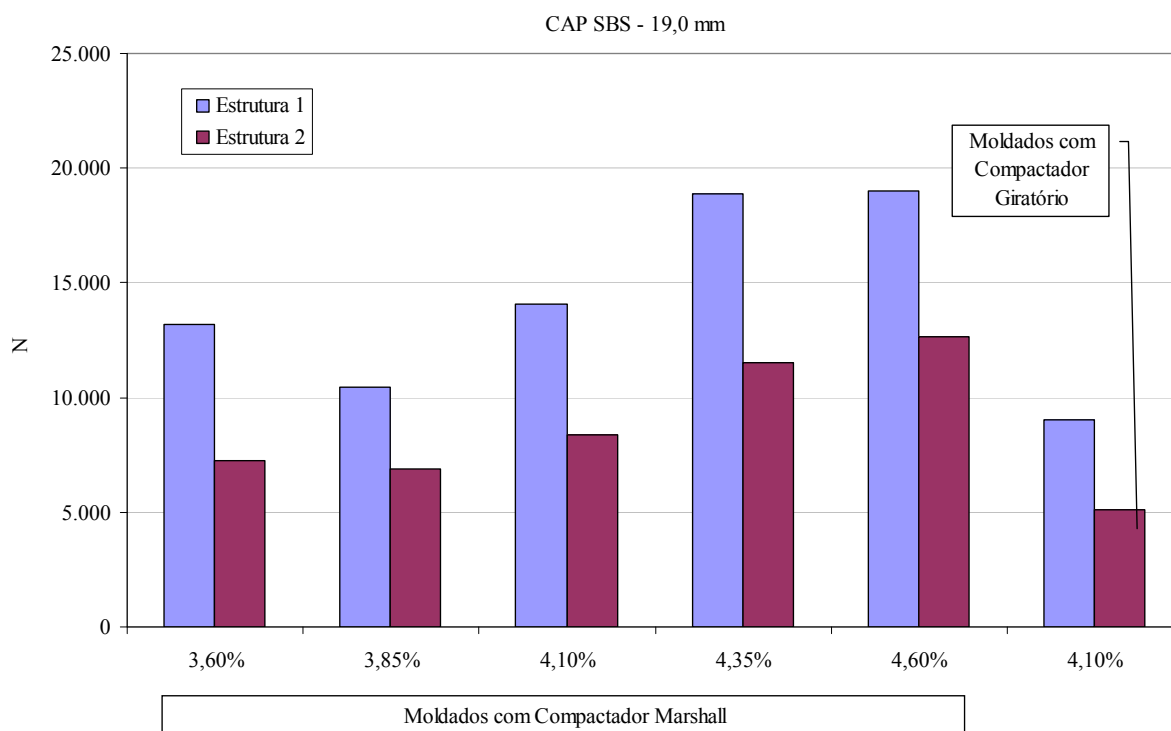


Figura A1.72: Resultados da análise de vida de fadiga de misturas com CAP SBS - Faixa 19,0 mm.

Tabela A1.123: Resultados da análise mecânica com as estruturas 1 e 2 - Ecoflex B - Faixa 9,5 mm.

Estrutura 1						
Teor de ligante (%)		MR (MPa)	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,50%	5,40	5115	0,973	-0,153	1,126	16.562
-0,25%	5,65	5979	1,067	-0,142	1,209	26.574
T. Projeto N.Dutra	5,90	4934	0,947	-0,155	1,102	17.362
+0,25%	6,15	4798	0,933	-0,157	1,090	38.749
+0,50%	6,40	4937	0,947	-0,155	1,101	41.708
T. Projeto COPPE	5,90	4764	0,927	-0,157	1,084	37.736
Estrutura 2						
Teor de ligante (%)		MR (MPa)	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,50%	5,40	5115	1,027	-0,225	1,252	8.178
-0,25%	5,65	5979	1,173	-0,212	1,385	13.611
T. Projeto N.Dutra	5,90	4934	1,000	-0,229	1,229	11.020
+0,25%	6,15	4798	0,973	-0,231	1,205	26.242
+0,50%	6,40	4937	1,000	-0,229	1,229	24.056
T. Projeto COPPE	5,90	4764	0,967	-0,232	1,199	25.592

onde:

MR = módulo de resiliência obtido no ensaio de laboratório;

σ_t = tensão de tração no revestimento obtida no programa ELSYM 5;

σ_c = tensão de compressão no revestimento obtida no programa ELSYM 5;

$\Delta\sigma$ = diferença entre as tensões de tração e compressão ($\sigma_t - \sigma_c$);

N = número de ciclos.

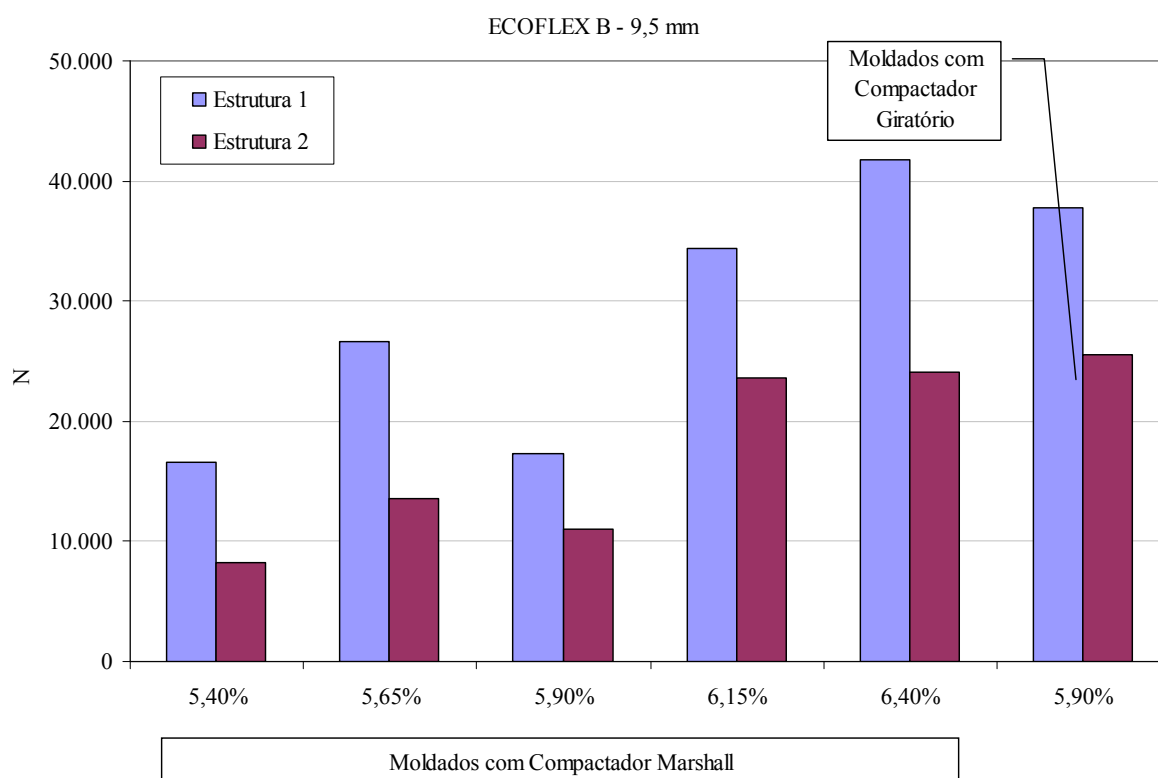


Figura A1.73: Resultados da análise de vida de fadiga de misturas com ECOFLEX B - Faixa 9,5 mm.

Tabela A1.124: Resultados da análise mecanística com as estruturas 1 e 2 - ECOFLEX B - Faixa 12,5 mm.

Estrutura 1						
Teor de ligante (%)		MR (MPa)	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,50%	4,80	4095	0,840	-0,168	1,008	9409
-0,25%	5,05	4937	0,947	-0,155	1,101	29012
T. Projeto N.Dutra	5,30	4585	0,907	-0,160	1,067	31650
+0,25%	5,55	4982	0,953	-0,155	1,108	23634
+0,50%	5,80	6326	1,100	-0,139	1,239	20964
T. Projeto COPPE	5,30	4547	0,900	-0,161	1,061	31797
Estrutura 2						
Teor de ligante (%)		MR (MPa)	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,50%	4,80	4095	0,840	-0,245	1,085	7029
-0,25%	5,05	4937	1,000	-0,229	1,229	16674
T. Projeto N.Dutra	5,30	4585	0,933	-0,235	1,169	19822
+0,25%	5,55	4982	1,007	-0,228	1,235	14534
+0,50%	5,80	6326	1,100	-0,139	1,239	15333
T. Projeto COPPE	5,30	4547	0,927	-0,236	1,163	28943
Estrutura 3						
Teor de ligante (%)		MR (MPa)	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,50%	4,80	4095	0,419	-0,237	0,655	51.463
-0,25%	5,05	4937	0,101	-0,224	0,325	13.914.540
T. Projeto N.Dutra	5,30	4585	0,077	-0,229	0,306	19.015.475
+0,25%	5,55	4982	0,105	-0,223	0,328	5.601.558
+0,50%	5,80	6326	0,047	-0,236	0,283	5.858.162
T. Projeto COPPE	5,30	4547	0,074	-0,230	0,304	13.097.430

onde:

MR = módulo de resiliência obtido no ensaio de laboratório;

σ_t = tensão de tração no revestimento obtida no programa ELSYM 5;

σ_c = tensão de compressão no revestimento obtida no programa ELSYM 5;

$\Delta\sigma$ = diferença entre as tensões de tração e compressão ($\sigma_t - \sigma_c$);

N = número de ciclos.

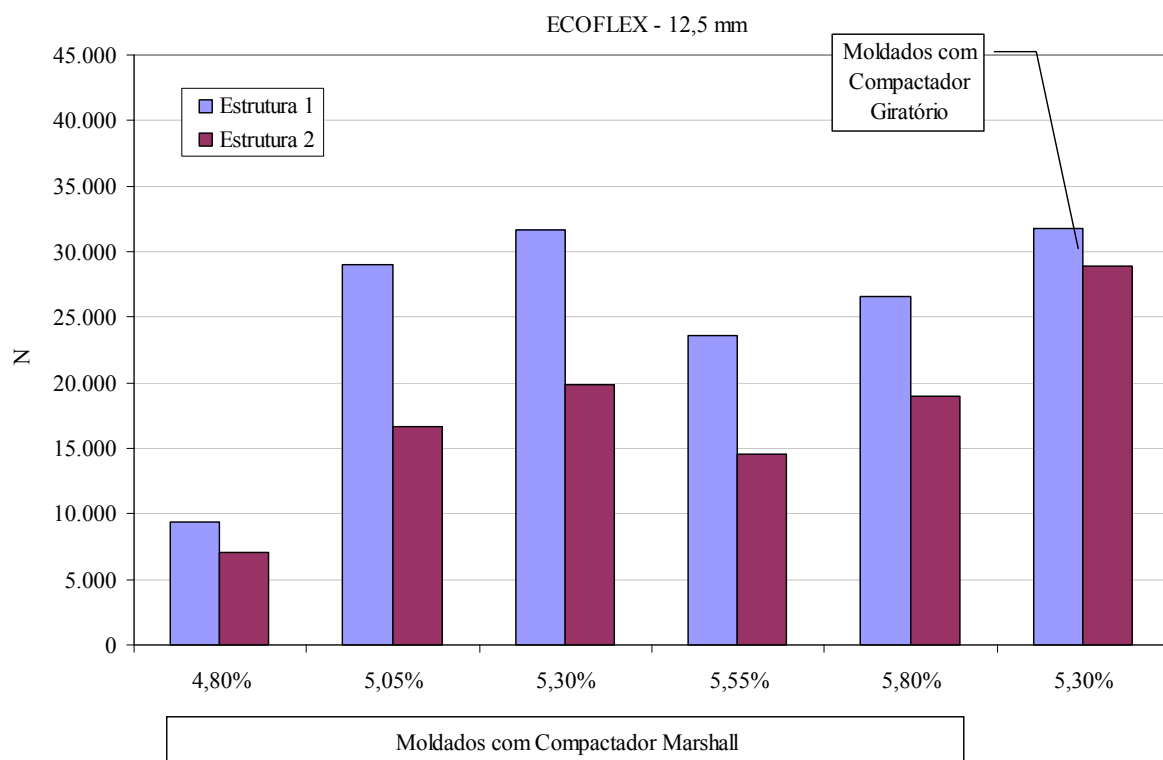


Figura A1.74: Resultados da análise de vida de fadiga de misturas com ECOFLEX B - Faixa 12,5 mm - Estruturas 1 e 2.

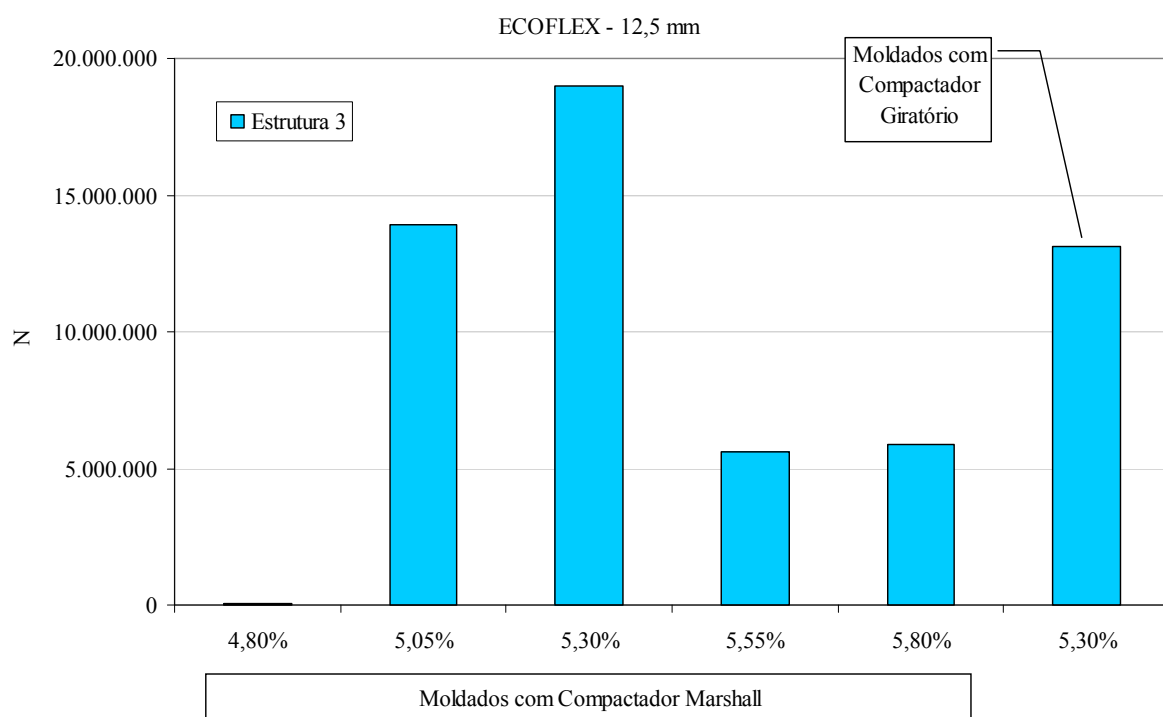


Figura A1.75: Resultados da análise de vida de fadiga de misturas com ECOFLEX B - Faixa 12,5 mm - Estrutura 3.

Tabela A1.125: Resultados da análise mecânica com as estruturas 1 e 2 - ECOFLEX B - Faixa 19,0 mm.

Estrutura 1						
Teor de ligante (%)		MR (MPa)	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,50%	4,20	6048	1,073	-0,141	1,215	6.885
-0,25%	4,45	5723	1,040	-0,145	1,185	18.394
T. Projeto N.Dutra	4,70	6244	1,093	-0,139	1,233	20.403
+0,25%	4,95	7414	1,207	-0,129	1,335	15.163
+0,50%	5,20	6326	1,100	-0,139	1,239	16.216
T. Projeto COPPE	4,70	3078	0,687	-0,189	0,876	28.914
Estrutura 2						
Teor de ligante (%)		MR (MPa)	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,50%	4,20	6048	1,180	-0,211	1,391	3.599
-0,25%	4,45	5723	1,133	-0,215	1,349	9.271
T. Projeto N.Dutra	4,70	6244	1,213	-0,208	1,421	10.523
+0,25%	4,95	7414	1,380	-0,193	1,573	6.798
+0,50%	5,20	6326	1,227	-0,207	1,433	7.565
T. Projeto COPPE	4,70	3078	0,630	-0,268	0,898	26.289

onde:

MR = módulo de resiliência obtido no ensaio de laboratório;

σ_t = tensão de tração no revestimento obtida no programa ELSYM 5;

σ_c = tensão de compressão no revestimento obtida no programa ELSYM 5;

$\Delta\sigma$ = diferença entre as tensões de tração e compressão ($\sigma_t - \sigma_c$);

N = número de ciclos.

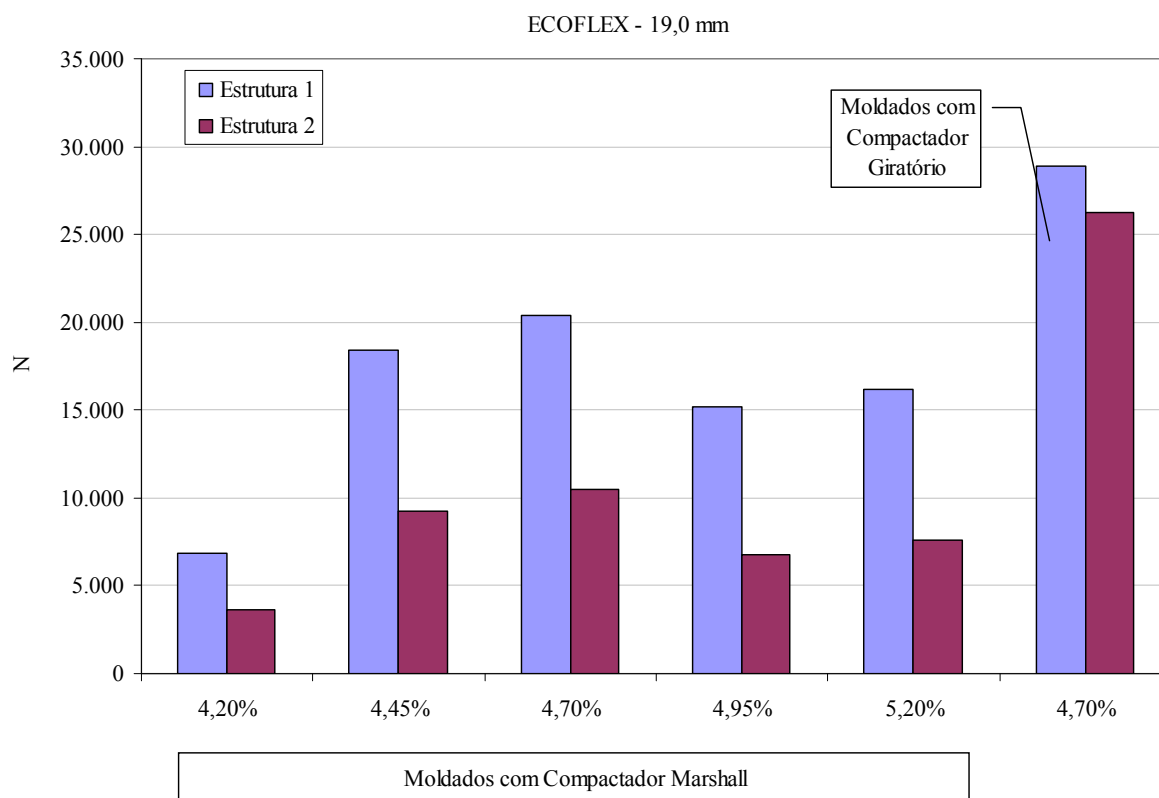


Figura A1.76: Resultados da análise de vida de fadiga de misturas com Ecoflex B - Faixa 19,0 mm.

ANEXO 2 - GAP GRADED: Dosagem e Resultados dos Ensaios

Volumétricos e Mecânicos

A2.1. Dosagem de GAP GRADED

A2.1.1. GAP GRADED, Faixa 19,0mm, com CAP STYLINK Tipo 60/85

Para atender a faixa granulométrica 19,0 mm CALTRANS foram moldados 3 corpos de prova no compactador giratório para cada teor (4,00%, 4,50% e 5,00%) de ligante CAP STYLINK 60/85. Na **Tabela A2.1** e na **Figura A2.1** são mostrados os valores obtidos para os parâmetros volumétricos dos corpos de prova moldados para a dosagem.

Tabela A2.1: Parâmetros volumétricos e mecânicos das misturas com Stylink 60/85, faixa 19,0 mm.

Teor de ligante (%)	Massa específica aparente (g/cm ³)	Densidade máxima da mistura	Volume de Vazios (%)	VAM	RBV	MR (MPa)	RT (MPa)
4,00%	2,400	2,586	7,8	17,3	55,1	9,5	0,90
4,50%	2,412	2,565	6,4	17,1	62,9	10,8	0,89
5,00%	2,423	2,540	4,8	16,8	71,3	12,0	0,92

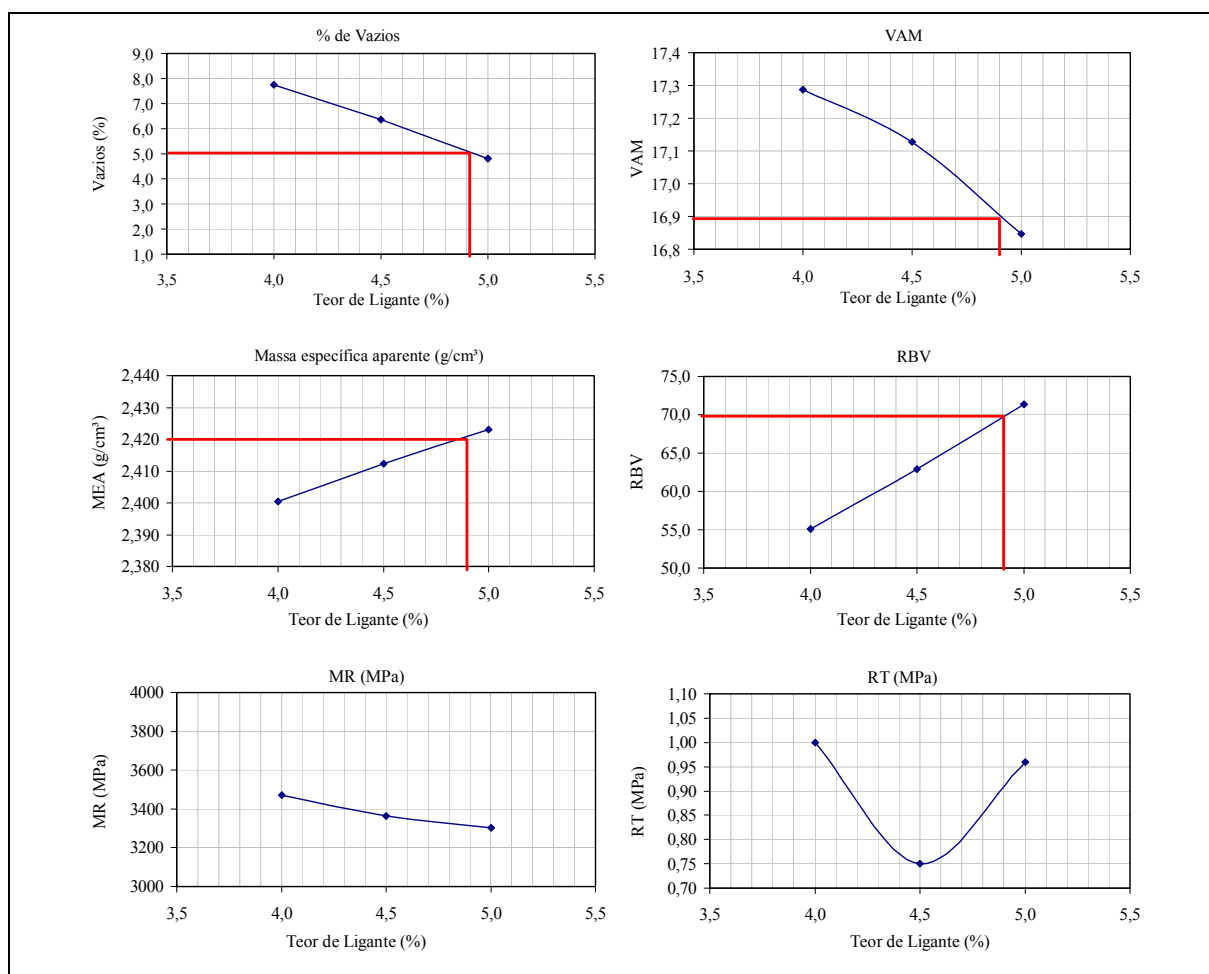


Figura A2.1: Variação dos parâmetros volumétricos e mecânicos de misturas asfálticas com Stylink 60/85, faixa 19,0 mm CALTRANS.

O teor de projeto obtido a partir da moldagem de corpos de prova empregando compactador giratório na COPPE foi de 4,90%. E o teor de projeto de ligante para esta mistura apresentado pela Nova Dutra foi de 4,70%. A partir desse teor, os demais teores utilizados para a moldagem dos corpos de prova no estudo são apresentados em seguida.

Teor de ligante - NOVA DUTRA					Teor de ligante - COPPE
-0,50%	-0,25%	Teor de projeto	+0,25%	+0,50%	Teor de projeto
4,20%	4,45%	4,70%	4,95%	5,20%	4,90%
Foram moldados 22 corpos de prova de cada teor com compactador MARSHALL - 75 golpes					Foram moldados 22 corpos de prova com compactador giratório - 100 giros

A2.1.2. GAP GRADED, Faixa 19,0mm, com CAP Borracha ECOFLEX Pave B

Para obter o teor de projeto da mistura tipo *gap graded* com CAP ECOFLEX Pave B foram moldados 3 corpos de prova para cada teor (5,50%, 6,00% e 6,50%) de ligante. Os resultados dos parâmetros volumétricos e mecânicos estão apresentados na **Tabela A2.2**. A **Figura A2.2** mostra os gráficos representativos dos parâmetros volumétricos e mecânicos versus os teores de asfalto.

Tabela A2.2: Parâmetros volumétricos e mecânicos de misturas asfálticas com Ecoflex Pave B, faixa 19,0 mm.

Teor de ligante (%)	Massa específica aparente (g/cm ³)	Densidade máxima da mistura	Volume de Vazios (%)	VAM	RBV	MR (MPa)	RT (MPa)
5,50%	2,389	2,523	5,3	18,3	71,1	13,0	0,82
6,00%	2,402	2,504	4,1	18,4	77,8	14,3	0,91
6,50%	2,416	2,483	3,0	18,6	83,8	15,6	0,86

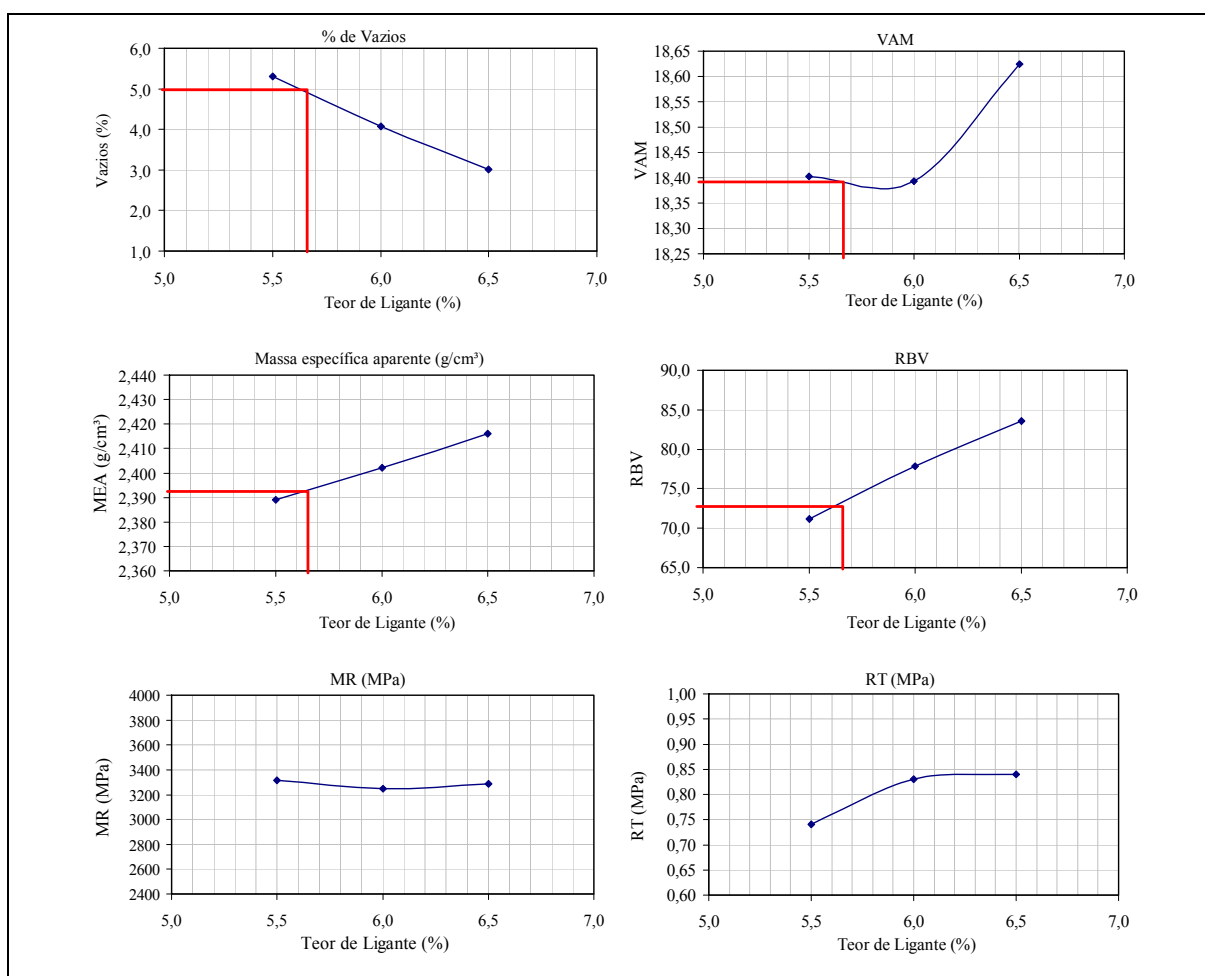


Figura A2.2: Variação dos parâmetros volumétricos e mecânicos das misturas asfálticas com Ecoflex Pave B, faixa 19,0 mm CALTRANS.

O teor de projeto obtido a partir da moldagem de corpos de prova empregando compactador giratório na COPPE foi de 5,65%. Enquanto que o teor de projeto de ligante para esta mistura apresentado pela Nova Dutra foi de 6,0%. A partir desse teor, os demais teores utilizados para a moldagem dos corpos de prova são apresentados em seguida.

Teor de ligante - NOVA DUTRA					Teor de ligante - COPPE	
-0,50%	-0,25%	Teor de projeto	+0,25%	+0,50%	Teor de projeto	
5,50%	5,75%	6,00%	6,25%	6,50%	5,65%	
Foram moldados 22 corpos de prova de cada teor com compactador MARSHALL - 75 golpes					Foram moldados 22 corpos de prova com compactador giratório - 100 giros	

A2.2. Resultados dos Ensaio Volumétricos

A2.2.1. GAP GRADED, Faixa 19,0mm, com CAP STYLINK Tipo 60/85

As Tabelas A2.3 a A2.7 apresentam os resultados dos parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com CAP STYLINK Tipo 60/85 moldadas com compactador Marshall e a Tabela A2.8 apresenta os resultados das misturas moldadas com compactador giratório.

Tabela A2.3: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,20% de Stylink 60/85 moldados no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	Gmm	MEA (g/cm ³)	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,20	2,643	2,383	9,8	9,7	19,6	49,7
2	4,20	2,643	2,425	8,2	9,9	18,1	54,5
3	4,20	2,643	2,431	8,0	9,9	17,9	55,3
4	4,20	2,643	2,406	9,0	9,8	18,8	52,2
5	4,20	2,643	2,383	9,8	9,7	19,6	49,7
6	4,20	2,643	2,384	9,8	9,7	19,5	49,8
7	4,20	2,643	2,380	9,9	9,7	19,6	49,4
8	4,20	2,643	2,391	9,5	9,7	19,3	50,6
9	4,20	2,643	2,410	8,8	9,8	18,6	52,8
10	4,20	2,643	2,416	8,6	9,8	18,5	53,4
11	4,20	2,643	2,389	9,6	9,7	19,3	50,4
12	4,20	2,643	2,395	9,4	9,8	19,2	51,0
13	4,20	2,643	2,377	10,1	9,7	19,8	49,1
14	4,20	2,643	2,389	9,6	9,7	19,4	50,3
15	4,20	2,643	2,404	9,1	9,8	18,9	52,0
16	4,20	2,643	2,406	9,0	9,8	18,8	52,3
17	4,20	2,643	2,423	8,3	9,9	18,2	54,2
18	4,20	2,643	2,395	9,4	9,8	19,1	51,0
19	4,20	2,643	2,394	9,4	9,8	19,2	50,9
20	4,20	2,643	2,394	9,4	9,8	19,2	50,9
21	4,20	2,643	2,380	10,0	9,7	19,7	49,4
22	4,20	2,643	2,396	9,3	9,8	19,1	51,1
MÉDIA	4,20	2,643	2,398	9,3	9,8	19,1	51,4

Tabela A2.4: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,45% de Stylink 60/85 moldados no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	Gmm	MEA (g/cm ³)	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,45	2,623	2,381	9,2	10,3	19,5	52,7
2	4,45	2,623	2,407	8,3	10,4	18,6	55,7
3	4,45	2,623	2,410	8,1	10,4	18,5	56,2
4	4,45	2,623	2,421	7,7	10,5	18,2	57,6
5	4,45	2,623	2,423	7,6	10,5	18,1	57,8
6	4,45	2,623	2,418	7,8	10,4	18,2	57,3
7	4,45	2,623	2,390	8,9	10,3	19,2	53,7
8	4,45	2,623	2,397	8,6	10,4	19,0	54,5
9	4,45	2,623	2,388	9,0	10,3	19,3	53,5
10	4,45	2,623	2,421	7,7	10,5	18,1	57,7
11	4,45	2,623	2,398	8,6	10,4	18,9	54,7
12	4,45	2,623	2,397	8,6	10,4	19,0	54,6
13	4,45	2,623	2,400	8,5	10,4	18,9	55,0
14	4,45	2,623	2,430	7,4	10,5	17,9	58,8
15	4,45	2,623	2,425	7,5	10,5	18,0	58,2
16	4,45	2,623	2,421	7,7	10,5	18,1	57,6
17	4,45	2,623	2,425	7,5	10,5	18,0	58,2
18	4,45	2,623	2,436	7,1	10,5	17,6	59,6
19	4,45	2,623	2,397	8,6	10,4	19,0	54,5
20	4,45	2,623	2,416	7,9	10,4	18,3	57,0
21	4,45	2,623	2,427	7,5	10,5	17,9	58,4
22	4,45	2,623	2,421	7,7	10,5	18,2	57,6
MÉDIA	4,45	2,623	2,411	8,1	10,4	18,5	56,4

Tabela A2.5: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,70% de Stylink 60/85 moldados no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	Gmm	MEA (g/cm ³)	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,70	2,603	2,443	6,1	11,1	17,3	64,5
2	4,70	2,603	2,426	6,8	11,1	17,9	61,9
3	4,70	2,603	2,435	6,4	11,1	17,6	63,3
4	4,70	2,603	2,429	6,7	11,1	17,8	62,4
5	4,70	2,603	2,441	6,2	11,1	17,4	64,1
6	4,70	2,603	2,423	6,9	11,1	18,0	61,5
7	4,70	2,603	2,412	7,3	11,0	18,3	60,0
8	4,70	2,603	2,417	7,2	11,0	18,2	60,6
9	4,70	2,603	2,423	6,9	11,1	18,0	61,5
10	4,70	2,603	2,418	7,1	11,0	18,1	60,9
11	4,70	2,603	2,420	7,0	11,0	18,1	61,1
12	4,70	2,603	2,436	6,4	11,1	17,5	63,4
13	4,70	2,603	2,419	7,1	11,0	18,1	61,0
14	4,70	2,603	2,425	6,8	11,1	17,9	61,9
15	4,70	2,603	2,433	6,5	11,1	17,6	63,0
16	4,70	2,603	2,394	8,0	10,9	19,0	57,6
17	4,70	2,603	2,419	7,1	11,0	18,1	61,0
18	4,70	2,603	2,432	6,6	11,1	17,7	62,8
19	4,70	2,603	2,423	6,9	11,1	18,0	61,5
20	4,70	2,603	2,427	6,8	11,1	17,8	62,1
21	4,70	2,603	2,425	6,8	11,1	17,9	61,8
22	4,70	2,603	2,416	7,2	11,0	18,2	60,6
MÉDIA	4,70	2,603	2,424	6,9	11,1	17,9	61,7

Tabela A2.6: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,95% de Stylink 60/85 moldados no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	Gm	MEA (g/cm ³)	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,95	2,583	2,451	5,1	11,8	16,9	69,8
2	4,95	2,583	2,429	6,0	11,7	17,6	66,2
3	4,95	2,583	2,424	6,2	11,6	17,8	65,4
4	4,95	2,583	2,430	5,9	11,7	17,6	66,4
5	4,95	2,583	2,440	5,6	11,7	17,3	67,9
6	4,95	2,583	2,437	5,6	11,7	17,4	67,5
7	4,95	2,583	2,414	6,5	11,6	18,1	64,0
8	4,95	2,583	2,433	5,8	11,7	17,5	66,8
9	4,95	2,583	2,424	6,2	11,6	17,8	65,4
10	4,95	2,583	2,413	6,6	11,6	18,2	63,8
11	4,95	2,583	2,446	5,3	11,8	17,1	68,8
12	4,95	2,583	2,451	5,1	11,8	16,9	69,8
13	4,95	2,583	2,432	5,8	11,7	17,5	66,7
14	4,95	2,583	2,388	7,6	11,5	19,0	60,3
15	4,95	2,583	2,418	6,4	11,6	18,0	64,6
16	4,95	2,583	2,430	5,9	11,7	17,6	66,3
17	4,95	2,583	2,421	6,3	11,6	17,9	65,0
18	4,95	2,583	2,429	5,9	11,7	17,6	66,3
19	4,95	2,583	2,424	6,2	11,6	17,8	65,4
20	4,95	2,583	2,453	5,0	11,8	16,8	70,0
21	4,95	2,583	2,455	5,0	11,8	16,8	70,4
22	4,95	2,583	2,421	6,3	11,6	17,9	64,9
MÉDIA	4,95	2,583	2,430	5,9	11,7	17,6	66,4

Tabela A2.7: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 5,20% de Stylink 60/85 moldados no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	Gmm	MEA (g/cm ³)	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	5,20	2,563	2,465	3,8	12,4	16,3	76,5
2	5,20	2,563	2,444	4,6	12,3	17,0	72,6
3	5,20	2,563	2,451	4,4	12,4	16,8	73,8
4	5,20	2,563	2,449	4,5	12,4	16,8	73,5
5	5,20	2,563	2,447	4,5	12,4	16,9	73,1
6	5,20	2,563	2,438	4,9	12,3	17,2	71,7
7	5,20	2,563	2,415	5,8	12,2	18,0	67,8
8	5,20	2,563	2,447	4,5	12,4	16,9	73,2
9	5,20	2,563	2,425	5,4	12,2	17,6	69,4
10	5,20	2,563	2,436	4,9	12,3	17,2	71,3
11	5,20	2,563	2,433	5,1	12,3	17,4	70,8
12	5,20	2,563	2,452	4,3	12,4	16,7	74,0
13	5,20	2,563	2,426	5,4	12,2	17,6	69,6
14	5,20	2,563	2,440	4,8	12,3	17,1	72,0
15	5,20	2,563	2,398	6,4	12,1	18,6	65,2
16	5,20	2,563	2,453	4,3	12,4	16,7	74,3
17	5,20	2,563	2,456	4,2	12,4	16,6	74,8
18	5,20	2,563	2,441	4,8	12,3	17,1	72,1
19	5,20	2,563	2,430	5,2	12,3	17,5	70,2
20	5,20	2,563	2,413	5,8	12,2	18,0	67,6
21	5,20	2,563	2,454	4,3	12,4	16,6	74,4
22	5,20	2,563	2,439	4,8	12,3	17,1	71,9
MÉDIA	5,20	2,563	2,439	4,9	12,3	17,2	71,8

Tabela A2.8: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 4,90% de Stylink 60/85 moldados no compactador giratório.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	Gmm	MEA (g/cm ³)	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,90	2,553	2,423	5,1	11,8	16,9	69,8
2	4,90	2,553	2,420	5,2	11,8	17,0	69,3
3	4,90	2,553	2,422	5,1	11,8	16,9	69,6
4	4,90	2,553	2,440	4,4	11,9	16,3	72,8
5	4,90	2,553	2,436	4,6	11,8	16,4	72,1
6	4,90	2,553	2,420	5,2	11,8	17,0	69,3
7	4,90	2,553	2,433	4,7	11,8	16,5	71,6
8	4,90	2,553	2,436	4,6	11,8	16,4	72,1
9	4,90	2,553	2,453	3,9	11,9	15,8	75,3
10	4,90	2,553	2,439	4,5	11,9	16,3	72,6
11	4,90	2,553	2,432	4,7	11,8	16,6	71,4
12	4,90	2,553	2,451	4,6	11,8	16,4	72,1
13	4,90	2,553	2,438	4,5	11,9	16,3	72,5
14	4,90	2,553	2,444	4,3	11,9	16,2	73,5
15	4,90	2,553	2,423	5,1	11,8	16,9	69,8
16	4,90	2,553	2,423	5,1	11,8	16,9	69,9
17	4,90	2,553	2,440	4,4	11,9	16,3	72,8
18	4,90	2,553	2,433	4,7	11,8	16,5	71,5
19	4,90	2,553	2,436	4,6	11,8	16,4	72,2
20	4,90	2,553	2,446	4,2	11,9	16,1	74,0
21	4,90	2,553	2,433	4,7	11,8	16,5	71,5
22	4,90	2,553	2,433	4,7	11,8	16,5	71,5
MÉDIA	4,90	2,553	2,434	4,7	11,8	16,5	71,7

A2.2.2. GAP GRADED, Faixa 19,0mm, com CAP Borracha ECOFLEX Pave B

As **Tabelas A2.9 a A2.13** apresentam os resultados dos parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com CAP Borracha ECOFLEX Pave B moldadas com compactador Marshall. A **Tabela A2.14** apresenta os resultados dos parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com CAP Borracha ECOFLEX Pave B moldadas com compactador giratório.

Tabela A2.9: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 5,50% de Ecoflex Pave B moldados no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	Gmm	MEA (g/cm ³)	V _v (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	5,50	2,593	2,434	6,1	13,0	19,1	67,9
2	5,50	2,593	2,437	6,0	13,0	19,0	68,3
3	5,50	2,593	2,428	6,4	13,0	19,3	67,1
4	5,50	2,593	2,429	6,3	13,0	19,3	67,2
5	5,50	2,593	2,433	6,2	13,0	19,2	67,8
6	5,50	2,593	2,404	7,3	12,8	20,1	63,8
7	5,50	2,593	2,441	5,8	13,0	18,9	69,0
8	5,50	2,593	2,440	5,9	13,0	18,9	68,8
9	5,50	2,593	2,440	5,9	13,0	18,9	68,9
10	5,50	2,593	2,443	5,8	13,0	18,8	69,3
11	5,50	2,593	2,427	6,4	13,0	19,4	67,0
12	5,50	2,593	2,432	6,2	13,0	19,2	67,6
13	5,50	2,593	2,426	6,4	13,0	19,4	66,9
14	5,50	2,593	2,426	6,4	13,0	19,4	66,8
15	5,50	2,593	2,431	6,2	13,0	19,2	67,5
16	5,50	2,593	2,419	6,7	12,9	19,6	65,8
17	5,50	2,593	2,444	5,7	13,1	18,8	69,5
18	5,50	2,593	2,429	6,3	13,0	19,3	67,2
19	5,50	2,593	2,424	6,5	12,9	19,4	66,6
20	5,50	2,593	2,430	6,3	13,0	19,3	67,3
21	5,50	2,593	2,429	6,3	13,0	19,3	67,3
22	5,50	2,593	2,419	6,7	12,9	19,6	65,9
MÉDIA	5,50	2,593	2,430	6,3	13,0	19,3	67,4

Tabela A2.10: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 5,75% de Ecoflex Pave B moldados no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	Gmm	MEA (g/cm ³)	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	5,75	2,573	2,410	6,3	13,5	19,8	68,0
2	5,75	2,573	2,424	5,8	13,5	19,3	70,0
3	5,75	2,573	2,412	6,3	13,5	19,7	68,3
4	5,75	2,573	2,420	6,0	13,5	19,5	69,4
5	5,75	2,573	2,423	5,8	13,5	19,4	69,9
6	5,75	2,573	2,424	5,8	13,5	19,3	70,1
7	5,75	2,573	2,435	5,4	13,6	18,9	71,7
8	5,75	2,573	2,436	5,3	13,6	18,9	71,8
9	5,75	2,573	2,426	5,7	13,5	19,3	70,4
10	5,75	2,573	2,441	5,1	13,6	18,7	72,7
11	5,75	2,573	2,414	6,2	13,5	19,7	68,6
12	5,75	2,573	2,432	5,5	13,6	19,0	71,3
13	5,75	2,573	2,417	6,1	13,5	19,5	69,0
14	5,75	2,573	2,426	5,7	13,5	19,2	70,4
15	5,75	2,573	2,456	4,6	13,7	18,3	75,1
16	5,75	2,573	2,426	5,7	13,5	19,2	70,4
17	5,75	2,573	2,440	5,2	13,6	18,8	72,5
18	5,75	2,573	2,422	5,9	13,5	19,4	69,7
19	5,75	2,573	2,416	6,1	13,5	19,6	68,8
20	5,75	2,573	2,425	5,8	13,5	19,3	70,2
21	5,75	2,573	2,422	5,9	13,5	19,4	69,8
22	5,75	2,573	2,423	5,8	13,5	19,4	69,9
MÉDIA	5,75	2,573	2,426	5,7	13,5	19,3	70,4

Tabela A2.11: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 6,00% de Ecoflex Pave B moldados no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	Gmm	MEA (g/cm ³)	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	6,00	2,553	2,423	5,1	14,1	19,2	73,4
2	6,00	2,553	2,422	5,1	14,1	19,2	73,3
3	6,00	2,553	2,418	5,3	14,1	19,4	72,7
4	6,00	2,553	2,406	5,8	14,0	19,8	70,9
5	6,00	2,553	2,424	5,1	14,1	19,2	73,6
6	6,00	2,553	2,417	5,3	14,1	19,4	72,6
7	6,00	2,553	2,439	4,5	14,2	18,7	76,1
8	6,00	2,553	2,403	5,9	14,0	19,9	70,5
9	6,00	2,553	2,415	5,4	14,1	19,5	72,3
10	6,00	2,553	2,428	4,9	14,1	19,0	74,3
11	6,00	2,553	2,446	4,2	14,2	18,4	77,3
12	6,00	2,553	2,422	5,1	14,1	19,2	73,3
13	6,00	2,553	2,442	4,3	14,2	18,6	76,6
14	6,00	2,553	2,415	5,4	14,1	19,5	72,3
15	6,00	2,553	2,415	5,4	14,1	19,5	72,2
16	6,00	2,553	2,432	4,7	14,2	18,9	75,0
17	6,00	2,553	2,438	4,5	14,2	18,7	76,0
18	6,00	2,553	2,396	6,1	14,0	20,1	69,4
19	6,00	2,553	2,415	5,4	14,1	19,5	72,2
20	6,00	2,553	2,438	4,5	14,2	18,7	75,9
21	6,00	2,553	2,429	4,9	14,2	19,0	74,5
22	6,00	2,553	2,417	5,3	14,1	19,4	72,6
MÉDIA	6,00	2,553	2,423	5,1	14,1	19,2	73,5

Tabela A2.12: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 6,25% de Ecoflex Pave B moldados no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	Gmm	MEA (g/cm ³)	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	6,25	2,533	2,418	4,5	14,7	19,2	76,4
2	6,25	2,533	2,437	3,8	14,8	18,6	79,6
3	6,25	2,533	2,438	3,7	14,8	18,5	79,8
4	6,25	2,533	2,434	3,9	14,8	18,7	79,1
5	6,25	2,533	2,448	3,3	14,9	18,2	81,7
6	6,25	2,533	2,430	4,1	14,7	18,8	78,4
7	6,25	2,533	2,427	4,2	14,7	18,9	77,9
8	6,25	2,533	2,427	4,2	14,7	18,9	77,8
9	6,25	2,533	2,432	4,0	14,8	18,7	78,7
10	6,25	2,533	2,428	4,1	14,7	18,9	78,1
11	6,25	2,533	2,447	3,4	14,8	18,2	81,4
12	6,25	2,533	2,420	4,5	14,7	19,2	76,6
13	6,25	2,533	2,425	4,2	14,7	19,0	77,6
14	6,25	2,533	2,443	3,6	14,8	18,4	80,7
15	6,25	2,533	2,434	3,9	14,8	18,7	79,0
16	6,25	2,533	2,423	4,3	14,7	19,0	77,2
17	6,25	2,533	2,434	3,9	14,8	18,7	79,1
18	6,25	2,533	2,436	3,8	14,8	18,6	79,4
19	6,25	2,533	2,434	3,9	14,8	18,7	79,1
20	6,25	2,533	2,450	3,3	14,9	18,1	82,0
21	6,25	2,533	2,443	3,5	14,8	18,4	80,7
22	6,25	2,533	2,440	3,7	14,8	18,5	80,2
MÉDIA	6,25	2,533	2,434	3,9	14,8	18,7	79,1

Tabela A2.13: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 6,50% de Ecoflex Pave B moldados no compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	Gmm	MEA (g/cm ³)	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	6,50	2,513	2,447	2,6	15,4	18,1	85,5
2	6,50	2,513	2,416	3,9	15,2	19,1	79,7
3	6,50	2,513	2,449	2,6	15,5	18,0	85,8
4	6,50	2,513	2,453	2,4	15,5	17,9	86,6
5	6,50	2,513	2,434	3,2	15,4	18,5	82,9
6	6,50	2,513	2,443	2,8	15,4	18,2	84,7
7	6,50	2,513	2,421	3,7	15,3	18,9	80,7
8	6,50	2,513	2,435	3,1	15,4	18,5	83,1
9	6,50	2,513	2,425	3,5	15,3	18,8	81,4
10	6,50	2,513	2,441	2,9	15,4	18,3	84,3
11	6,50	2,513	2,439	2,9	15,4	18,3	83,9
12	6,50	2,513	2,443	2,8	15,4	18,2	84,6
13	6,50	2,513	2,418	3,8	15,3	19,1	80,1
14	6,50	2,513	2,436	3,1	15,4	18,4	83,3
15	6,50	2,513	2,411	4,1	15,2	19,3	78,9
16	6,50	2,513	2,423	3,6	15,3	18,9	81,0
17	6,50	2,513	2,444	2,8	15,4	18,2	84,8
18	6,50	2,513	2,448	2,6	15,4	18,0	85,6
19	6,50	2,513	2,421	3,7	15,3	19,0	80,6
20	6,50	2,513	2,427	3,4	15,3	18,7	81,8
21	6,50	2,513	2,405	4,3	15,2	19,5	78,0
22	6,50	2,513	2,429	3,3	15,3	18,7	82,2
MÉDIA	6,50	2,513	2,432	3,2	15,3	18,6	82,7

Tabela A2.14: Parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com 5,65% de Ecoflex Pave B moldados no compactador giratório.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	Gmm	MEA (g/cm ³)	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	5,65	2,510	2,384	5,0	13,1	18,1	72,3
2	5,65	2,510	2,388	4,8	13,1	17,9	73,0
3	5,65	2,510	2,383	5,0	13,1	18,1	72,2
4	5,65	2,510	2,388	4,8	13,1	18,0	73,0
5	5,65	2,510	2,379	5,2	13,0	18,3	71,4
6	5,65	2,510	2,383	5,0	13,1	18,1	72,1
7	5,65	2,510	2,395	4,6	13,1	17,7	74,2
8	5,65	2,510	2,386	4,9	13,1	18,0	72,7
9	5,65	2,510	2,378	5,3	13,0	18,3	71,2
10	5,65	2,510	2,414	3,8	13,2	17,1	77,5
11	5,65	2,510	2,405	4,2	13,2	17,4	75,8
12	5,65	2,510	2,371	5,5	13,0	18,5	70,2
13	5,65	2,510	2,387	4,9	13,1	18,0	72,8
14	5,65	2,510	2,367	5,7	13,0	18,7	69,5
15	5,65	2,510	2,414	3,8	13,2	17,1	77,5
16	5,65	2,510	2,412	3,9	13,2	17,1	77,2
17	5,65	2,510	2,348	6,5	12,9	19,4	66,5
18	5,65	2,510	2,342	6,7	12,8	19,5	65,8
19	5,65	2,510	2,369	5,6	13,0	18,6	69,9
20	5,65	2,510	2,348	6,4	12,9	19,3	66,7
21	5,65	2,510	2,375	5,4	13,0	18,4	70,8
22	5,65	2,510	2,353	6,2	12,9	19,2	67,4
MÉDIA	5,65	2,510	2,381	5,1	13,1	18,2	72,0

A2.2. Resultados dos Ensaios Mecânicos

Os resultados dos ensaios mecânicos da mistura *Gap Graded*, faixa 19,0 mm CALTRANS, com CAP STYLINK Tipo 60/85, estão apresentados na **Tabela A2.15** e nas **Figuras A2.3 a A2.5**.

Tabela A2.15: Resultados dos ensaios mecânicos - Stylink 60/85, Faixa 19,0mm.

Parâmetros	Teor de ligante					
	-0,50%	-0,25%	T.Projeto N.Dutra	+0,25%	+0,50%	T.Projeto COPPE
	4,20%	4,45%	4,70%	4,95%	5,20%	5,10%
MR (MPa)	4169	3161	4503	3529	3778	4151
RT (MPa)	1,12	1,12	1,31	1,27	1,17	1,07
Creep (%)	0,159	0,158	0,162	0,149	0,164	0,184

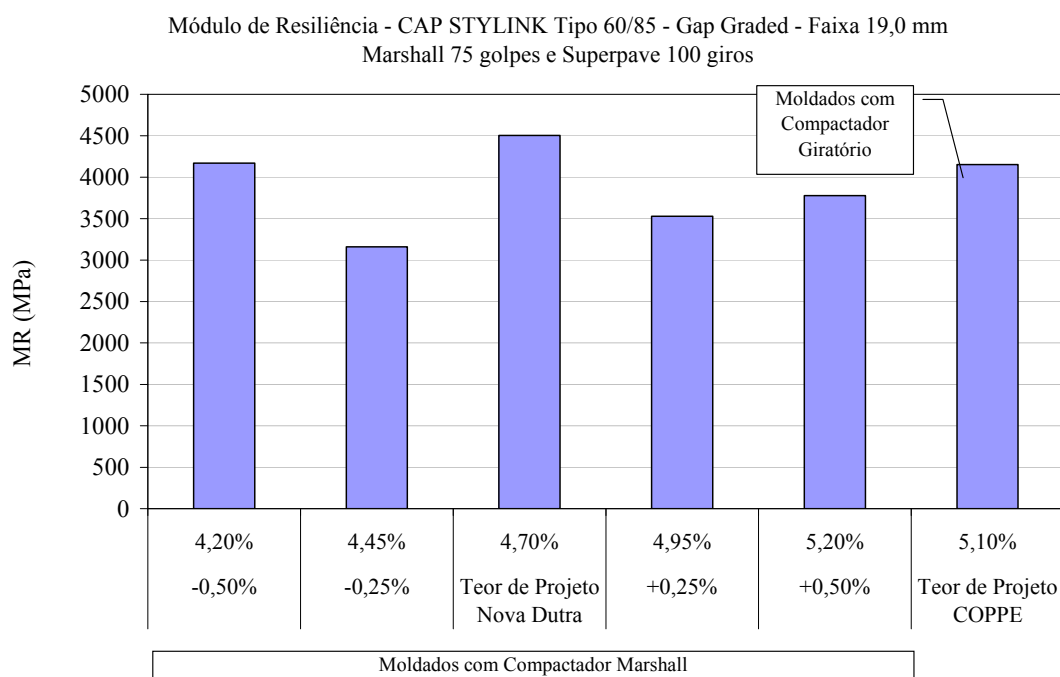


Figura A2.3: Comparação dos valores de MR para misturas com Stylink 60/85.

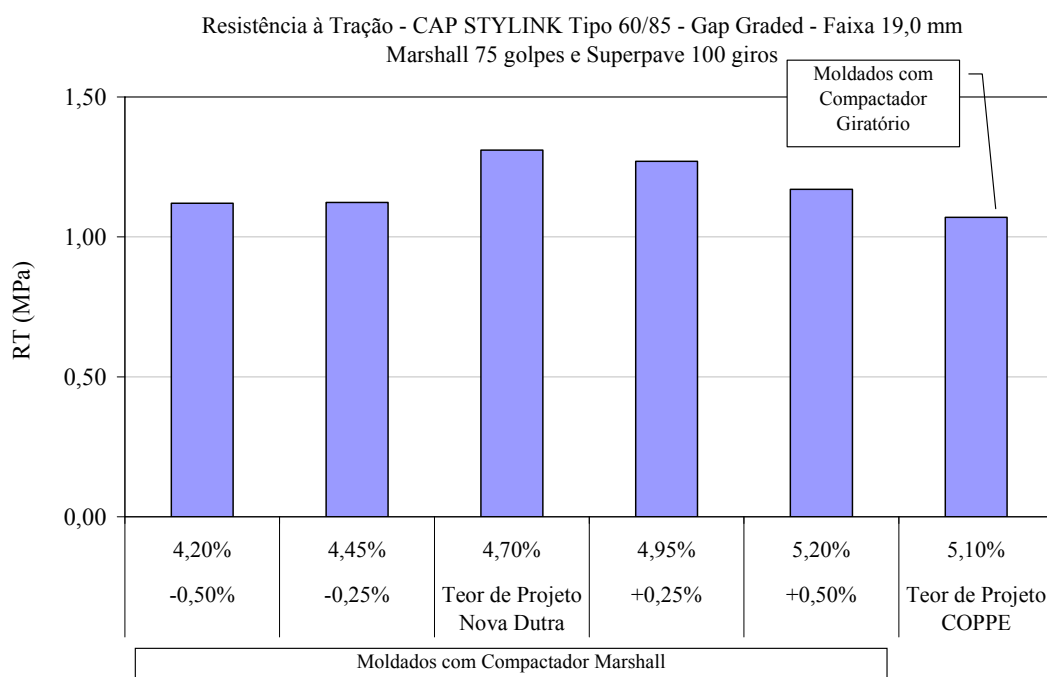


Figura A2.4: Comparação dos valores de RT para misturas com Stylink 60/85.

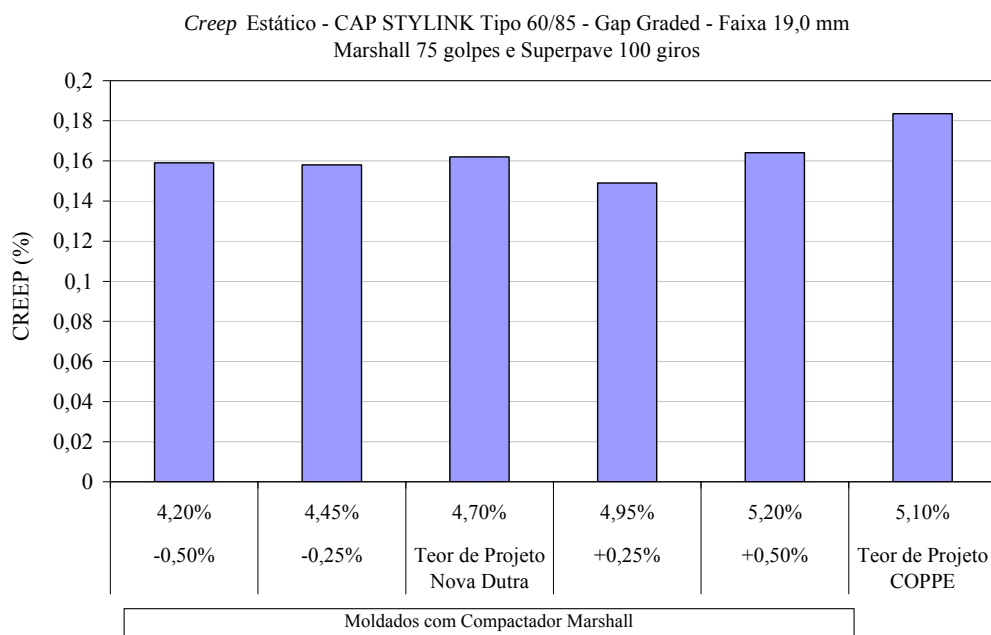


Figura A2.5: Comparação dos valores de Creep para misturas com Stylink 60/85.

Os resultados dos ensaios mecânicos da mistura asfáltica com tipo *Gap Graded*, faixa 19,0 mm CALTRANS, com CAP Borracha ECOFLEX Pave B, estão apresentados na **Tabela A2.16** e nas **Figuras A2.6 a A2.8**.

Tabela A2.16: Resultados dos ensaios mecânicos - Ecoflex Pave B.

Parâmetros	Teor de ligante					
	-0,50%	-0,25%	T.Projeto N.Dutra	+0,25%	+0,50%	T.Projeto COPPE
	5,50%	5,75%	6,00%	6,25%	6,50%	5,65%
MR (MPa)	3518	3252	3568	3603	3204	3676
RT (MPa)	1,07	0,97	1,18	1,06	1,19	0,89
Creep (%)	0,255	0,26	0,191	0,021	0,331	0,372

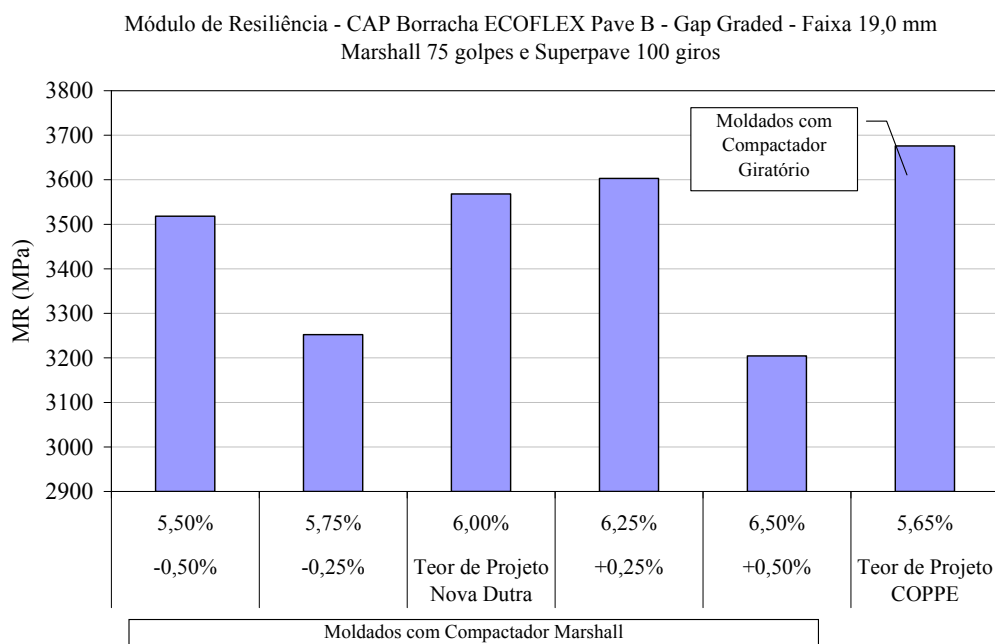


Figura A2.6: Comparação dos valores de MR para misturas com Ecoflex Pave B.

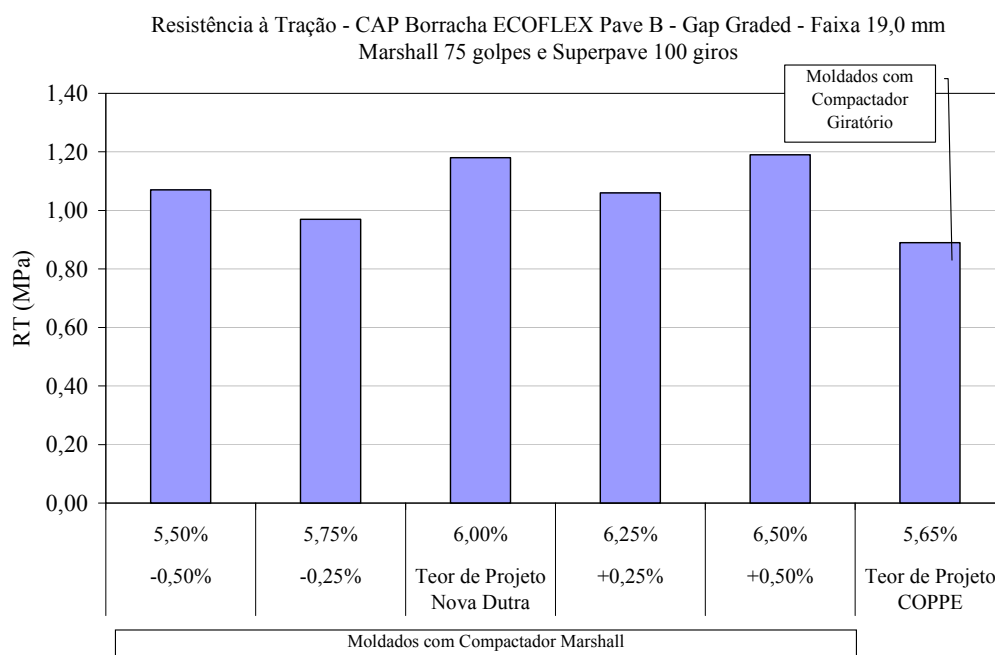


Figura A2.7: Comparação dos valores de Resistência à Tração para misturas com Ecoflex Pave B.

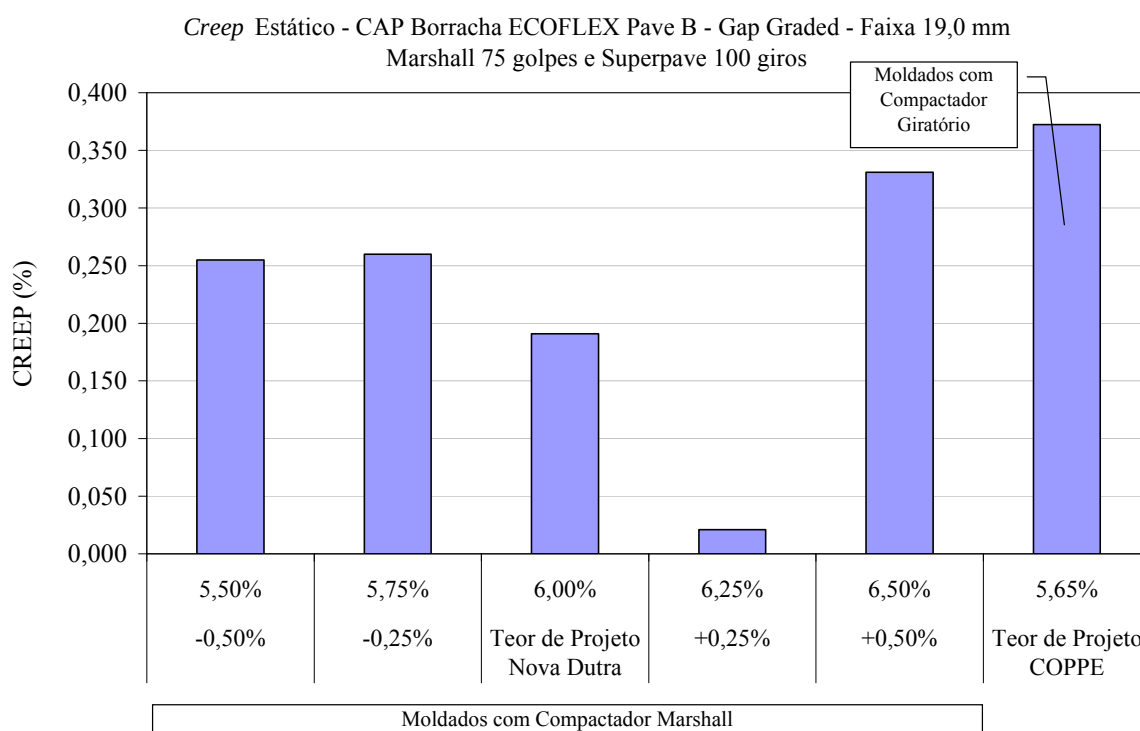


Figura A2.8: Comparação dos valores de *Creep* para misturas com Ecoflex Pave B.

A2.3. Resultados dos Ensaio de Fadiga

Foram elaborados gráficos do número de ciclos em função da diferença de tensões, em escala logarítmica. Para cada gráfico foi feita a regressão da curva de fadiga, obtendo-se a equação correspondente à curva (**Tabelas A2.17 e A2.18 e Figuras A2.9 e A2.10**).

Tabela A2.17: Modelos de fadiga de misturas com Stylink 60/85, Faixa 19,0 mm.

Teor de ligante (%)		Modelos de Fadiga	R ²	k ₁	k ₂
-0,50%	4,20	$N = 3.699 (1/\Delta\sigma)^{3,7894}$	0,9648	3.699	3,7894
		$N = 4,0 \times 10^{-13} (1/\varepsilon)^{3,7894}$			
-0,25%	4,45	$N = 3.968 (1/\Delta\sigma)^{3,4139}$	0,9722	3.968	3,4139
		$N = 4,0 \times 10^{-11} (1/\varepsilon)^{3,4139}$			
Teor de Projeto Nova Dutra	4,70	$N = 14.530 (1/\Delta\sigma)^{4,5072}$	0,9780	14.530,0	4,5072
		$N = 1,0 \times 10^{-15} (1/\varepsilon)^{4,5072}$			
+0,25%	4,95	$N = 6.833,7 (1/\Delta\sigma)^{3,9951}$	0,9839	6.833,7	3,9951
		$N = 2,0 \times 10^{-13} (1/\varepsilon)^{3,9951}$			
+0,50%	5,20	$N = 8.010,4 (1/\Delta\sigma)^{4,0413}$	0,9661	8.010,4	4,0413
		$N = 1,0 \times 10^{-13} (1/\varepsilon)^{4,0413}$			
Teor de Projeto COPPE	5,10	$N = 13467,0 (1/\Delta\sigma)^{4,4519}$	0,9941	13467,0	4,4519
		$N = 2,0 \times 10^{-15} (1/\varepsilon)^{4,4519}$			

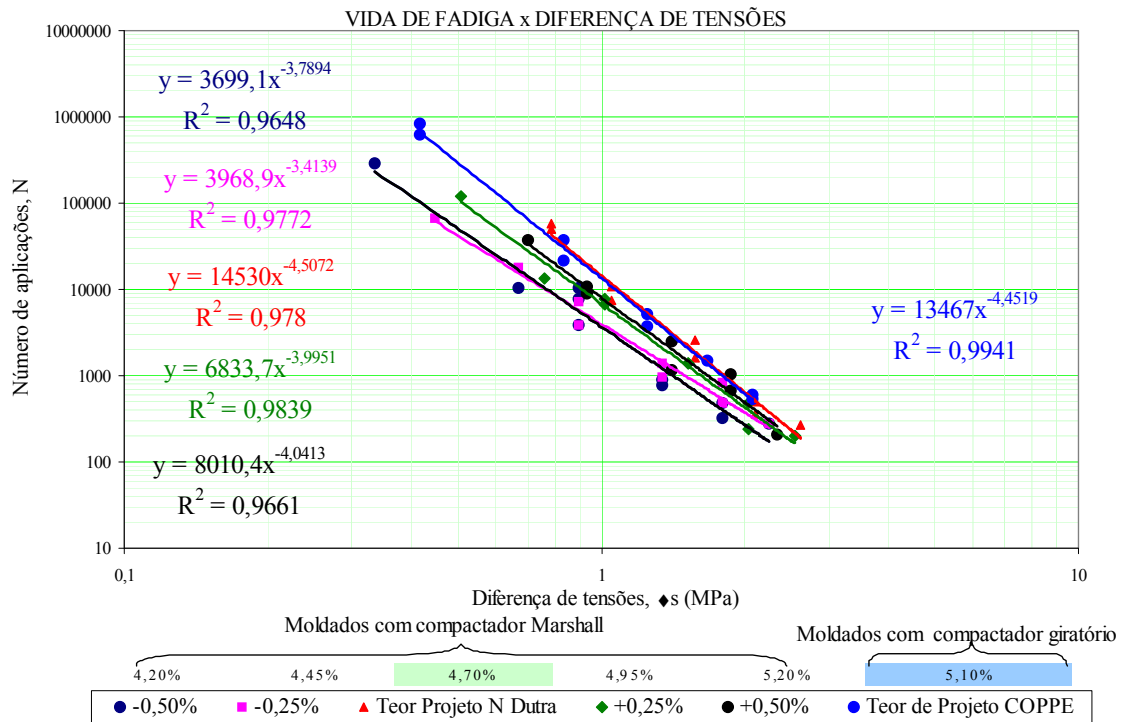


Figura A2.9: Curvas de fadiga para o Stylink 60/85, Faixa 19,0 mm.

Tabela A2.18: Modelos de fadiga de misturas com Ecoflex Pave B.

Teor de ligante (%)		Modelos de Fadiga	R ²	k ₁	k ₂
-0,50%	5,50	$N = 8.084 (1/\Delta\sigma)^{3,6331}$	0,9809	8.084,0	3,6331
		$N = 7,0 \times 10^{-12} (1/\varepsilon)^{3,6331}$			
-0,25%	5,75	$N = 4.051,4 (1/\Delta\sigma)^{3,8366}$	0,9838	4.051,4	3,8366
		$N = 7,0 \times 10^{-13} (1/\varepsilon)^{3,8366}$			
Teor de Projeto Nova Dutra	6,00	$N = 9.556,8 (1/\Delta\sigma)^{3,9031}$	0,9589	9.556,8	3,9031
		$N = 6,0 \times 10^{-13} (1/\varepsilon)^{3,9031}$			
+0,25%	6,25	$N = 3.551,5 (1/\Delta\sigma)^{3,7744}$	0,9829	3.551,5	3,7744
		$N = 7,0 \times 10^{-13} (1/\varepsilon)^{3,7744}$			
+0,50%	6,50	$N = 3.567,8 (1/\Delta\sigma)^{3,5947}$	0,9817	3.567,8	3,5947
		$N = 6,0 \times 10^{-12} (1/\varepsilon)^{3,5947}$			
Teor de Projeto COPPE	5,65	$N = 2.051,6 (1/\Delta\sigma)^{3,5309}$	0,9957	2.051,6	3,5309
		$N = 4,0 \times 10^{-12} (1/\varepsilon)^{3,5309}$			

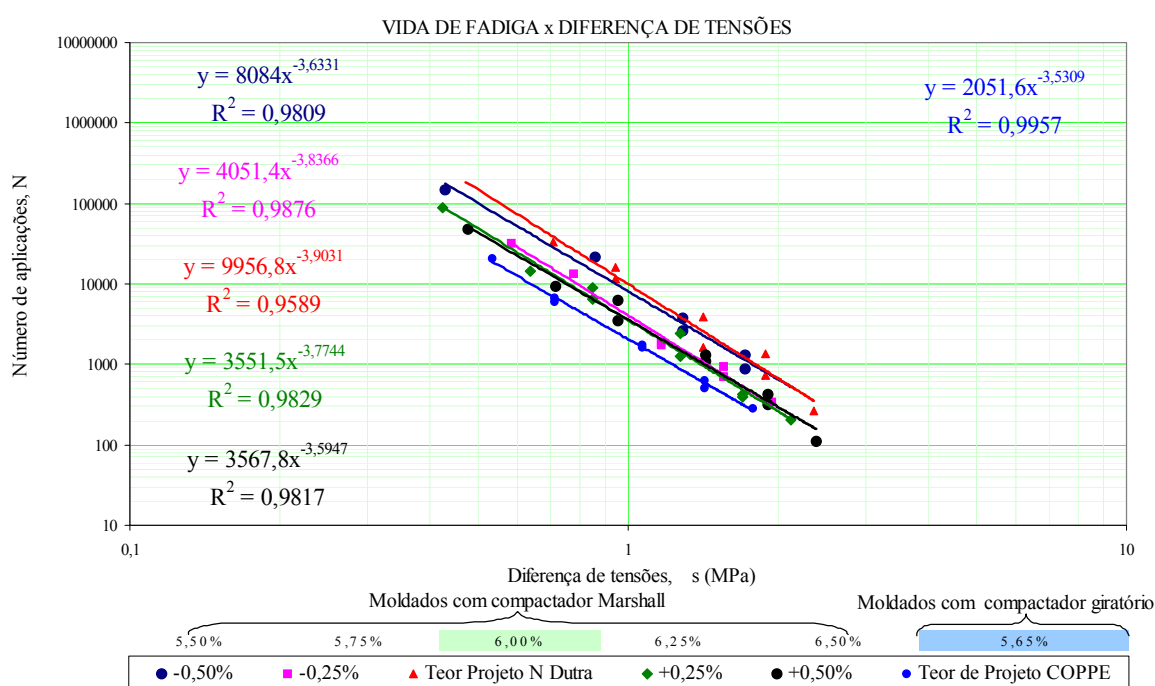


Figura A2.10: Curvas de fadiga para o Ecoflex Pave B, Faixa 19,0 mm.

Com os resultados obtidos, fez-se a comparação das misturas avaliadas (com CAP STYLINK Tipo 60/85 e com CAP Borracha ECOFLEX Pave B) através de uma simulação de duas estruturas de pavimento hipotéticas (**Tabela A2.19**). A análise tensional foi feita com o programa ELSYM 5 e os resultados são apresentados nas **Tabelas A2.20 e A2.21** e **Figuras A2.11 e A2.12**.

Tabela A2.19: Estruturas de pavimento hipotéticas 1 e 2.

Estrutura	Camada	Espessura (cm)	Coef. de Poisson	MR (MPa)	MR (psi)
1	Capa	10	0,30	Variável	MR
	Base	20	0,34	340	51.000
	Sub-base	20	0,38	210	31.500
	Subleito	Semi-infinito	0,42	85	12.750
2	Capa	7,5	0,30	Variável	MR
	Base	20	0,30	450	67.500
	Subleito	Semi-infinito	0,40	60	9.000

Tabela A2.20: Resultados da análise mecânica com as estruturas 1 e 2 - Stylink 60/85.

Estrutura 1						
Teor de ligante (%)		MR (MPa)	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,50%	4,20	4.169	0,853	-0,167	1,020	3.432
-0,25%	4,45	3.161	0,700	-0,187	0,887	5.969
T. Projeto N.Dutra	4,70	4.503	0,893	-0,161	1,055	11.431
+0,25%	4,95	3.529	0,760	-0,179	0,939	8.800
+0,50%	5,20	3.778	0,793	-0,174	0,967	9.161
T. Projeto COPPE	5,10	3.676	0,780	-0,176	0,956	16.454
Estrutura 2						
Teor de ligante (%)		MR (MPa)	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,50%	4,20	4.169	0,860	-0,244	1,104	2.542
-0,25%	4,45	3.161	0,649	-0,269	0,917	5.328
T. Projeto N.Dutra	4,70	4.503	0,920	-0,237	1,157	7.540
+0,25%	4,95	3.529	0,727	-0,259	0,985	7.249
+0,50%	5,20	3.778	0,780	-0,253	1,033	7.035
T. Projeto COPPE	5,10	3.676	0,760	-0,255	1,015	12.585

onde:

MR = módulo de resiliência obtido no ensaio de laboratório;

σ_t = tensão de tração no revestimento obtida no programa ELSYM 5;

σ_c = tensão de compressão no revestimento obtida no programa ELSYM 5;

$\Delta\sigma$ = diferença entre as tensões de tração e compressão ($\sigma_t - \sigma_c$);

N = número de ciclos.

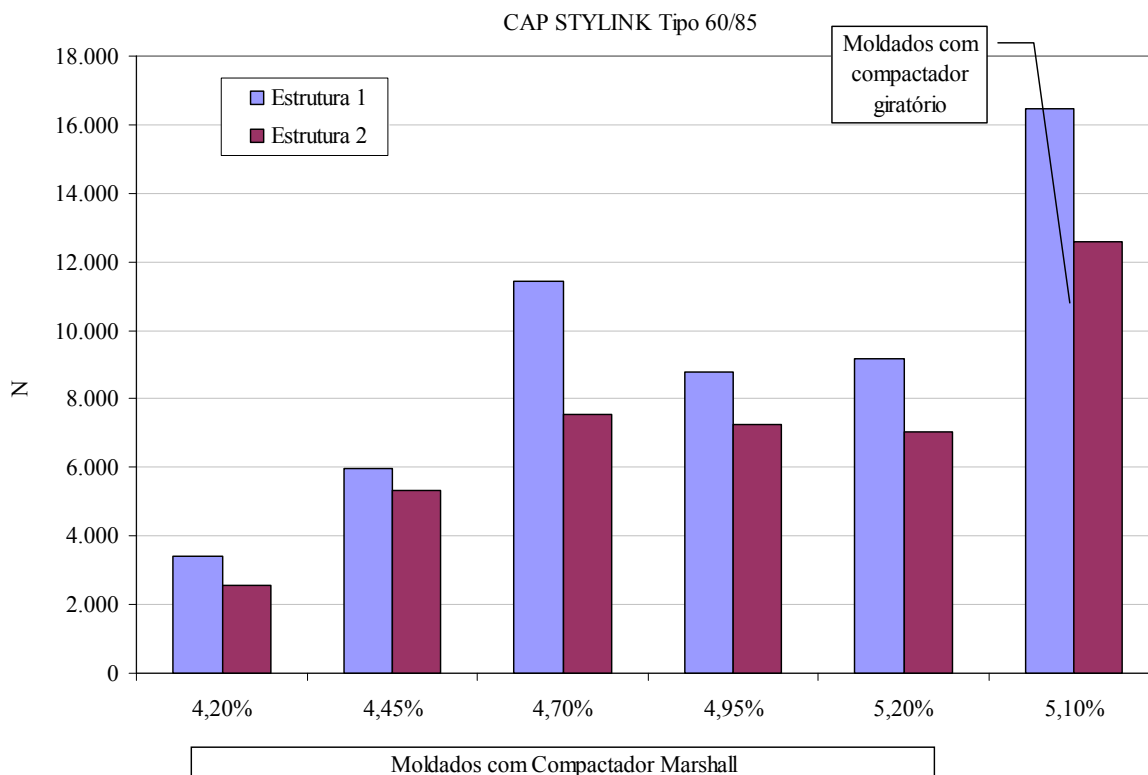


Figura A2.11: Resultados da análise de vida de fadiga de misturas com Stylink 60/85.

Tabela A2.21: Resultados da análise mecânica com as estruturas 1 e 2 - Ecoflex Pave B.

Estrutura 1						
Teor de ligante (%)		MR (MPa)	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,50%	5,50	3.518	0,760	-0,179	0,939	10.148
-0,25%	5,75	3.252	0,713	-0,185	0,898	6.122
T. Projeto N.Dutra	6,00	3.568	0,767	-0,178	0,945	12.434
+0,25%	6,25	3.603	0,767	-0,177	0,944	4.414
+0,50%	6,50	3.204	0,707	-0,186	0,893	5.366
T. Projeto COPPE	5,65		0,680	-0,167	0,847	3.682
Estrutura 2						
Teor de ligante (%)		MR (MPa)	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,50%	5,50	3.518	0,727	-0,259	0,986	8.509
-0,25%	5,75	3.252	0,667	-0,266	0,933	5.294
T. Projeto N.Dutra	6,00	3.568	0,740	-0,258	0,998	10.035
+0,25%	6,25	3.603	0,747	-0,257	1,003	3.507
+0,50%	6,50	3.204	0,658	-0,267	0,925	4.716
T. Projeto COPPE	5,65		0,713	-0,244	0,957	2.393

onde:

MR = módulo de resiliência obtido no ensaio de laboratório;

σ_t = tensão de tração no revestimento obtida no programa ELSYM 5;

σ_c = tensão de compressão no revestimento obtida no programa ELSYM 5;

$\Delta\sigma$ = diferença entre as tensões de tração e compressão ($\sigma_t - \sigma_c$);

N = número de ciclos.

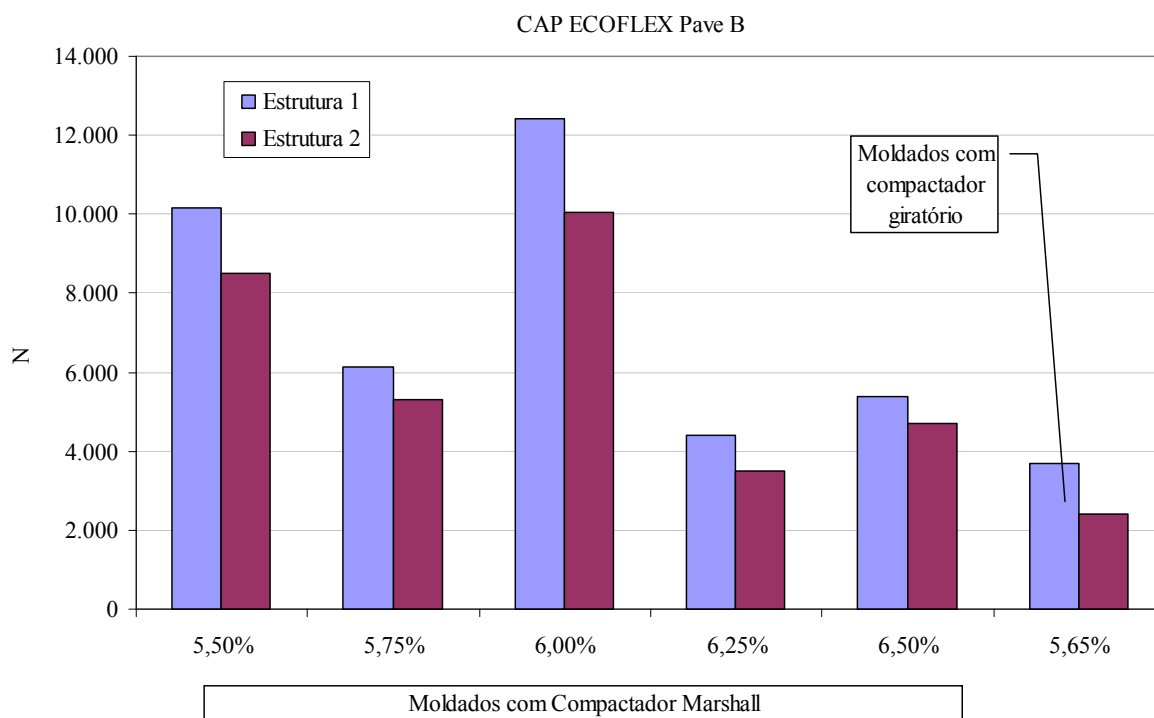


Figura A2.12: Resultados da análise de vida de fadiga de misturas com Ecoflex Pave B.

ANEXO 3 - CPA: Dosagem e Resultados dos Ensaios Volumétricos e Mecânicos

A3.1. Dosagem de CPA

A3.1.1. CPA, Faixa 9,5 mm ARIZONA, com CAP Ecoflex Pave B

Para obter o teor de projeto da mistura para CPA com CAP Ecoflex Pave B foram moldados 3 corpos de prova para cada teor (4,50%, 5,00% e 5,50%) de ligante. Os parâmetros volumétricos e mecânicos estão apresentados na **Tabela A3.1**. A **Figura A3.1** mostra os gráficos representativos dos parâmetros volumétricos e mecânicos versus os teores de asfalto.

Tabela A3.1: Parâmetros volumétricos do CPA com Ecoflex B moldados com compactador giratório - 100 giros.

Teor de ligante (%)	Massa específica aparente, Gmb (g/cm^3)	Densidade máxima da mistura, Gmm	Volume de vazios (%)	VAM	RBV	MR (MPa)	RT (MPa)
4,50	1,765	2,420	27,1	34,8	22,2	1159	0,35
5,00	1,783	2,399	25,5	34,3	25,2	990	0,42
5,50	1,813	2,378	23,8	33,4	29,0	906	0,40

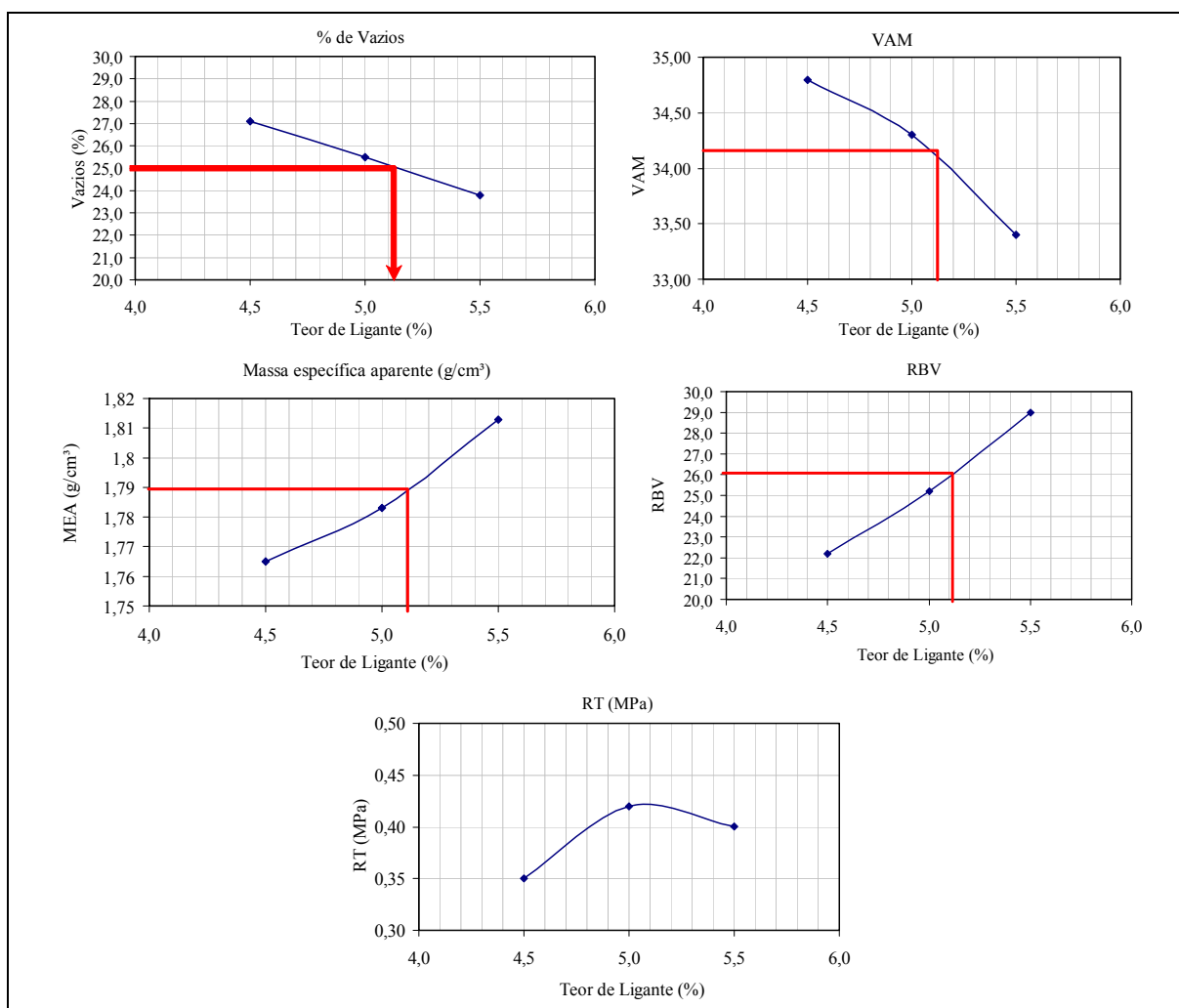


Figura A3.1: Variação dos parâmetros volumétricos e mecânicos das misturas com Ecoflex Pave B moldadas com 100 giros.

O teor de projeto obtido a partir da moldagem de corpos de prova empregando compactador giratório na COPPE foi de 5,10%. Enquanto que o teor de projeto de ligante para esta mistura apresentado pela Nova Dutra foi de 4,70%. A partir desse teor, os demais teores utilizados para a moldagem dos corpos de prova são apresentados em seguida.

Teor de ligante - NOVA DUTRA					Teor de ligante - COPPE
-0,50%	-0,25%	Teor de projeto	+0,25%	+0,50%	Teor de projeto
4,70%	4,95%	5,20%	5,45%	5,70%	5,10%
Foram moldados 22 corpos de prova de cada teor com compactador MARSHALL - 75 golpes					Foram moldados 22 corpos de prova com compactador giratório - 100 giros

A3.1.2. CPA, Faixa 9,5 mm ARIZONA, com CAP FlexPave 65/90

Para obter o teor de projeto da mistura para CPA com CAP FlexPave 65/90 foram moldados 3 corpos de prova para cada teor (4,00%, 4,50% e 5,00%) de ligante. Os resultados dos parâmetros volumétricos e mecânicos estão apresentados na **Tabela A3.2**. A **Figura A3.2** mostra os gráficos representativos dos parâmetros volumétricos e mecânicos versus os teores de asfalto.

Tabela A3.2: Parâmetros volumétricos do CPA com FlexPave 65/90 moldados com 100 giros - giratório.

Teor de ligante (%)	Massa específica aparente, Gmb (g/cm³)	Densidade máxima da mistura, Gmm	Volume de vazios (%)	VAM	RBV	RT (MPa)
4,00	1,770	2,407	26,3	33,4	20,8	0,88
4,50	1,796	2,388	25,1	32,7	24,3	0,48
5,00	1,772	2,364	25,0	33,8	25,8	0,52

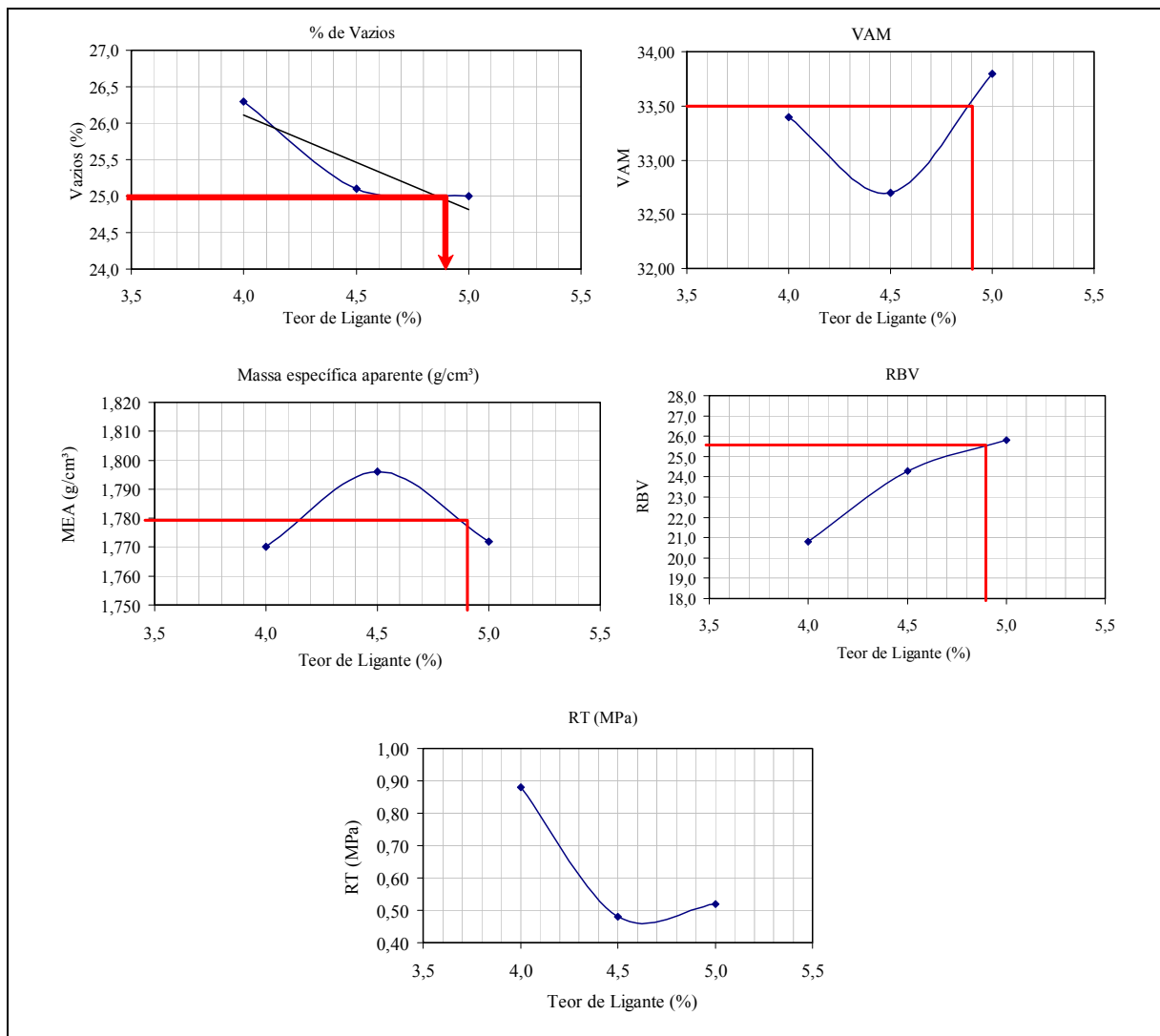


Figura A3.2: Variação dos parâmetros volumétricos e mecânicos das misturas asfálticas com FlexPave 65/90 moldadas com 100 giros.

O teor de projeto obtido a partir da moldagem de corpos de prova empregando compactador giratório na COPPE foi de 4,90%. Enquanto que o teor de projeto de ligante para esta mistura apresentado pela Nova Dutra foi de 4,70%. A partir desse teor, os demais teores utilizados para a moldagem dos corpos de prova são apresentados em seguida.

Teor de ligante - NOVA DUTRA					Teor de ligante - COPPE
-0,50%	-0,25%	Teor de projeto	+0,25%	+0,50%	Teor de projeto
4,20%	4,45%	4,70%	4,95%	6,20%	4,90%
Foram moldados 22 corpos de prova de cada teor com compactador MARSHALL - 75 golpes					Foram moldados 22 corpos de prova com compactador giratório - 100 giros

A3.2. Resultados dos Ensaio Volumétricos

A3.2.1. CPA, Faixa 9,5 mm ARIZONA, com CAP Ecoflex Pave B

As **Tabelas A3.3 a A3.7** apresentam os resultados dos parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com CAP Ecoflex Pave B moldadas com compactador Marshall e a **Tabela A3.8** apresenta os resultados dos parâmetros volumétricos dos corpos de prova da mistura com CAP Ecoflex Pave B moldadas no teor de projeto (5,10%) com compactador giratório.

Tabela A3.3: Parâmetros volumétricos dos CPs com 4,70% de Ecoflex Pave B moldados com compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	Gmm	MEA (g/cm ³)	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,70	2,483	1,883	24,2	8,7	32,8	26,5
2	4,70	2,483	1,921	22,6	8,9	31,5	28,2
3	4,70	2,483	1,928	22,3	8,9	31,2	28,5
4	4,70	2,483	1,930	22,3	8,9	31,2	28,6
5	4,70	2,483	1,917	22,8	8,9	31,6	28,0
6	4,70	2,483	1,919	22,7	8,9	31,6	28,1
7	4,70	2,483	1,913	22,9	8,8	31,8	27,8
8	4,70	2,483	1,933	22,1	8,9	31,1	28,7
9	4,70	2,483	1,909	23,1	8,8	31,9	27,6
10	4,70	2,483	1,928	22,3	8,9	31,2	28,5
11	4,70	2,483	1,917	22,8	8,9	31,6	28,0
12	4,70	2,483	1,927	22,4	8,9	31,3	28,4
13	4,70	2,483	1,895	23,7	8,7	32,4	27,0
14	4,70	2,483	1,927	22,4	8,9	31,3	28,4
15	4,70	2,483	1,952	21,4	9,0	30,4	29,6
16	4,70	2,483	1,902	23,4	8,8	32,2	27,3
17	4,70	2,483	1,937	22,0	8,9	30,9	28,9
18	4,70	2,483	1,920	22,7	8,9	31,5	28,1
19	4,70	2,483	1,912	23,0	8,8	31,8	27,7
20	4,70	2,483	1,928	22,3	8,9	31,2	28,5
21	4,70	2,483	1,939	21,9	9,0	30,9	29,0
22	4,70	2,483	1,917	22,8	8,9	31,6	28,0
MÉDIA	4,70	2,483	1,921	22,6	8,9	31,5	28,2

Tabela A3.4: Parâmetros volumétricos dos CPs com 4,95% de Ecoflex Pave B moldados com compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	Gmm	MEA (g/cm ³)	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,95	2,473	1,920	22,4	9,3	31,7	29,5
2	4,95	2,473	1,937	21,7	9,4	31,1	30,3
3	4,95	2,473	1,938	21,6	9,4	31,1	30,3
4	4,95	2,473	1,928	22,0	9,4	31,4	29,9
5	4,95	2,473	1,985	19,8	9,6	29,4	32,8
6	4,95	2,473	1,924	22,2	9,4	31,5	29,7
7	4,95	2,473	1,930	21,9	9,4	31,3	30,0
8	4,95	2,473	1,919	22,4	9,3	31,7	29,4
9	4,95	2,473	1,924	22,2	9,4	31,6	29,6
10	4,95	2,473	1,924	22,2	9,4	31,6	29,6
11	4,95	2,473	1,932	21,9	9,4	31,3	30,0
12	4,95	2,473	1,924	22,2	9,4	31,5	29,7
13	4,95	2,473	1,948	21,2	9,5	30,7	30,8
14	4,95	2,473	1,936	21,7	9,4	31,1	30,3
15	4,95	2,473	1,940	21,6	9,4	31,0	30,4
16	4,95	2,473	1,897	23,3	9,2	32,5	28,4
17	4,95	2,473	1,913	22,6	9,3	31,9	29,1
18	4,95	2,473	1,943	21,4	9,4	30,9	30,6
19	4,95	2,473	1,923	22,2	9,4	31,6	29,6
20	4,95	2,473	1,938	21,6	9,4	31,1	30,3
21	4,95	2,473	1,934	21,8	9,4	31,2	30,1
22	4,95	2,473	1,945	21,4	9,5	30,8	30,7
MÉDIA	4,95	2,473	1,932	21,9	9,4	31,3	30,1

Tabela A3.5: Parâmetros volumétricos dos CPs com 5,20% de Ecoflex Pave B moldados com compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	Gmm	MEA (g/cm ³)	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	5,20	2,465	1,912	22,4	9,8	32,2	30,3
2	5,20	2,465	1,956	20,7	10,0	30,7	32,6
3	5,20	2,465	1,924	21,9	9,8	31,8	30,9
4	5,20	2,465	1,923	22,0	9,8	31,8	30,9
5	5,20	2,465	1,925	21,9	9,8	31,7	31,0
6	5,20	2,465	1,937	21,4	9,9	31,3	31,6
7	5,20	2,465	1,911	22,5	9,8	32,3	30,3
8	5,20	2,465	1,927	21,8	9,8	31,7	31,1
9	5,20	2,465	1,953	20,8	10,0	30,7	32,4
10	5,20	2,465	1,956	20,7	10,0	30,6	32,6
11	5,20	2,465	1,962	20,4	10,0	30,4	33,0
12	5,20	2,465	1,941	21,3	9,9	31,2	31,8
13	5,20	2,465	1,962	20,4	10,0	30,4	32,9
14	5,20	2,465	1,910	22,5	9,8	32,3	30,2
15	5,20	2,465	1,827	25,9	9,3	35,2	26,5
16	5,20	2,465	1,940	21,3	9,9	31,2	31,8
17	5,20	2,465	1,916	22,3	9,8	32,1	30,5
18	5,20	2,465	1,944	21,1	9,9	31,1	32,0
19	5,20	2,465	1,921	22,1	9,8	31,9	30,8
20	5,20	2,465	1,892	23,3	9,7	32,9	29,3
21	5,20	2,465	1,831	25,7	9,4	35,1	26,7
22	5,20	2,465	1,907	22,6	9,7	32,4	30,1
MÉDIA	5,20	2,465	1,922	22,0	9,8	31,9	30,9

Tabela A3.6: Parâmetros volumétricos dos CPs com 5,45% de Ecoflex Pave B moldados com compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	Gmm	MEA (g/cm ³)	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	5,45	2,456	1,964	20,0	10,5	30,5	34,4
2	5,45	2,456	1,920	21,8	10,3	32,1	32,0
3	5,45	2,456	1,977	19,5	10,6	30,1	35,2
4	5,45	2,456	1,960	20,2	10,5	30,7	34,2
5	5,45	2,456	1,934	21,2	10,4	31,6	32,8
6	5,45	2,456	1,953	20,5	10,5	30,9	33,8
7	5,45	2,456	1,937	21,1	10,4	31,5	32,9
8	5,45	2,456	1,945	20,8	10,4	31,2	33,4
9	5,45	2,456	1,924	21,7	10,3	32,0	32,2
10	5,45	2,456	1,939	21,1	10,4	31,4	33,0
11	5,45	2,456	1,954	20,4	10,5	30,9	33,9
12	5,45	2,456	1,910	22,2	10,2	32,5	31,5
13	5,45	2,456	1,942	20,9	10,4	31,3	33,2
14	5,45	2,456	1,876	23,6	10,0	33,7	29,8
15	5,45	2,456	1,915	22,0	10,3	32,3	31,8
16	5,45	2,456	1,954	20,5	10,5	30,9	33,8
17	5,45	2,456	1,944	20,8	10,4	31,3	33,3
18	5,45	2,456	1,927	21,6	10,3	31,9	32,4
19	5,45	2,456	1,952	20,5	10,4	31,0	33,7
20	5,45	2,456	1,939	21,1	10,4	31,4	33,0
21	5,45	2,456	1,951	20,6	10,4	31,0	33,7
22	5,45	2,456	1,944	20,9	10,4	31,3	33,3
MÉDIA	5,45	2,456	1,939	21,0	10,4	31,4	33,1

Tabela A3.7: Parâmetros volumétricos dos CPs com 5,70% de Ecoflex Pave B moldados com compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	Gmm	MEA (g/cm ³)	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	5,70	2,447	1,908	22,0	10,7	32,7	32,7
2	5,70	2,447	1,932	21,1	10,8	31,9	33,9
3	5,70	2,447	1,937	20,8	10,8	31,7	34,2
4	5,70	2,447	1,948	20,4	10,9	31,3	34,9
5	5,70	2,447	1,970	19,5	11,0	30,5	36,1
6	5,70	2,447	1,952	20,2	10,9	31,2	35,1
7	5,70	2,447	1,963	19,8	11,0	30,8	35,7
8	5,70	2,447	1,882	23,1	10,5	33,6	31,3
9	5,70	2,447	1,948	20,4	10,9	31,3	34,8
10	5,70	2,447	1,876	23,3	10,5	33,8	31,1
11	5,70	2,447	1,940	20,7	10,9	31,6	34,4
12	5,70	2,447	1,948	20,4	10,9	31,3	34,8
13	5,70	2,447	1,860	24,0	10,4	34,4	30,3
14	5,70	2,447	1,949	20,4	10,9	31,3	34,9
15	5,70	2,447	1,932	21,1	10,8	31,9	33,9
16	5,70	2,447	1,930	21,1	10,8	31,9	33,9
17	5,70	2,447	1,944	20,6	10,9	31,5	34,6
18	5,70	2,447	1,946	20,5	10,9	31,4	34,7
19	5,70	2,447	1,923	21,4	10,8	32,2	33,4
20	5,70	2,447	1,926	21,3	10,8	32,1	33,6
21	5,70	2,447	1,940	20,7	10,9	31,6	34,4
22	5,70	2,447	1,954	20,1	10,9	31,1	35,2
MÉDIA	5,70	2,447	1,932	21,0	10,8	31,9	34,0

Tabela A3.8: Parâmetros volumétricos dos CPs com 5,10% de Ecoflex Pave B moldados com compactador giratório.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	Gmm	MEA (g/cm ³)	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	5,10	2,416	1,842	23,8	9,2	33,0	28,0
2	5,10	2,416	1,858	23,1	9,3	32,4	28,7
3	5,10	2,416	1,850	23,4	9,3	32,7	28,3
4	5,10	2,416	1,897	21,5	9,5	31,0	30,7
5	5,10	2,416	1,853	23,3	9,3	32,6	28,5
6	5,10	2,416	1,849	23,5	9,3	32,7	28,3
7	5,10	2,416	1,857	23,1	9,3	32,4	28,7
8	5,10	2,416	1,859	23,1	9,3	32,4	28,8
9	5,10	2,416	1,864	22,9	9,3	32,2	29,0
10	5,10	2,416	1,864	22,9	9,3	32,2	29,0
11	5,10	2,416	1,866	22,7	9,4	32,1	29,1
12	5,10	2,416	1,868	22,7	9,4	32,0	29,2
13	5,10	2,416	1,891	21,7	9,5	31,2	30,4
14	5,10	2,416	1,845	23,6	9,2	32,9	28,1
15	5,10	2,416	1,846	23,6	9,2	32,8	28,2
16	5,10	2,416	1,840	23,8	9,2	33,0	27,9
17	5,10	2,416	1,854	23,3	9,3	32,5	28,5
18	5,10	2,416	1,872	22,5	9,4	31,9	29,4
19	5,10	2,416	1,862	22,9	9,3	32,2	28,9
20	5,10	2,416	1,868	22,7	9,4	32,0	29,2
21	5,10	2,416	1,862	22,9	9,3	32,3	28,9
22	5,10	2,416	1,867	22,7	9,4	32,1	29,2
MÉDIA	5,10	2,416	1,861	23,0	9,3	32,3	28,9

A3.1.2. CPA, Faixa 9,5 mm ARIZONA, com CAP FlexPave 65/90

As **Tabelas A3.9 a A3.13** apresentam os resultados dos parâmetros volumétricos dos corpos de prova das misturas com CAP FlexPave 65/90 moldadas com compactador Marshall e a **Tabela A3.14** apresenta os resultados dos parâmetros volumétricos dos corpos de prova da mistura com CAP FlexPave 65/90 moldadas no teor de projeto (4,90%) com compactador giratório.

Tabela A3.9: Parâmetros volumétricos dos CPs com 4,20% de FlexPave 65/90 moldados com compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	Gmm	MEA (g/cm ³)	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,20	2,323	1,924	17,2	7,9	25,1	31,6
2	4,20	2,323	1,936	16,7	8,0	24,7	32,4
3	4,20	2,323	1,940	16,5	8,0	24,5	32,7
4	4,20	2,323	1,830	21,2	7,6	28,8	26,2
5	4,20	2,323	1,892	18,6	7,8	26,4	29,6
6	4,20	2,323	1,937	16,6	8,0	24,6	32,5
7	4,20	2,323	1,860	19,9	7,7	27,6	27,8
8	4,20	2,323	1,916	17,5	7,9	25,4	31,1
9	4,20	2,323	1,922	17,3	7,9	25,2	31,5
10	4,20	2,323	1,904	18,1	7,9	25,9	30,3
11	4,20	2,323	1,933	16,8	8,0	24,7	32,2
12	4,20	2,323	1,916	17,5	7,9	25,4	31,1
13	4,20	2,323	1,917	17,5	7,9	25,4	31,2
14	4,20	2,323	1,935	16,7	8,0	24,7	32,3
15	4,20	2,323	1,914	17,6	7,9	25,5	31,0
16	4,20	2,323	1,907	17,9	7,9	25,8	30,5
17	4,20	2,323	1,960	15,6	8,1	23,7	34,1
18	4,20	2,323	1,931	16,9	8,0	24,8	32,1
19	4,20	2,323	1,924	17,2	7,9	25,1	31,6
20	4,20	2,323	1,923	17,2	7,9	25,2	31,5
21	4,20	2,323	1,930	16,9	8,0	24,9	32,0
22	4,20	2,323	1,928	17,0	8,0	25,0	31,9
MÉDIA	4,20	2,323	1,917	17,5	7,9	25,4	31,2

Tabela A3.10: Parâmetros volumétricos dos CPs com 4,45% de FlexPave 65/90 moldados com compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	Gmm	MEA (g/cm ³)	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,45	2,315	1,901	17,9	8,3	26,2	31,7
2	4,45	2,315	1,908	17,6	8,3	25,9	32,1
3	4,45	2,315	1,916	17,2	8,4	25,6	32,7
4	4,45	2,315	1,913	17,4	8,4	25,7	32,5
5	4,45	2,315	1,905	17,7	8,3	26,0	32,0
6	4,45	2,315	1,905	17,7	8,3	26,1	32,0
7	4,45	2,315	1,898	18,0	8,3	26,3	31,5
8	4,45	2,315	1,918	17,1	8,4	25,5	32,8
9	4,45	2,315	1,887	18,5	8,3	26,7	30,9
10	4,45	2,315	1,876	18,9	8,2	27,1	30,2
11	4,45	2,315	1,910	17,5	8,3	25,9	32,3
12	4,45	2,315	1,894	18,2	8,3	26,5	31,3
13	4,45	2,315	1,912	17,4	8,4	25,8	32,4
14	4,45	2,315	1,950	15,8	8,5	24,3	35,1
15	4,45	2,315	1,906	17,7	8,3	26,0	32,1
16	4,45	2,315	1,915	17,3	8,4	25,6	32,7
17	4,45	2,315	1,816	21,6	7,9	29,5	26,9
18	4,45	2,315	1,888	18,4	8,3	26,7	30,9
19	4,45	2,315	1,889	18,4	8,3	26,7	31,0
20	4,45	2,315	1,907	17,6	8,3	26,0	32,1
21	4,45	2,315	1,877	18,9	8,2	27,1	30,3
22	4,45	2,315	1,834	20,8	8,0	28,8	27,8
MÉDIA	4,45	2,315	1,897	18,1	8,3	26,4	31,5

Tabela A3.11: Parâmetros volumétricos dos CPs com 4,70% de FlexPave 65/90 moldados com compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	Gmm	MEA (g/cm ³)	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,70	2,307	1,939	16,0	9,0	24,9	35,9
2	4,70	2,307	1,934	16,2	8,9	25,1	35,6
3	4,70	2,307	1,935	16,1	8,9	25,1	35,6
4	4,70	2,307	1,935	16,1	8,9	25,0	35,7
5	4,70	2,307	1,948	15,6	9,0	24,6	36,6
6	4,70	2,307	1,901	17,6	8,8	26,4	33,2
7	4,70	2,307	1,917	16,9	8,9	25,7	34,4
8	4,70	2,307	1,927	16,5	8,9	25,4	35,1
9	4,70	2,307	1,926	16,5	8,9	25,4	35,0
10	4,70	2,307	1,943	15,8	9,0	24,7	36,2
11	4,70	2,307	1,936	16,1	8,9	25,0	35,7
12	4,70	2,307	1,922	16,7	8,9	25,6	34,7
13	4,70	2,307	1,969	14,7	9,1	23,7	38,3
14	4,70	2,307	1,952	15,4	9,0	24,4	36,9
15	4,70	2,307	1,937	16,0	8,9	25,0	35,8
16	4,70	2,307	1,921	16,7	8,9	25,6	34,6
17	4,70	2,307	1,853	19,7	8,6	28,2	30,3
18	4,70	2,307	1,899	17,7	8,8	26,4	33,2
19	4,70	2,307	1,910	17,2	8,8	26,0	33,9
20	4,70	2,307	1,934	16,2	8,9	25,1	35,6
21	4,70	2,307	1,953	15,3	9,0	24,4	37,0
22	4,70	2,307	1,859	19,4	8,6	28,0	30,7
MÉDIA	4,70	2,307	1,925	16,6	8,9	25,4	35,0

Tabela A3.12: Parâmetros volumétricos dos CPs com 4,95% de FlexPave 65/90 moldados com compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	Gmm	MEA (g/cm ³)	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,95	2,300	1,931	16,0	9,4	25,4	37,0
2	4,95	2,300	1,814	21,1	8,8	29,9	29,5
3	4,95	2,300	1,927	16,2	9,4	25,6	36,6
4	4,95	2,300	1,834	20,2	8,9	29,2	30,6
5	4,95	2,300	1,918	16,6	9,3	25,9	36,0
6	4,95	2,300	1,913	16,8	9,3	26,1	35,6
7	4,95	2,300	1,899	17,4	9,2	26,7	34,6
8	4,95	2,300	1,926	16,3	9,4	25,6	36,6
9	4,95	2,300	1,928	16,2	9,4	25,5	36,7
10	4,95	2,300	1,924	16,3	9,4	25,7	36,4
11	4,95	2,300	1,931	16,0	9,4	25,4	36,9
12	4,95	2,300	1,912	16,9	9,3	26,2	35,5
13	4,95	2,300	1,936	15,8	9,4	25,2	37,3
14	4,95	2,300	1,916	16,7	9,3	26,0	35,8
15	4,95	2,300	1,912	16,9	9,3	26,2	35,6
16	4,95	2,300	1,946	15,4	9,5	24,9	38,0
17	4,95	2,300	1,916	16,7	9,3	26,0	35,8
18	4,95	2,300	1,907	17,1	9,3	26,4	35,2
19	4,95	2,300	1,920	16,5	9,3	25,9	36,1
20	4,95	2,300	1,833	20,3	8,9	29,2	30,5
21	4,95	2,300	1,905	17,2	9,3	26,4	35,1
22	4,95	2,300	1,900	17,4	9,2	26,6	34,7
MÉDIA	4,95	2,300	1,907	17,1	9,3	26,4	35,3

Tabela A3.13: Parâmetros volumétricos dos CPs com 5,20% de FlexPave 65/90 moldados com compactador Marshall.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	Gmm	MEA (g/cm ³)	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	5,20	2,292	1,957	14,6	10,0	24,6	40,6
2	5,20	2,292	1,952	14,8	10,0	24,8	40,2
3	5,20	2,292	1,970	14,0	10,1	24,1	41,8
4	5,20	2,292	1,927	15,9	9,8	25,8	38,2
5	5,20	2,292	1,934	15,6	9,9	25,5	38,7
6	5,20	2,292	1,951	14,9	10,0	24,9	40,1
7	5,20	2,292	1,931	15,8	9,9	25,6	38,5
8	5,20	2,292	1,944	15,2	9,9	25,1	39,5
9	5,20	2,292	1,938	15,4	9,9	25,3	39,1
10	5,20	2,292	1,942	15,3	9,9	25,2	39,4
11	5,20	2,292	1,946	15,1	9,9	25,0	39,7
12	5,20	2,292	1,944	15,2	9,9	25,1	39,5
13	5,20	2,292	1,947	15,0	9,9	25,0	39,8
14	5,20	2,292	1,940	15,4	9,9	25,3	39,2
15	5,20	2,292	1,946	15,1	9,9	25,1	39,7
16	5,20	2,292	1,931	15,8	9,9	25,6	38,5
17	5,20	2,292	1,953	14,8	10,0	24,8	40,3
18	5,20	2,292	1,961	14,4	10,0	24,4	41,0
19	5,20	2,292	1,923	16,1	9,8	25,9	37,9
20	5,20	2,292	1,868	18,5	9,5	28,1	34,0
21	5,20	2,292	1,938	15,5	9,9	25,4	39,0
22	5,20	2,292	1,971	14,0	10,1	24,1	41,9
MÉDIA	5,20	2,292	1,941	15,3	9,9	25,2	39,4

Tabela A3.14: Parâmetros volumétricos dos CPs com 4,90% de FlexPave 65/90 moldados com compactador giratório.

Nº do CP	Teor de ligante (%)	Gmm	MEA (g/cm ³)	Vv (%)	VCB (%)	VAM (%)	RBV (%)
1	4,90	2,392	1,845	22,9	8,9	31,8	28,0
2	4,90	2,392	1,851	22,6	8,9	31,5	28,3
3	4,90	2,392	1,844	22,9	8,9	31,8	27,9
4	4,90	2,392	1,854	22,5	8,9	31,4	28,4
5	4,90	2,392	1,851	22,6	8,9	31,5	28,3
6	4,90	2,392	1,857	22,4	8,9	31,3	28,6
7	4,90	2,392	1,854	22,5	8,9	31,4	28,4
8	4,90	2,392	1,850	22,7	8,9	31,6	28,2
9	4,90	2,392	1,846	22,8	8,9	31,7	28,0
10	4,90	2,392	1,834	23,3	8,8	32,2	27,5
11	4,90	2,392	1,816	24,1	8,7	32,8	26,7
12	4,90	2,392	1,806	24,5	8,7	33,2	26,2
13	4,90	2,392	1,831	23,4	8,8	32,3	27,3
14	4,90	2,392	1,811	24,3	8,7	33,0	26,4
15	4,90	2,392	1,836	23,3	8,8	32,1	27,5
16	4,90	2,392	1,849	22,7	8,9	31,6	28,2
17	4,90	2,392	1,853	22,5	8,9	31,5	28,3
18	4,90	2,392	1,833	23,3	8,8	32,2	27,4
19	4,90	2,392	1,837	23,2	8,8	32,1	27,6
20	4,90	2,392	1,851	22,6	8,9	31,5	28,3
21	4,90	2,392	1,853	22,5	8,9	31,5	28,4
22	4,90	2,392	1,849	22,7	8,9	31,6	28,2
MÉDIA	4,90	2,392	1,841	23,0	8,9	31,9	27,8

A3.3. Resultados dos Ensaio Mecânicos

A3.3.1. CPA, Faixa 9,5 mm ARIZONA, com CAP Ecoflex Pave B

Os resultados dos ensaios mecânicos da mistura asfáltica do tipo CPA, faixa 9,5mm ARIZONA, com CAP ECOFLEX Pave B, estão apresentados na **Tabela A3.15** e nas **Figuras A3.3 a A3.5**.

Tabela A3.15: Resultados dos ensaios mecânicos de misturas com Ecoflex Pave B, Faixa 9,5 mm.

Parâmetros	Teor de ligante					
	-0,50%	-0,25%	T.Projeto N.Dutra	+0,25%	+0,50%	T.Projeto COPPE
	4,70%	4,95%	5,20%	5,45%	5,70%	5,10%
MR (MPa)	2820	2647	2592	2769	2414	1645
RT (MPa)	0,56	0,55	0,54	0,58	0,54	0,41
Creep (%)	0,408	0,348	0,887	0,572	0,405	0,775

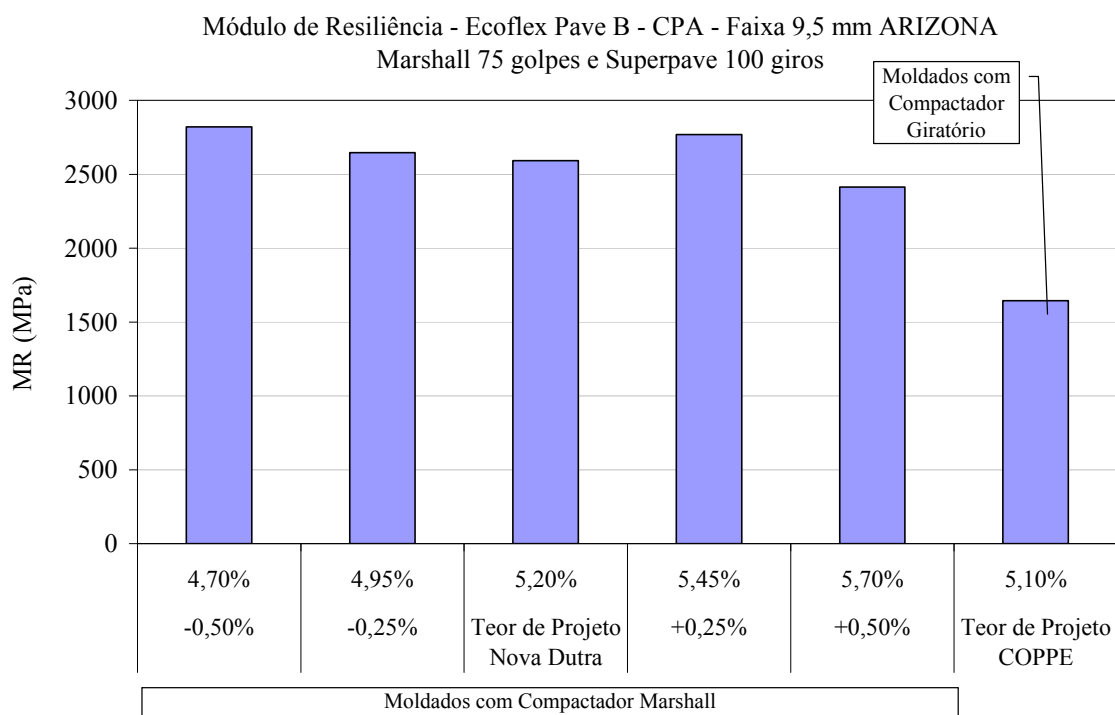


Figura A3.3: Comparação dos valores de MR para misturas com Ecoflex Pave B.

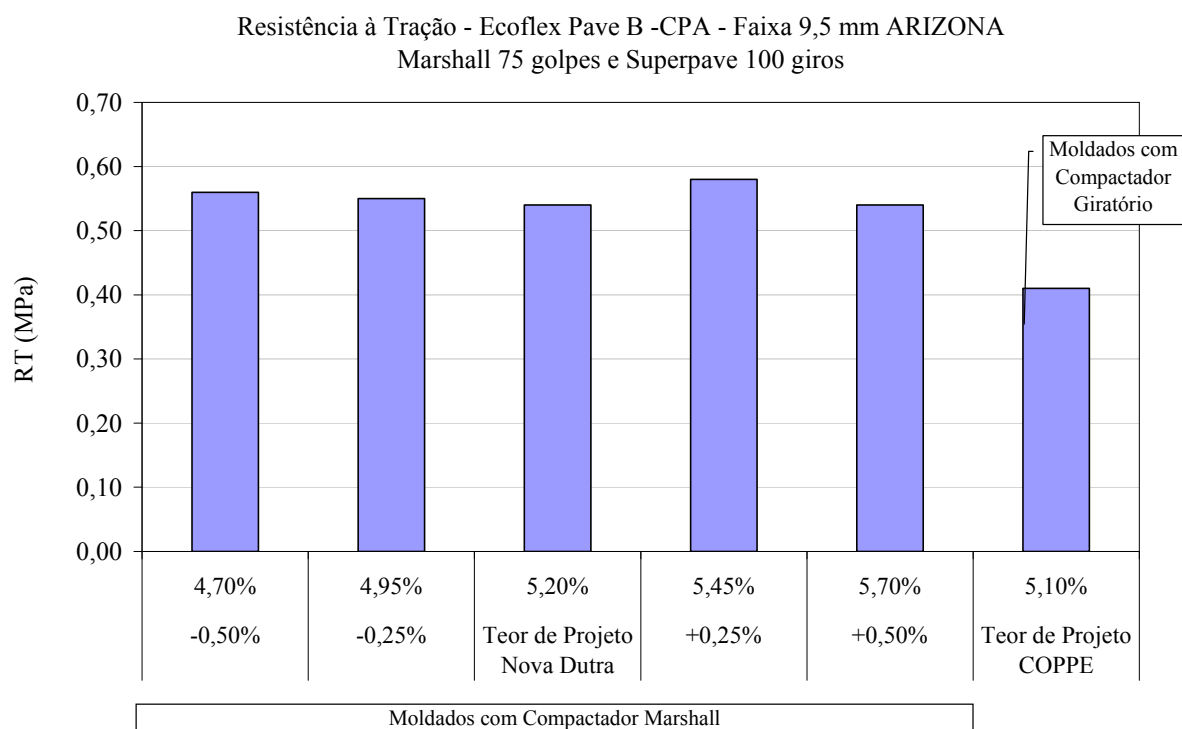


Figura A3.4: Comparação dos valores de RT para misturas com Ecoflex Pave B.

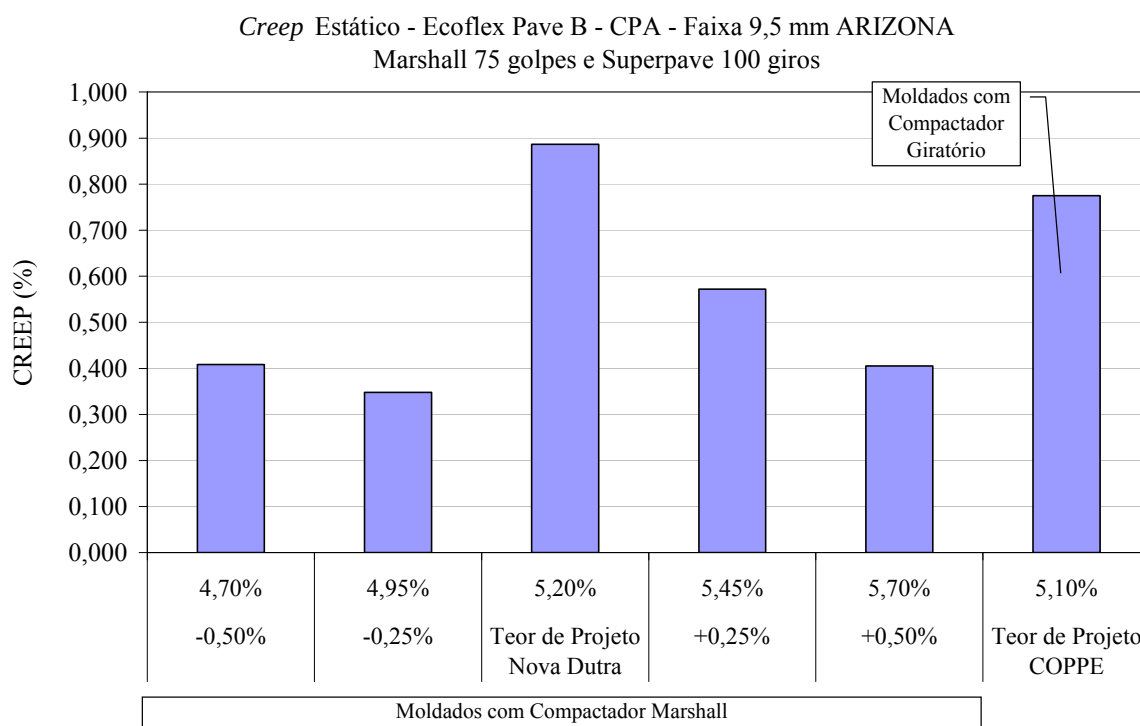


Figura A3.5: Comparação dos valores de *creep* para misturas com Ecoflex Pave B.

A3.3.2. CPA, Faixa 9,5 mm ARIZONA, com CAP FlexPave 65/90

Os resultados dos ensaios mecânicos da mistura asfáltica do tipo CPA, faixa 9,5mm ARIZONA, com CAP FLEXPAVE 65/90, estão apresentados na **Tabela A3.16** e nas **Figuras A3.6 a A3.8**.

Tabela A3.17: Resultados dos ensaios mecânicos de misturas com FlexPave 65/90, Faixa 9,5 mm.

Parâmetros	Teor de ligante					
	-0,50%	-0,25%	T.Projeto N.Dutra	+0,25%	+0,50%	T.Projeto COPPE
	4,20%	4,45%	4,70%	4,95%	5,20%	4,90%
MR (MPa)	2360	2679	2508	2072	2717	1580
RT (MPa)	0,64	0,62	0,73	0,57	0,67	0,63
Creep (%)	0,475	0,362	0,563	0,527	0,311	0,753

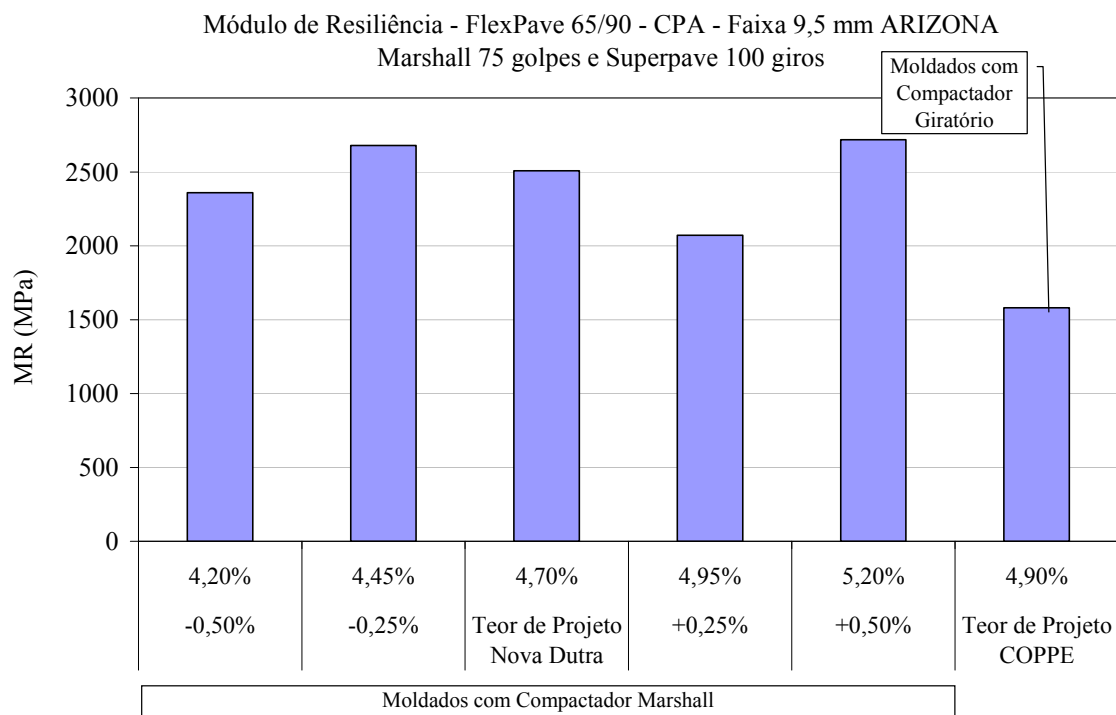


Figura A3.6: Comparação dos valores de MR para misturas com FlexPave 65/90.

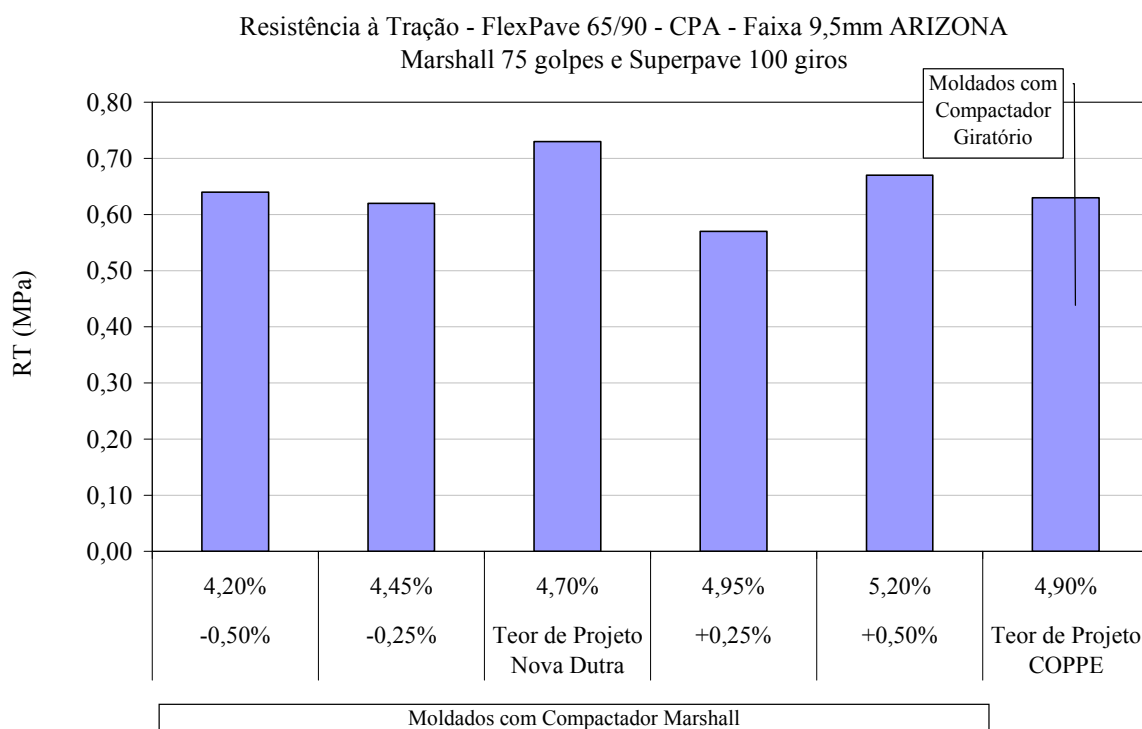


Figura A3.7: Comparação dos valores de RT para misturas com FlexPave 65/90.

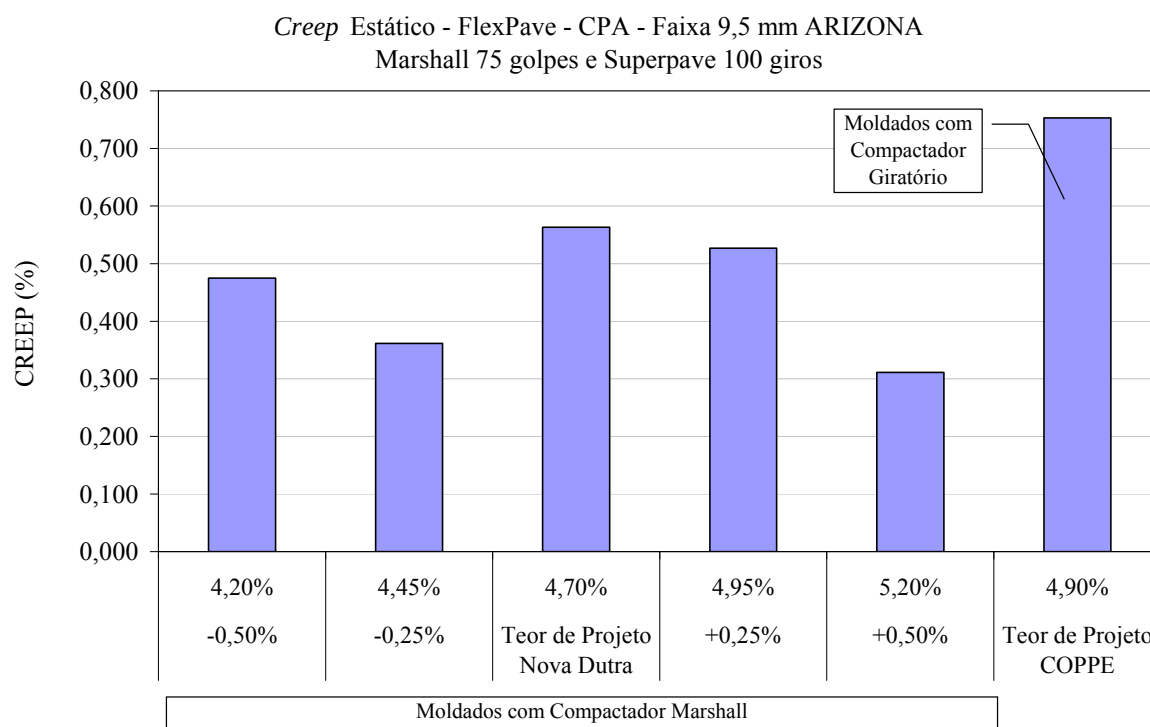


Figura A3.8: Comparação dos valores de *creep* para misturas com FlexPave 65/90.

A3.3. Resultados dos Ensaios de Fadiga

Foram elaborados gráficos do número de ciclos em função da diferença de tensões, em escala logarítmica. Para cada gráfico foi feita a regressão da curva de fadiga, obtendo-se a equação correspondente à curva (**Tabelas A3.18 e A3.19 e Figuras A3.7 e A3.8**).

Tabela A3.18: Modelos de fadiga de misturas com Ecoflex Pave B, Faixa 9,5 mm.

Teor de ligante (%)		Modelos de Fadiga	R ²	k ₁	k ₂
-0,50%	4,70	$N = 970,67 (1/\Delta\sigma)^{3,8404}$	0,8769	970,67	3,8404
		$N = 3,0 \times 10^{-13} (1/\varepsilon)^{3,8404}$			
-0,25%	4,95	$N = 698,12 (1/\Delta\sigma)^{2,7585}$	0,9682	698,12	2,7585
		$N = 6,0 \times 10^{-9} (1/\varepsilon)^{2,7585}$			
Teor de Projeto Nova Dutra	5,20	$N = 857,38 (1/\Delta\sigma)^{4,4582}$	0,9962	857,38	4,4582
		$N = 1,0 \times 10^{-15} (1/\varepsilon)^{4,4582}$			
+0,25%	5,45	$N = 902,55 (1/\Delta\sigma)^{3,4065}$	0,9643	902,55	3,4065
		$N = 1,0 \times 10^{-12} (1/\varepsilon)^{3,4065}$			
+0,50%	5,70	$N = 379,3 (1/\Delta\sigma)^{3,9902}$	0,9842	379,3	3,9902
		$N = 5,0 \times 10^{-1} (1/\varepsilon)^{3,9902}$			
Teor de Projeto COPPE	5,10	$N = 898,89 (1/\Delta\sigma)^{2,7411}$	0,9392	898,89	2,7411
		$N = 3,0 \times 10^{-8} (1/\varepsilon)^{2,7411}$			

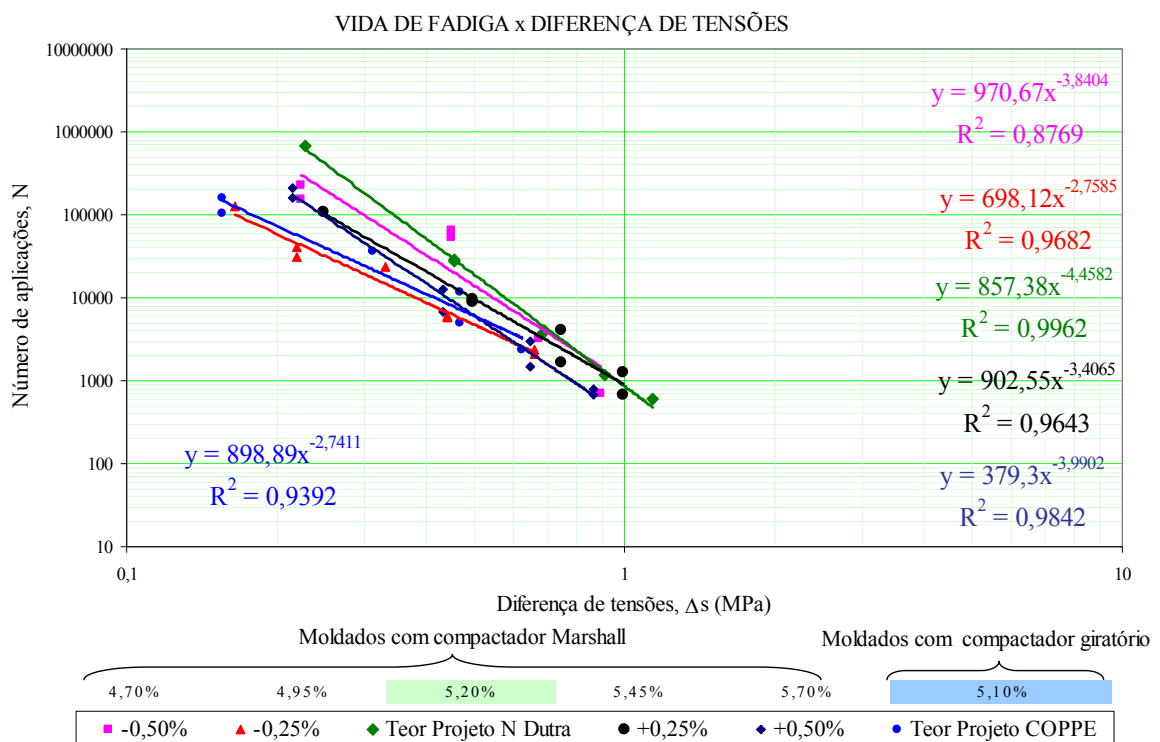


Figura A3.7: Curvas de fadiga de misturas com Ecoflex Pave B, Faixa 9,5 mm.

Tabela A3.19: Modelos de fadiga de misturas com FlexPave 65/90.

Teor de ligante (%)		Modelos de Fadiga	R ²	k ₁	k ₂
-0,50%	4,20	$N = 647,51 (1/\Delta\sigma)^{3,0300}$	0,9020	647,51	3,0300
		$N = 6,0 \times 10^{-10} (1/\varepsilon)^{3,0300}$			
-0,25%	4,45	$N = 706,04 (1/\Delta\sigma)^{2,6031}$	0,9661	706,04	2,6031
		$N = 2,0 \times 10^{-8} (1/\varepsilon)^{2,6031}$			
Teor de Projeto Nova Dutra	4,70	$N = 1498,2 (1/\Delta\sigma)^{3,2168}$	0,8643	1498,2	3,2168
		$N = 2,0 \times 10^{-10} (1/\varepsilon)^{3,2168}$			
+0,25%	4,95	$N = 734,45 (1/\Delta\sigma)^{3,0198}$	0,9492	734,45	3,0198
		$N = 1,0 \times 10^{-9} (1/\varepsilon)^{3,0198}$			
+0,50%	5,20	$N = 781,76 (1/\Delta\sigma)^{3,2461}$	0,9756	781,76	3,2461
		$N = 7,0 \times 10^{-11} (1/\varepsilon)^{3,2461}$			
Teor de Projeto COPPE	4,90	$N = 617,78 (1/\Delta\sigma)^{2,7920}$	0,9819	617,78	2,7920
		$N = 1,0 \times 10^{-8} (1/\varepsilon)^{2,7920}$			

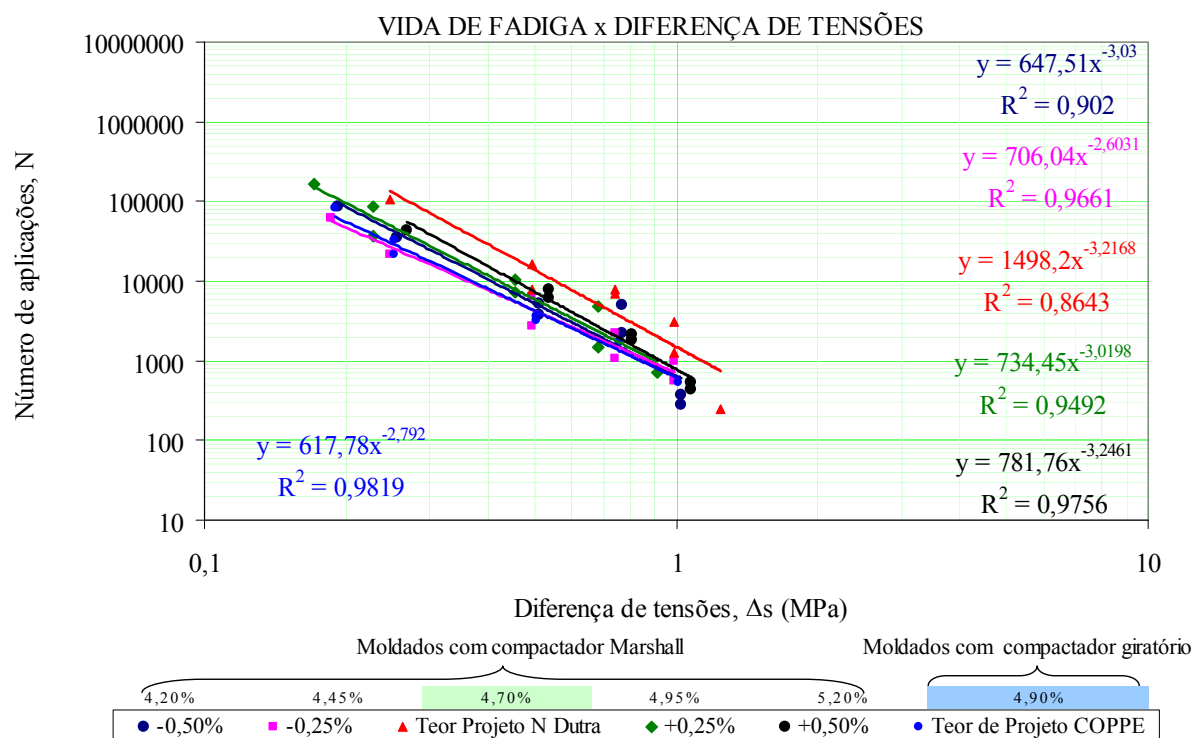


Figura A3.8: Curvas de fadiga de misturas com FlexPave 65/90, Faixa 9,5 mm.

Com os resultados obtidos, fez-se a comparação das misturas avaliadas (com Ecoflex Pave B e com FlexPave 65/90) através de uma simulação de duas estruturas de pavimento hipotéticas (Tabela A3.20). A análise tensional foi feita com o programa ELSYM 5 e os resultados são apresentados nas Tabelas A3.21 e A3.22.

Tabela A3.20: Estruturas de pavimento hipotéticas 1 e 2.

Estrutura	Camada	Espessura (cm)	Coef. de Poisson	MR (MPa)	MR (psi)
1	Capa	10	0,30	Variável	MR
	Base	20	0,34	340	51.000
	Sub-base	20	0,38	210	31.500
	Subleito	Semi-infinito	0,42	85	12.750
2	Capa	7,5	0,30	Variável	MR
	Base	20	0,30	450	67.500
	Subleito	Semi-infinito	0,40	60	9.000

Tabela A3.21: Resultados da análise mecanística com as estruturas 1 e 2 - Ecoflex Pave B.

Estrutura 1						
Teor de ligante (%)		MR (MPa)	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,50%	4,70	2.820	0,641	-0,196	0,837	1.919
-0,25%	4,95	2.647	0,609	-0,201	0,810	1.248
T. Projeto N.Dutra	5,20	2.592	0,599	-0,202	0,801	2.301
+0,25%	5,45	2.769	0,632	-0,197	0,829	1.707
+0,50%	5,70	2.414	0,564	-0,208	0,772	1.065
T. Projeto COPPE	5,10	1.645	0,393	-0,239	0,631	3.171
Estrutura 2						
Teor de ligante (%)		MR (MPa)	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,50%	4,70	2.820	0,570	-0,279	0,849	1.817
-0,25%	4,95	2.647	0,528	-0,285	0,813	1.234
T. Projeto N.Dutra	5,20	2.592	0,515	-0,287	0,801	2.301
+0,25%	5,45	2.769	0,558	-0,281	0,839	1.643
+0,50%	5,70	2.414	0,470	-0,293	0,763	1.114
T. Projeto COPPE	5,10	1.645	0,259	-0,327	0,586	3.890

onde:

MR = módulo de resiliência obtido no ensaio de laboratório;

σ_t = tensão de tração no revestimento obtida no programa ELSYM 5;

σ_c = tensão de compressão no revestimento obtida no programa ELSYM 5;

$\Delta\sigma$ = diferença entre as tensões de tração e compressão ($\sigma_t - \sigma_c$);

N = número de ciclos.

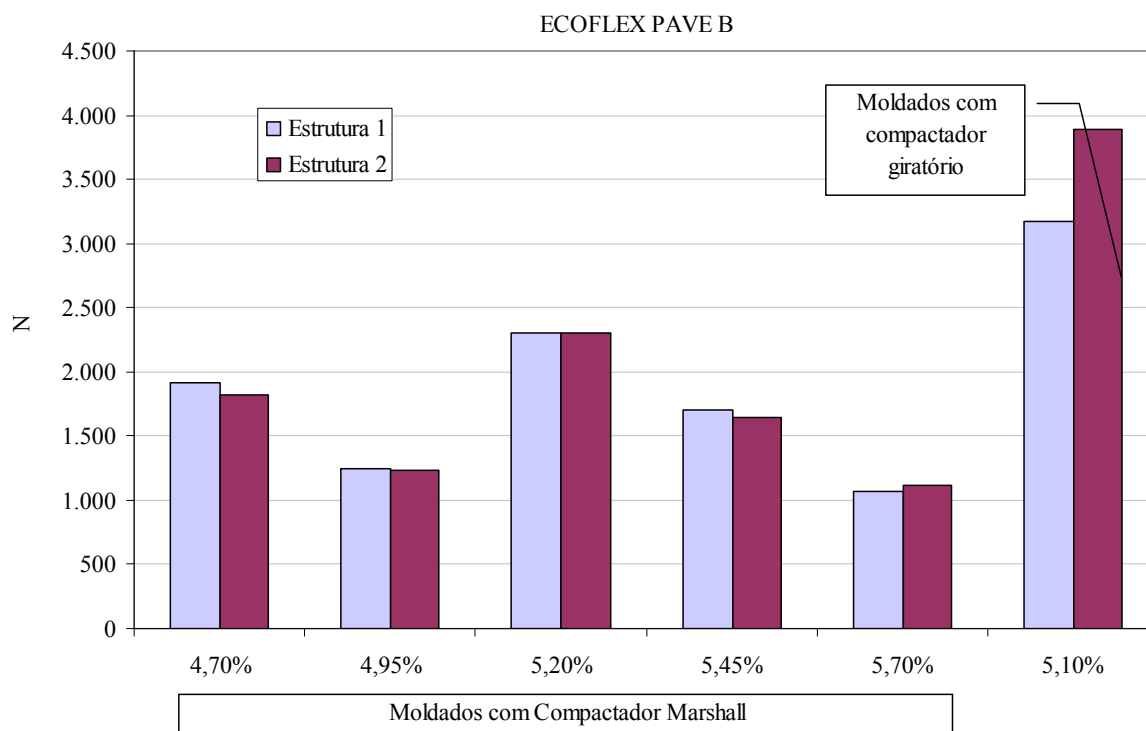


Figura A2.11: Resultados da análise de vida de fadiga de misturas com Ecoflex Pave B.

Tabela A2.21: Resultados da análise mecânica com as estruturas 1 e 2 - FlexPave 65/90.

Estrutura 1						
Teor de ligante (%)		MR (MPa)	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,50%	4,20	2.360	0,553	-0,210	0,763	1.468
-0,25%	4,45	2.679	0,615	-0,200	0,815	1.201
T. Projeto N.Dutra	4,70	2.508	0,583	-0,205	0,787	3.233
+0,25%	4,95	2.072	0,493	-0,220	0,713	2.037
+0,50%	5,20	2.717	0,622	-0,199	0,821	1.485
T. Projeto COPPE	4,90	1.580	0,376	-0,242	0,618	2.368
Estrutura 2						
Teor de ligante (%)		MR (MPa)	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,50%	4,20	2.360	0,456	-0,295	0,751	1.540
-0,25%	4,45	2.679	0,536	-0,284	0,820	1.184
T. Projeto N.Dutra	4,70	2.508	0,494	-0,290	0,784	3.277
+0,25%	4,95	2.072	0,380	-0,307	0,687	2.279
+0,50%	5,20	2.717	0,545	-0,283	0,828	1.443
T. Projeto COPPE	4,90	1.580	0,239	-0,331	0,570	2.968

onde:

MR = módulo de resiliência obtido no ensaio de laboratório;

σ_t = tensão de tração no revestimento obtida no programa ELSYM 5;

σ_c = tensão de compressão no revestimento obtida no programa ELSYM 5;

$\Delta\sigma$ = diferença entre as tensões de tração e compressão ($\sigma_t - \sigma_c$);

N = número de ciclos.

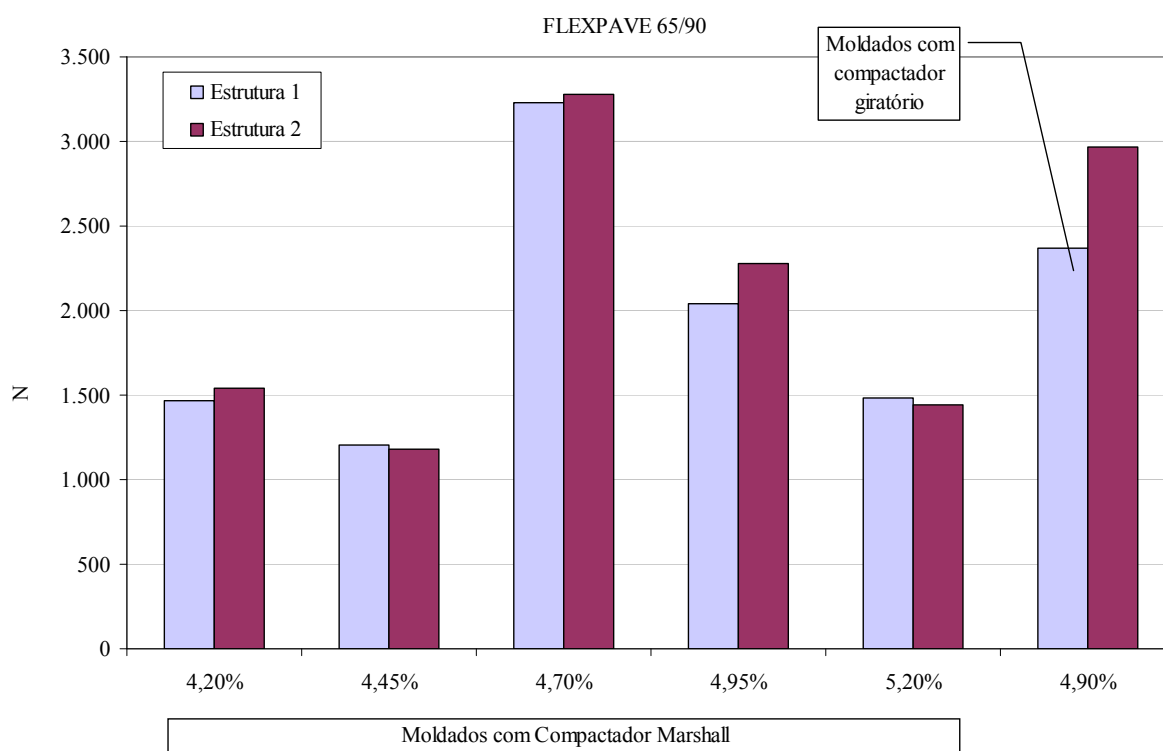


Figura A2.12: Resultados da análise de vida de fadiga de misturas com FlexPave 65/90.

ANEXO 4 - PROTOCOLOS

Ligante	Faixa	Teor de ligante	Teor de ligante (%)	Protocolo
CAP 30-45 REVAP	CA 9,5 mm Superpave	-0,50%	5,10	62-07
		-0,25%	5,35	60-07
		T.Proj. NDutra	5,60	58-07
		+0,25%	5,85	59-07
		+0,50%	6,10	61-07
		Dosagem COPPE	4,5; 5,0; 5,5 e 6,0	51-09
		T.Proj. COPPE	5,60	51-09
	CA 12,5 mm DNIT	-0,50%	4,40	07-07
		-0,25%	4,65	02-07
		T.Proj. NDutra	4,90	01-07
		+0,25%	5,15	08-07
		+0,50%	5,40	09-07
		Dosagem COPPE	4,0; 4,5 e 5,0	35-07
		T.Proj. COPPE	4,45	35-07
	CA 19,0 mm Superpave	-0,50%	4,10	15-08
		-0,25%	4,35	19-08
		T.Proj. NDutra	4,60	16-08
		+0,25%	4,85	18-08
		+0,50%	5,10	17-08
		Dosagem COPPE	4,5; 5,0; 5,5 e 6,0	75-07
		T.Proj. COPPE	4,60	75-07
CAP 50-70 REVAP	CA 9,5 mm Superpave	-0,50%	4,30	39-07
		-0,25%	4,55	33-07
		T.Proj. NDutra	4,80	32-07
		+0,25%	5,05	38-07
		+0,50%	5,30	40-07
		Dosagem COPPE	4,5; 5,0; 5,5 e 6,0	50-09
		T.Proj. COPPE	5,10	50-09
	CA 12,5 mm DNIT	-0,50%	3,70	61-06
		-0,25%	3,95	60-06
		T.Proj. NDutra	4,20	50-06
		+0,25%	4,45	66-06
		+0,50%	4,70	65-06
		Dosagem COPPE	4,0; 4,5 e 5,0	34-07
		T.Proj. COPPE	4,20	34-07
	CA 19,0 mm Superpave	-0,50%	4,00	11-08
		-0,25%	4,25	10-08
		T.Proj. NDutra	4,50	09-08
		+0,25%	4,75	12-08
		+0,50%	5,00	08-08
		Dosagem COPPE	3,5; 4,0; 4,5 e 5,0	54-09
		T.Proj. COPPE	4,50	54-09
CAP SBS	CA 9,5 mm Superpave	-0,50%	4,70	71-08
		-0,25%	4,95	68-08
		T.Proj. NDutra	5,20	59-08/23-09
		+0,25%	5,45	69-08
		+0,50%	5,70	70-08
		Dosagem COPPE	4,5; 5,0; 5,5 e 6,0	77-07
		T.Proj. COPPE	5,20	77-07
	CA 12,5 mm DNIT	-0,50%	4,20	23-08
		-0,25%	4,45	20-08
		T.Proj. NDutra	4,70	24-08
		+0,25%	4,95	22-08
		+0,50%	5,20	21-08
		Dosagem COPPE	4,5; 5,0; 5,5 e 6,0	76-07
		T.Proj. COPPE	4,70	76-07
	CA 19,0 mm Superpave	-0,50%	3,60	29-08
		-0,25%	3,85	27-08
		T.Proj. NDutra	4,10	25-08
		+0,25%	4,35	26-08
		+0,50%	4,60	28-08
		Dosagem COPPE	4,0; 4,5; 5,0 e 5,5	79-07
		T.Proj. COPPE	4,10	79-07

Ligante	Faixa	Teor de ligante	Teor de ligante (%)	Protocolo
CAP ECOFLEX B	CA 9,5 mm Superpave	-0,50%	5,40	04-09
		-0,25%	5,65	01-09
		T.Proj. NDutra	5,90	02-09
		+0,25%	6,15	05-09
		+0,50%	6,40	03-09
		Dosagem COPPE	5,5; 6,0; 6,5 e 7,0	66-08
		T.Proj. COPPE	5,90	66-08
	CA 12,5 mm DNIT	-0,50%	4,80	31-08
		-0,25%	5,05	32-08
		T.Proj. NDutra	5,30	34-08
		+0,25%	5,55	33-08
		+0,50%	5,80	30-08
		Dosagem COPPE	4,5; 5,0; 5,5 e 6,0	55-08/16-09
		T.Proj. COPPE	5,30	55-08/16-09
	CA 19,0 mm Superpave	-0,50%	4,20	50-08
		-0,25%	4,45	48-08
		T.Proj. NDutra	4,70	44-08
		+0,25%	4,95	46-08
		+0,50%	5,20	49-08
		Dosagem COPPE	4,5; 5,0; 5,5 e 6,0	54-08/32-09
		T.Proj. COPPE	4,70	54-08/32-09
CAP 30-45 REVAP	SMA 12,5 mm AASHTO	T.Proj. COPPE	4,75	61-08
CAP 50-70 REVAP	SMA 12,5 mm AASHTO	T.Proj. COPPE	4,90	20-09
CAP STYLINK TIPO 60-85 PG 76-22	GAP GRADED FAIXA 19,0 mm CALTRANS	-0,50%	4,20	118-09
		-0,25%	4,45	120-09
		T.Proj. NDutra	4,70	117-09
		+0,25%	4,95	119-09
		+0,50%	5,20	121-09
		Dosagem COPPE	4,0; 4,5 e 5,0	137-09
		T.Proj. COPPE	4,90	155-09
CAP BORRACHA ECOFLEX PAVE B	GAP GRADED FAIXA 19,0 mm CALTRANS	-0,50%	5,50	130-09
		-0,25%	5,75	127-09
		T.Proj. NDutra	6,00	126-09
		+0,25%	6,25	128-09
		+0,50%	6,50	129-09
		Dosagem COPPE	5,5; 6,0 e 6,5	138-09
		T.Proj. COPPE	5,65	156-09
CAP FLEXPAVE TIPO 65/90	CPA FAIXA 9,5 mm ARIZONA	-0,50%	4,20	61-10
		-0,25%	4,45	60-10
		T.Proj. NDutra	4,70	62-10
		+0,25%	4,95	63-10
		+0,50%	5,20	64-10
		Dosagem COPPE	4,0; 4,5; 5,0 e 5,5	40-10/42-10
		Dosagem COPPE	4,5; 5,0 e 5,5	47-10
		Dosagem COPPE	4,0; 4,5; 5,0 e 5,5	49-10
CAP BORRACHA ECOFLEX PAVE B	CPA FAIXA 9,5 mm ARIZONA	T.Proj. COPPE	4,90	51-10
		-0,50%	4,70	52-10
		-0,25%	4,95	53-10
		T.Proj. NDutra	5,20	54-10
		+0,25%	5,45	55-10
		+0,50%	5,70	56-10
		Dosagem COPPE	4,5; 5,0; 5,5 e 6,0	38-10/39-10
		Dosagem COPPE	4,5; 5,0 e 5,5	46-10
		Dosagem COPPE	4,5; 5,0 e 5,5	48-10
		T.Proj. COPPE	5,10	57-10

PEC 8650

Estudo comparativo do comportamento de fadiga de misturas betuminosas com diferentes teores de asfalto.

Rio de Janeiro, 09 de junho de 2010.

Professora: Laura Maria Goretti da Motta
Coordenadora do Projeto

Fernando Luiz Bastos Ribeiro
Coordenador do Programa de Engenharia Civil

Segen Farid Estefen
Diretor Executivo da Fundação COPPETEC