

**UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE
DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA

Curso de Engenharia Civil

Jaelson Budny

**AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DE DIFERENTES TIPOS DE
CAL EM MISTURAS DE CONCRETO ASFÁLTICO**

Ijuí/RS

2009

Jaelson Budny

**AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DE DIFERENTES TIPOS DE
CAL EM MISTURAS DE CONCRETO ASFÁLTICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Ijuí/RS

2009

FOLHA DE APROVAÇÃO

Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em sua forma final pelo professor orientador e pelo membro da banca examinadora.

Prof. Luciano Pivoto Specht , Dr - Orientador

Banca Examinadora

Prof. . Paulo Cesar Rodrigues, Msc
UNIJUÍ/DeTec

*Dedico este trabalho aos meus pais,
Leandro Budny e Francisca Cristina
Budny e ao meu irmão Acsiel Budny.*

RESUMO

A malha rodoviária brasileira se constitui em um dos maiores patrimônios públicos do nosso país; todavia dado seu estado de degradação e a incapacidade dos gestores públicos em manterem esta malha em bom estado, ela não tem trazido aos usuários todos os benefícios esperados. A malha rodoviária é de 1.603.131 km, dos quais apenas 196.280 km são pavimentados (ANTT, 2008). Devido a grande importância que os pavimentos exercem na sociedade atual, estes merecem uma atenção especial quanto aos estudos de sua vida útil, sempre analisando novas idéias a fim de prolongar seu desempenho. Uma das soluções que vem sendo aplicadas durante as ultimas décadas é a utilização de asfaltos modificados por polímero, segundo Specht (2004), a adição de materiais poliméricos traz vários benefícios aos ligantes asfálticos, como a redução da suscetibilidade térmica e o aumento da ductilidade, proporcionando estabilidade em altas temperaturas e reduzindo o risco de fratura em baixas temperaturas, além de contribuir para uma melhor resistência ao intemperismo e uma melhor adesão ligante/agregado, mas em contrapartida possuem custos muito elevados, dificuldades de transportes, armazenamento e incorporação na mistura. Outra solução que vem sendo estudada recentemente é a incorporação da cal em misturas asfálticas, pois além de melhorar a adesividade ligante-agregado e enrijecer a mistura (tornando-a mais resistente a deformações permanentes), retarda o trincamento, altera favoravelmente a cinética da oxidação e interage com produtos da oxidação, reduzindo assim seus efeitos deletérios. O objetivo da pesquisa foi avaliar os efeitos de diferentes tipos de cal (cal dolomítica e cal calcítica) em misturas de CA quanto a ensaios para avaliar características mecânicas e de adesividade. Observou-se que a cal exerce influência, visto que as misturas apresentaram uma considerável redução do teor de ligante, mas não apresentaram redução da Resistência à tração, e para duas cales observou-se a redução do Modulo de Resiliência, o que demonstra que as misturas se tornam mais elásticas mantendo sua resistência à ruptura. Para a metodologia Lottman Modificada observou-se resultados mais satisfatórios para a mistura com cal calcítica. Para a metodologia Cantabro pode-se perceber uma tendência de elevação da perda de massa para temperaturas mais baixas, as maiores perdas de massa acontecem com as misturas com incorporação de cal, pois apresentam um menor teor de ligante, sendo esta uma variável importante, pois proporciona um maior poder cimentante às misturas. Na análise de custos se observa que a

composição com maior custo é a mistura sem cal, observa-se que a mistura mais barata é a mistura com adição de cal CH I C, mesmo o custo desta cal sendo o mais elevado, a mistura se torna viável pela grande economia de ligante.

Palavras-chaves: Pavimentação, Concreto Asfáltico, Adição de Cal.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Composição granulométrica da mistura.....	34
Figura 2 – Estado de tensões gerado no ensaio brasileiro.....	36
Figura 3 – Corte esquemático do equipamento de módulo de resiliência.....	37
Figura 4 – Registro gráfico típico do ensaio de módulo de resiliência.....	8
Figura 5 – Exemplo de equipamento para ensaio de Rt.....	41
Figura 6 – Equipamento de abrasão Los Angeles.....	43
Figura 7 – Curvas dos parâmetros Marshall para a mistura de referência.....	45
Figura 8 – Curvas dos parâmetros Marshall para a mistura com cal CH I C.....	46
Figura 9 – Curvas dos parâmetros Marshall para a mistura com cal CH I D.....	47
Figura 10 – Curvas dos parâmetros Marshall para a mistura com cal CH II D.....	48
Figura 11 – Teor de ligante das misturas.....	49
Figura 13– Resistência a Tração.....	50
Figura 12 – Módulo de Resiliência.....	51
Figura 14 – Relação Mr/Rt.....	53
Figura 15– Relação Rt/Mr	53
Figura 16 – Resistência a tração de corpos-de-prova com volume de 6% a 8%.....	54
Figura 17– Registro gráfico do ensaio Lottmann Modificado.....	54
Figura 18 – Perda de massa.....	56
Figura 19 – Custo das misturas.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Fatores intervenientes nas características de adesividade.....	18
Tabela 02 - Concentração de Cálcio e Magnésio das cales.....	28
Tabela 03 - Características Químicas das cales.....	28
Tabela 04 - Características Físicas das cales.....	28
Tabela 05 - Características dos agregados utilizados.....	32
Tabela 06 - Propriedades do ligante convencional (CAP 50/70).....	34
Tabela 07 - Valores da dosagem Marshall para a mistura de referência.....	44
Tabela 08 - Valores da dosagem Marshall para a mistura com cal CH I C.....	45
Tabela 09 - Valores da dosagem Marshall para a mistura com cal CH I D.....	46
Tabela 10 - Valores da dosagem Marshall para a mistura com cal CH II D.....	47
Tabela 11 - Valores finais para a dosagem Marshall.....	48
Tabela 12 - Resultados da Resistência a tração.....	49
Tabela 13 - Resultados de Módulo de Resiliência.....	50
Tabela 14 - Resultados de Perda de massa.....	55

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

AASHTO: *American Association of State Highway and Transportation Officials*

ANTT: *Agência Nacional de Transporte Terrestre*

ASTM: *American Society of Testing and Materials*

CA: *Concreto Asfáltico*

CAP: *Cimento Asfáltico de Petróleo*

CEC: *Centro de Estudos de Carreiras*

CNT: *Confederação Nacional de Transporte*

d: *diâmetro do Corpo-de-Prova*

DAER/RS: *Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem do Rio Grande do Sul*

DNER: *Departamento Nacional de Estradas de Rodagem*

F: *Força Aplicada*

h: *altura do corpo-de-prova*

LEC: *Laboratório de Engenharia da UNIJUÍ*

LPAV: *Laboratório de Pavimentação da UFRGS*

LVDT: *Linear Variable Differential Transducer*

Mr: *Módulo de Resiliência*

P' = *peso após a realização do ensaio*

P = peso inicial do corpo-de-prova

PM: *Perda de massa*

Rt: *Resistência à Tração por Compressão Diametral*

RRt: Resistência Retida à Tração

UFRGS: *Universidade Federal do Rio Grande do Sul*

UNIJUÍ: *Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul*

Δ : *Deformação elástica ou resiliente medida nos ciclos particulares de repetição de carga*

μ : *Coefficiente de Poisson.*

SÚMARIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. TEMA DA PESQUISA	13
1.2. DELIMITAÇÃO DO TEMA	13
1.3. FORMULAÇÃO DA QUESTÃO DE ESTUDO	13
1.4. OBJETIVOS.....	13
1.4.1. Objetivo geral.....	13
1.4.2. Objetivos específicos.....	13
1.5. JUSTIFICATIVAS	14
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1. ADESÃO E COESÃO	17
2.2. PROCESSOS DE PERDA DE ADESIVIDADE	19
2.3. ADESIVIDADE LIGANTE/AGREGADO.....	22
2.4. MELHORADORES DE ADESIVIDADE.....	23
2.5. MÉTODOS PARA VERIFICAR A ADESIVIDADE.....	28
3. METODOLOGIA.....	31
3.1. CLASSIFICAÇÃO DO ESTUDO.....	31
3.2. PLANEJAMENTO DO EXPERIMENTO.....	31
3.3. MATERIAIS UTILIZADOS	31
3.3.1. AGREGADOS MINERAIS	31
3.3.2. FÍLER	32
3.3.3. LIGANTES ASFÁLTICOS.....	33
3.4. PROCEDIMENTOS DE ENSAIOS E DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS	34
3.4.1. DOSAGEM MARSHALL	35
3.4.2. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL.....	35
3.4.3. ENSAIO DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA.....	37
3.4.4. ENSAIO DE ADESIVIDADE – METODOLOGIA LOTTMAN MODIFICADA.....	39
3.4.5. PERDA DE MASSA POR DESGASTE.....	41
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	43
4.1. DOSAGEM MARSHALL	43

4.2.	PROPRIEDADES MECÂNICAS.....	48
4.2.1.	ENSAIO DE RESISTÊNCIA A TRAÇÃO – DNER-ME 138/94	49
4.2.2.	ENSAIO DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA - DNER-ME 133/94.....	50
4.3.	RELAÇÕES MR/RT E RT/MR	51
4.4.	PROPRIEDADES DE ADESÃO E COESÃO	52
4.4.1.	ADESIVIDADE – METODOLOGIA LOTTMAN MODIFICADA.....	52
4.4.2.	COESÃO – METODOLOGIA CANTABRO	54
4.5.	ANÁLISE DE CUSTO	56
5.1.	CONCLUSÕES	58
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60
	ANEXOS.....	66

1. INTRODUÇÃO

1.1. Tema da Pesquisa

O tema da pesquisa é: Infra-estrutura de Transportes

1.2. Delimitação do Tema

Esta pesquisa limita-se a estudar revestimentos asfálticos do tipo concreto asfáltico (CA) levando em consideração a substituição de 1% de fíler basáltico por diferentes tipos de cal.

1.3. Formulação da questão de estudo

Qual o tipo de cal que leva a uma melhoria de desempenho mecânico e de adesividade em misturas de concreto asfáltico?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo geral

Avaliar os efeitos de diferentes tipos de cal em misturas de CA quanto a propriedades mecânicas e de adesividade.

1.4.2. Objetivos específicos

Verificar a influência do tipo de cal nos seguintes parâmetros:

- ✓ Dosagem Marshall;
- ✓ Resistência à tração;

- ✓ Módulo de resiliência;
- ✓ Adesividade;
- ✓ Resistência ao desgaste;

Após análise destes parâmetros, verificar se a substituição de 1% do filer basáltico por cal é interessante economicamente.

1.5. Justificativas

O desenvolvimento econômico, político e social de um país está diretamente ligado a seus Sistemas de Transporte. No Brasil, a matriz de transporte é predominantemente rodoviária, com esta modalidade correspondendo a cerca de 96,2% da matriz de transporte de passageiros e a 61,1% da matriz de transporte de cargas (CNT, 2006). A rede rodoviária é elemento fundamental nas cadeias produtivas, pois une mercados promovendo a integração de regiões e estados e a integração entre portos, ferrovias, hidrovias e aeroportos.

A malha rodoviária brasileira se constitui em um dos maiores patrimônios públicos do nosso país; todavia dado seu estado de degradação e a incapacidade dos gestores públicos em manterem esta malha em bom estado, ela não tem trazido aos usuários todos os benefícios esperados. A malha rodoviária é de 1.603.131 km, dos quais apenas 196.280 km são pavimentados (ANTT, 2008).

Conforme pesquisa rodoviária de 2009 da Confederação Nacional de Transporte – CNT, em que foram pesquisados 60784 km de rodovias, pôde-se constatar que 69,1% da extensão pesquisa apresentam algum grau de imperfeição (47,8% regulares, 14,3% ruins, 4,8% péssimos. (CNT, 2009).

A degradação de pavimentos está associada a varias patologias, dentre elas: deformações permanentes excessivas, fissuras de fadiga e de retração térmica e desagregação. As duas primeiras estão mais relacionadas com o tráfego atuante e a estrutura do pavimento,

enquanto as duas últimas com as características dos materiais utilizados e as condições climáticas atuantes (SPECHT, 2004).

Uma adequada infra-estrutura viária com revestimento asfáltico além de proporcionar benefícios diretos aos usuários com a melhoria dos níveis de conforto e segurança, e ainda a redução dos custos operacionais dos veículos, incrementa o progresso sócio-econômico do país, repercutindo positivamente na qualidade de vida, estruturação espacial das comunidades, disponibilidade de transporte coletivo, promovendo o escoamento da safra agrícola e incremento às riquezas nacionais (HIRSCH, 2007).

Devido a esta enorme importância, os pavimentos merecem uma atenção especial quanto aos estudos de desempenho, sempre analisando novas idéias a fim de prolongar sua vida útil. Uma das soluções que vem sendo aplicadas durante as ultimas décadas é a utilização de asfaltos modificados por polímero, segundo Specht (2004), a adição de materiais poliméricos traz vários benefícios aos ligantes asfálticos, como a redução da suscetibilidade térmica e o aumento da ductilidade, proporcionando estabilidade em altas temperaturas e reduzindo o risco de fratura em baixas temperaturas, além de contribuir para uma melhor resistência ao intemperismo e uma melhor adesão ligante/agregado, mas em contrapartida possuem custos muito elevados, dificuldades de transportes, armazenamento e incorporação na mistura.

Outra solução que vem sido estudada recentemente é a incorporação da cal em misturas asfálticas, pois além de melhorar a adesividade ligante-agregado e enrijecer a mistura (tornando-a mais resistente a deformações permanentes), retarda o trincamento, altera favoravelmente a cinética da oxidação e interage com produtos da oxidação, reduzindo assim seus efeitos deletérios.

Desta forma evidencia-se a importância de se estudar a adição de cales a misturas do tipo CA produzidas na região de Ijuí-RS.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O clima e as condições ambientais são fatores atuantes no estado dos materiais influenciando diretamente no dimensionamento do pavimento e por consequência no seu desempenho. A variação da temperatura tem influência na rigidez dos revestimentos asfálticos e na deformabilidade dos pavimentos (BENEVIDES, 2000).

Conforme descrito por Furlan (2006), a causa de defeitos como a desagregação e o descolamento (stripping) em revestimentos asfálticos, são normalmente atribuídos a problemas na ligação adesiva desenvolvida na interface agregado-asfalto que, juntamente com as ações do tráfego e da água, contribuem para progressão dos danos, propiciando o aparecimento de buracos e panelas. Ambos os defeitos resultam da perda de adesividade entre os materiais.

O fíler serve de material de enchimento dos vazios entre agregados graúdos, contribuindo para fechamento da mistura, modificando a trabalhabilidade, a resistência à água e a resistência ao envelhecimento. Em decorrência do pequeno tamanho de partícula e de suas características de superfície, o fíler age como material ativo, manifestado nas propriedades da interface fíler/cimento asfáltico. Sua adição aumenta a viscosidade do meio coesivo (resistência à deformação). O fíler tem dois caminhos de atuação nas misturas asfálticas densas (MOTTA e LEITE, 2000 apud MOURÃO, 2003):

- 1- As partículas maiores do fíler são parte do agregado mineral e preencherão os vazios e interstícios dos agregados graúdos, promovendo o contato pontual entre as partículas maiores e dando maior resistência às misturas.
- 2- As partículas menores do fíler se misturam com ligante asfáltico, aumentando sua consistência, cimentando as partículas maiores, no que alguns autores chamam de mástique.

Um revestimento asfáltico deve resistir aos esforços oriundos do tráfego e distribuí-los as camadas inferiores sem perder sua capacidade funcional. O controle do processo de

produção e execução das misturas utilizadas nos revestimentos asfálticos contribui para pavimentos mais duráveis e de maior benefício/custo.

2.1. Adesão e Coesão

A adesão é um fenômeno que advém do contato entre a superfície de dois matérias diferentes e da se pela afinidade desenvolvida neles, mantendo-os unidos. Em misturas asfálticas cabe ao cimento asfáltico aderir ao agregado, e manter a misturas coesa; isso acontece devido as propriedades do ligante como tensão superficial, poder de molhagem e viscosidade, e do agregado, como composição mineralógica, forma textura superficial e absorção (FURLAN, 2006).

Pinilla (1965, apud FURLAN, 2006) define a aderência entre um ligante asfáltico e o agregado pétreo como a resistência que opõe o ligante a ser afastado do sólido pela ação das forças exteriores. Segundo Martinho (1992, apud FURLAN, 2006)), a adesividade do CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo) ao agregado é a medida de intensidade enérgica da ligação da película de CAP ao longo da superfície do agregado.

Para Neves Filho (2006, apud FURLAN et al, 2004) os problemas decorrentes à falha de adesividade estão sempre relacionados à presença e ação da água. Pode-se afirmar que a água é, sem dúvida alguma, fator preponderante e decisivo a ser considerado quando se avalia o desempenho de um revestimento betuminoso no que se refere à adesividade

A sensibilidade das misturas à umidade associa-se a dois mecanismos que se inter-relacionam: a perda de adesão e a perda de coesão. A perda de adesão está ligada à entrada de água entre o ligante e o agregado e ao descolamento do filme asfáltico da superfície do agregado. A perda de coesão está ligada à redução de rigidez do cimento asfáltico e ao enfraquecimento das ligações ligante/agregado causando uma redução severa na resistência e integridade da mistura (FURLAN et al, 2004).

A susceptibilidade de misturas asfálticas à umidade é um problema complexo, que depende de fatores ambientais, práticas construtivas e características das misturas asfálticas. Os principais fatores que aceleram o aparecimento dos danos causados pela umidade são o

clima e o tráfego. Os maiores danos ocorrem em condições climáticas extremas, particularmente quando ocorre congelamento combinado com alto volume de tráfego. Os fatores construtivos que influenciam a sensibilidade da mistura à umidade incluem a qualidade da compactação e as condições do tempo durante o processo de construção do pavimento (FURLAN et al, 2004).

Inúmeros fatores influenciam a adesividade ou o dano induzido pela umidade. Hicks (1991, apud SPECHT et al, 2002) resumizou e classificou estes fatores que estão apresentados na Tabela 1. Um dos fatores importantes é o volume de vazios; misturas com volume de vazios entre 6 e 13% (aproximadamente) não são nem impermeáveis nem drenantes e são as mais susceptíveis ao dano por umidade induzida. Outro fator que deve ser mencionado é a eficiência do sistema de drenagem de um pavimento, capaz de evitar o acúmulo de água junto ao revestimento e a umidade ascendente por capilaridade.

Tabela 1 : Fatores intervenientes nas características de adesividade

<i>Fator</i>	<i>Característica Desejável</i>
1. Agregados a) textura superficial b) porosidade c) mineralogia d) cobertura do agregado por pó e) umidade superficial f) composição química superficial g) fíler mineral	áspero depende do tamanho do poro agregados básicos são mais resistentes limpo seco capaz de formar pontes de hidrogênio aumenta a viscosidade do ligante
2. Cimento Asfáltico a) viscosidade b) química c) espessura filme	alta nitrogênio e fenóis alta
3. Tipo de Mistura a) vazios b) granulometria c) teor de ligante	muito baixo ou muito alto muito aberta ou muito densa alto
4. Condições Climáticas a) temperatura b) precipitações durante construção c) precipitações após construção d) ciclos de gelo/degelo	quente nenhuma mínima mínimo
5. Tráfego a) volume de tráfego	baixo tráfego

Nas misturas asfálticas adesão “é o processo de formação de uma ligação entre o filme asfáltico e a superfície do agregado” e a coesão ativa como “recobrimento e formação de ligação química em presença de água”. Já a perda de adesão ou “stripping” é o “descolamento da película de asfalto sobre o agregado sob a ação da água”. (SUNDARAM, 2002 apud LIBERATORI, 2005).

Uma mistura asfáltica deve possuir flexibilidade suficiente para que o aparecimento de trincas devido às variações térmicas seja minimizado, e em contrapartida ter rigidez capaz de suportar as solicitações do tráfego, principalmente em elevadas temperaturas.

2.2. Processos de perda de adesividade

Em misturas asfálticas, a adesividade entre betume e agregado é efetivada devido a duas características: a capacidade do ligante de envolver o agregado e a habilidade deste, por sua vez, de promover a aderência do ligante à sua superfície. A primeira propriedade é conhecida como adesividade ativa e a segunda como adesividade passiva. A aderência entre o agregado mineral e o cimento asfáltico depende do estreito contato entre os dois materiais e da atração de suas superfícies (LYTTON, 2004 apud OLIVEIRA FILHO e SOARES, 2006).

Para Furlan (2006), a ruptura das misturas asfálticas está ligada a ruptura da película adesiva, e caracteriza-se pela formação de um plano de ruptura interfacial, completo ou parcial, na ligação entre asfalto e agregado; outro modo de ruptura é a coesiva, que se caracteriza pela ruptura do ligante. As condições de ocorrência da ruptura coesiva das misturas são somente explicadas em termos reológicos, enquanto que nas rupturas adesivas, a presença de água nas mistura asfáltica implica no desencadeamento e/ou arrancamento da película de ligante asfáltico da superfície do agregado, basicamente são cinco os modos de ruptura da ligação adesiva entre ligante e agregado:

1. Deslocamento: a água desloca a película do asfalto da superfície do agregado;
2. Desprendimento: a umidade do agregado antes da mistura separa-o do asfalto;
3. Emulsificação espontânea: a água é incorporada pelo asfalto e emulsifica-o;

4. Pressão nos poros: a água aprisionada nos vazios da mistura saturada, aliada as cargas do tráfego percola sob pressão, descolando a película de asfalto;
5. Lavagem hidráulica: em condições úmidas as repetições do tráfego pesado proporcionam ciclos de compressão, que expõem o ar dos vazios da mistura, e relaxação, que absorve água pela criação de um vácuo parcial;

O Asphalt Institute (1987, apud MOURA 2001) relata que existem seis formas da película de ligante asfáltico se separar da superfície do agregado:

1. Emulsificação: presença de glóbulos de água dispersos em ligante asfáltico. Isto pode ocorrer devido à utilização de alguns tipos de aditivos químicos, com o objetivo de inicialmente corrigir a má adesividade ligante/agregado, mas que, entretanto, depois de um certo período, propiciam a emulsificação do ligante asfáltico. A presença de argilas na superfície dos agregados pode também ser agenciadores de emulsificação.
2. Desprendimento: separação do ligante asfáltico da superfície do agregado, devido à presença de uma fina película de água existente na superfície do agregado, antes desse ser envolvido pelo filme de ligante asfáltico, sem necessariamente provocar a ruptura da camada de ligante asfáltico.
3. Descolamento: ocorre quando a película de ligante asfáltico é removida da superfície do agregado pela ação da água. A água alcança a superfície do agregado devido à existência de fissuras na camada de ligante asfáltico que recobre o agregado, gerando assim uma forma de *stripping*.
4. Ruptura da película de asfalto: a ruptura pode ser considerada uma forma de *stripping* mas, na realidade, ela inicia o *stripping*. A ruptura da camada de ligante asfáltico pode ocorrer por tensões geradas pelo tráfego, principalmente nas arestas dos agregados onde a espessura do filme de ligante asfáltico é pouco espessa.

5. Pressão nos poros: provoca também o *stripping*. Essa ocorrência é devido ao aprisionamento de água dentro dos poros, que se deu por problemas de projeto da mistura ou por redução de volume de vazios pela ação do tráfego; a água pode ficar oclusa nesses vazios da camada, com dificuldade de percolação rápida, e frente à ação do tráfego, pode sofrer um aumento da pressão intersticial, descolando a película de ligante asfáltico da superfície do agregado.
6. Lavagem hidráulica: este tipo de *stripping* ocorre mais na superfície da camada de rolamento, devido à ação dos pneus, quando a mesma encontra-se saturada; a água ao ser removida da superfície é pressionada e expulsa. Isto ocasiona um tipo de abrasão na superfície, criando uma falha na superfície, descobrindo parte do agregado. Deve-se citar também o efeito abrasivo da poeira depositada na superfície dos pavimentos quando misturada à água de chuva.

Conforme Oliveira Filho e Soares (2006), a perda de adesão entre agregado e ligante está comumente relacionada a três fatores:

1. A incompatibilidade entre a constituição mineralógica do agregado e a constituição físico-química do material betuminoso:
2. A ocorrência de umidade:
3. A presença de sujeira e finos na superfície do agregado:

Essa perda de adesão do ligante asfáltico com a superfície do agregado (fratura adesiva) bem como a fratura do próprio filme de ligante (fratura coesiva), quer seja na presença de água ou não, é a origem de muitos tipos de defeitos em pavimentos, incluindo trincamento por fadiga, deformação permanente e dano por umidade (LYTTON, 2004 apud OLIVEIRA FILHO e SOARES, 2006).

A habilidade de se prever a ocorrência de fratura adesiva e de regeneração na mistura depende de uma teoria confiável e de ensaios capazes de medir propriedades relevantes de agregados e de ligantes, tanto no que se refere a propriedades químicas quanto físicas. Esses

dois tipos de propriedades são abordados nos princípios fundamentais de fratura e regeneração de materiais viscoelásticos. Percebe-se, assim, que o fenômeno em questão está relacionado com os mais consideráveis tipos de defeitos em pavimentos. Além disso, desde há algumas décadas, os fenômenos relacionados à perda de adesão e coesão em misturas ainda não são claramente compreendidos (LYTTON, 2004 apud OLIVEIRA FILHO e SOARES, 2006).

2.3. Adesividade Ligante/Agregado

Como a adesão do filme asfáltico se desenvolve na superfície do agregado, é de suma importância que haja boa compatibilidade química entre o par. O descolamento do filme asfáltico é fundamentalmente promovido pelo efeito da água, tanto na forma de vapor quanto líquida e está ligado a questões de materiais, climáticas, tráfego, projeto e construção da via, entre outros. Se existe uma má compatibilidade entre o ligante e o agregado, o fenômeno do descolamento do filme pode levar o pavimento à ruína em curto espaço de tempo (LIBERATORI et al, 2005).

Ainda segundo o autor, o fenômeno da adesão de um filme de asfalto sobre a superfície de um agregado mineral envolve o desenvolvimento de interações eletrostáticas que dependerá fundamentalmente da natureza química do par. Sabe-se que a maioria dos compostos presentes no asfalto é de natureza apolar (hidrocarbonetos) enquanto a superfície dos agregados é polar, podendo possuir carga positiva ou negativa, dependendo da natureza química. A resistência do filme a ação deslocadora da água será maior quanto mais compatível forem os materiais. Diversos testes foram desenvolvidos a fim de determinar esta tendência.

Ainda sobre o fenômeno de adesividade o autor descreve que, a maior parte dos componentes presentes no asfalto possui natureza apolar. E mesmo dentre os polares, apenas alguns compostos são ativos em relação à superfície do agregado. A maioria dos compostos polares presentes no asfalto são ácidos carboxílicos e anidridos e a sua ocorrência está relacionada à acidez naftênica ou “valor ácido”, que é expressa em termos de KOH/g de asfalto titulado. Os valores típicos estão entre 0 a 4 mg KOH/g. E os agregados, podem ser classificados a grosso em função do teor de sílica (ou carbonato de cálcio) presente em sua estrutura. Quanto maior o teor de sílica presente, mais ácido é o agregado. Os agregados de

natureza ácida necessitam de compostos com características básicas como promotores de adesão e vice-versa.

Normalmente os agregados ácidos silicosos possuem má adesividade ou interação química fraca com a maioria dos asfaltos. No caso dos agregados alcalinos, como o calcáreo a adesividade dependerá fundamentalmente da acidez naftênica do asfalto. Muitas vezes os finos (ou fração areia) é a mais sensível em termos de má adesão nos agregados silicosos enquanto o calcáreo possui má resistência à abrasão, que leva ao polimento e perda de macrot textura do revestimento asfáltico (LIBERATORI et al, 2005).

Geralmente quando não existe uma boa afinidade química entre os agregados e o ligante, são adicionados aditivos melhoradores de adesividade.

2.4. Melhoradores de Adesividade

A solução para os problemas de adesividade tem sido freqüentemente dada por agentes melhoradores de adesividade que são usados para prevenir e corrigir problemas de adesividade dos CAP's aos materiais pétreos.

Os Dope's são agentes de atividade de superfície que são adicionados em pequena quantidade aos asfaltos. O grupo químico de alta polaridade do final da molécula do dope se liga à superfície do agregado e a parte não-polar do hidrocarboneto chamada surfactante se liga ao asfalto, deste modo os dopes agem como uma ponte de ligação entre o agregado e asfalto. Cal hidratada e cimento portland são adicionados aos agregados momentos antes da usinagem e se acredita que podem converter a superfície ácida do agregado em alcalina, e por este efeito formar pontes com os componentes ácidos que estão normalmente presentes nos asfaltos (BETUNNEWS, 2007).

Outra solução encontrada é a utilização de ligantes modificados, contudo, o uso de ligantes especiais implica maiores custos iniciais, apresentando ainda dificuldades de transporte, armazenamento e incorporação à mistura (SPECHT, 2004).

Estudos recentemente publicados nos Estados Unidos (LITTLE et al., 2006; apud NÚÑEZ et al, 2007) dão conta que a incorporação de cal em misturas asfálticas, além de melhorar a adesividade agregado-ligante e enrijecer o ligante asfáltico e a própria mistura (o que a torna mais resistente às deformações permanentes), retarda o trincamento (seja este ocasionado por fadiga ou por baixas temperaturas), altera favoravelmente a cinética da oxidação e interage com produtos da oxidação, reduzindo seus efeitos deletérios.

O uso da cal hidratada como filer possui um efeito mais significativo, em comparação com o cimento ou com o pó de pedra. Isso porque a cal hidratada tem em geral 80% de partículas de tamanho menor ou igual a 20 μ m; por outro lado o cimento tem uma distribuição muito mais contínua, com diâmetro médio de aproximadamente 60 μ m, o pó de pedra por sua vez possui graduação mais grossa com grande proporção de partículas maiores que 40 μ m (MOURÃO, 2003).

Conforme Petersen (2005, apud BERGER, 2005) A cal contribui tanto para as propriedades mecânicas quanto á propriedades reológicas de misturas CA, melhorando a resistência à umidade e a resistência à fratura, juntamente com uma redução da taxa de envelhecimento oxidativo dos betumes. Quando a cal hidratada é adicionada em misturas asfálticas, ela reage com os agregados e promove um reforço da ligação entre o ligante e os agregados. Ao mesmo tempo que a cal reage com os agregados ela reage também com o ligante, inibindo a entrada de água em suas moléculas. A cal torna as misturas asfálticas mais rígidas, reduzindo a probabilidade de a ligação entre os agregados e o ligante ser quebrada seja pela ação do tráfego ou pela entrada de água.

A cal hidratada é um agente que melhora o desempenho de misturas asfálticas de várias maneiras. Hicks e Scholz (2001, apud NÚÑEZ et al, 2007) afirmam que as modificações produzidas pela adição de cal hidratada podem acrescentar anos à vida das misturas asfálticas. Essas modificações podem melhorar a adesividade ligante-agregado, reduzir a formação de afundamentos de trilhas de roda, bem como reduzir o trincamento e o envelhecimento (oxidação) da camada asfáltica.

O uso de cal hidratada vem sendo largamente usado em locais onde os agregados apresentam problemas de adesividade. A perda de adesividade ocorre quando a ligação entre

cimento asfáltico e agregado se quebra, devido à presença de umidade, e o ligante se separa do agregado. Alguns agregados, como os de granito, são particularmente susceptíveis à perda de adesividade. Além do fenômeno químico, as características ambientais (calor e chuvas intensas) e o tráfego têm papel importante na perda de adesividade (LITTLE et al. 2006 apud NÚÑEZ et al, 2007).

A umidade afeta o pavimento em basicamente dois aspectos. Primeiro a umidade pode entrar entre a interface do ligante e do agregado e destruir a ligação entre estes componentes do pavimento. Em segundo lugar a umidade pode penetrar nas moléculas do ligante e com isso amolecê-lo e reduzir a sua capacidade de ligação e em conseqüência diminuir a vida útil do pavimento (CHENG et al., 2003 apud BERGER, 2005).

Ao ser acrescentada a uma mistura asfáltica, a cal hidratada reage com os agregados, reforçando a ligação entre o ligante e o material pétreo. Ao mesmo tempo em que age sobre o agregado, a cal também reage com as partículas polarizadas do ligante asfáltico, evitando que estas formem sabões solúveis em água, o que causaria a perda de adesividade. Segundo Petersen et al. 1987 (apud NÚÑEZ et al, 2007) as moléculas polarizadas, ao reagirem com a cal, formam sais insolúveis que se tornam hidrófobas. Além disso, a dispersão de pequenas partículas de cal hidratada na mistura torna-a mais rígida e dura, reduzindo a possibilidade de ruptura mecânica da ligação entre o CAP e o agregado, mesmo na ausência de água.

O enrijecimento resultante da adição de cal hidratada melhora o desempenho dos ligantes a temperaturas elevadas, sem tornar a mistura asfáltica mais frágil a temperaturas muito baixas. Ao contrário da maioria dos filers minerais, a cal é quimicamente ativa e não inerte. Ela reage com o betume, removendo componentes indesejáveis, ao mesmo tempo em que suas pequenas partículas estejam dispersas por todo o conjunto, fazendo o pavimento mais resistente à fadiga e fissuras. Em baixas temperaturas o pavimento torna-se mais rígido e a cal torna-se menos ativa, e comporta-se quimicamente como qualquer outro filer inerte, nesse estado, contribui para uma maior capacidade do mastique relaxar (LESUEUR e LITTLE, 1999 apud BERGER, 2005).

A cal hidratada reduz o trincamento de misturas asfálticas resultantes, não apenas do envelhecimento, mas também o decorrente da fadiga e das baixas temperaturas. Embora, via

de regra, as misturas asfálticas mais rígidas apresentem maior trincamento, a adição de cal melhora as características de fadiga das misturas e reduz o trincamento das mesmas (LITTLE e EPPS, 2001).

O trincamento freqüentemente ocorre devido à formação de micro-fissuras. Essas micro-fissuras são interceptadas e têm sua direção desviada pelas pequenas partículas de cal hidratada. A cal reduz o trincamento mais do que os fíleres inativos porque as reações entre a cal e as moléculas polarizadas do cimento asfáltico aumentam o volume efetivo das partículas de cal, rodeando-as com grandes cadeias orgânicas (LESUEUR e LITTLE, 1999 apud, NÚÑEZ et al, 2007). Desta maneira, as partículas de cal conseguem, mais eficientemente, interceptar e desviar as micro-fissuras, evitando que as mesmas se agrupem em grandes trincas, que causem a ruptura do pavimento.

Outro benefício que resulta da adição da cal hidratada as misturas asfálticas é a redução da taxa de oxidação e envelhecimento. Este é um resultado das reações químicas que ocorrem entre o hidróxido de cálcio e as moléculas altamente polares no betume. Se estas moléculas não sofrerem mudanças, muitas destas moléculas polares vão reagir com o meio ambiente, contribuindo para tornar o pavimento frágil com o tempo. A cal hidratada combina com as moléculas polares, no momento em que é adicionada ao asfalto e, assim, elas não reagem com o meio ambiente. Conseqüentemente, o cimento asfáltico permanece flexível e protegido contra a fissuração por mais tempo, resultando em um aumento de sua vida útil (PETERSON et al, apud LIME, 2005).

Nos Estados Unidos, à medida que aumenta o número de Departamentos de Transporte que especificam o emprego da cal hidratada, pesquisas sobre benefícios advindos da sua incorporação em misturas asfálticas e sobre procedimentos de campo continuam incentivando futuras aplicações. Little et al. (2006 apud NÚÑEZ et al, 2007) relatam ainda que estudos sobre os efeitos benéficos da cal no desempenho de misturas asfálticas também foram relatados na França, na Alemanha, na Bélgica, na República Tcheca e na Holanda.

O grande conjunto de benefícios resultantes da adição de cal hidratada a misturas asfálticas tem como resultado a geração de um produto superior e de elevado desempenho.

Embora os benefícios tenham sido descritos separadamente, todos trabalham complementando-se, contribuindo de várias maneiras na melhoria do produto final.

Durante mais de trinta anos tem sido bem estabelecido que a cal hidratada reage com o ácido componente no betume para produzir mudanças benéficas que contribuem para a criação de misturas de alto desempenho asfalto (BERGER, 2005).

Normalmente, a quantidade de cal hidratada acrescentada é de 1 a 2 por cento em peso da mistura, ou de 10 a 20 por cento em peso do líquido ligante asfalto. Conforme (HICKS e SCHOLZ apud LIME) a cal hidratada aumenta em 38% a vida útil de um pavimento.

A cal hidratada melhora substancialmente cada uma dessas propriedades tanto se usada sozinha, quanto em conjunto com modificadores poliméricos, contribuindo na formação de pavimentos que apresentarão elevado desempenho por muitos anos. Assim, análises de custo de ciclo de vida, como a realizada por Hicks e Scholz (2001, apud NÚÑEZ et al, 2007) e mais recentemente por Calcidrata (2009) demonstram que a cal também é economicamente interessante, proporcionando uma vida mais longa ao pavimento e redução nas despesas com manutenção.

As melhorias nessas propriedades mecânicas dependem significativamente da qualidade da cal. Cales com baixos teores de Ca(OH)_2 não produzirão tais efeitos benéficos. Um teor de Ca(OH)_2 da ordem de 90% parece suficiente para otimizar a mistura asfáltica em termos de módulo de resiliência, resistência à tração e adesividade (NÚÑEZ et al, 2007).

Conforme apresentado por Bock et al (2009), além da qualidade da cal e dos agregados que compõe a mistura, a forma de incorporação da cal exerce grande influência no comportamento das mesmas as formas de incorporação que tratam com cal o agregado graúdo são as mais eficientes. A prática atual de adição de cal como melhorador de adesividade na forma de filer, prática corrente no Brasil, não é forma mais satisfatória de adição.

De acordo com a NBR 7175 a cal hidratada pode ser classificada em três tipos: CH I, CH II e CH III e quanto à concentração de Cálcio e Magnésio. Todos os tipos têm que ser

submetidos aos mesmos ensaios, mas as exigências de resultados melhores para a cal CH I são maiores do que para a CH II, que exigem mais do que para a CH III. Isto significa que se o consumidor quiser uma cal mais "pura" ele deve adquirir uma CH I, já que para ser definida desta maneira, seus resultados obedecem a limites acima dos exigidos para a CH III. O tipo CH II seria o meio termo. A tabela 2 apresenta as características quanto à concentração de Cálcio e Magnésio e as Tabelas 3 e 4 apresentam respectivamente os requisitos químicos e físicos preconizados pela NBR 7175 de 2002.

Tabela 2 - Concentração de Cálcio e Magnésio dos cales

TIPO	Cálcio e Magnésio
Cálcica ou Calcítica	% CaO > 90 %
Magnesiana	65% < %CaO < 90%
Dolomítica	% CaO < 65%

Tabela 3 - Características Químicas das cales

Parâmetros de Qualidade		CH-I	CH-II	CH_III
Anidrido Carbônico (CO ₂)	Fábrica	< 5,0%	< 5,0%	<13,0%
	Depósito ou obra	< 7,0%	< 7,0%	<15,0%
Óxidos Totais na base não volátil (CaO t1 +MgO t)		> 90,0%	> 88,0%	> 88,0%
Óxidos Totais não Hidratados		< 10,0%	< 15,0%	< 15,0%

Tabela 4 - Características Físicas das cales

Parâmetros de Qualidade		CH-I	CH-II	CH_III
Finura (% retido acumulada)	Peneira 0,60 mm (#30)	< 0,5%	< 0,5%	< 15,0%
	Peneira 0,075 mm (#200)	< 10,0%	< 15,0%	< 15,0%
Retenção de Água		> 75,0%	> 70,0%	> 70,0%
Incorporação de Areia		> 3,0%	> 2,2%	> 2,2%
Estabilidade		Ausência de cavidades ou protuberâncias		
Plasticidade		> 110,0%	> 110,0%	> 110,0%

2.5. Métodos para Verificar a Adesividade

A verificação da adesividade ligante/agregado é fundamental para prever o comportamento da mistura quanto a resistência à desagregação e ao descolamento das misturas asfálticas.

Misturas asfálticas que possuem má adesividade do ligante ao agregado, quando aplicadas em pista, podem resultar numa camada susceptível à desagregação e ao descolamento. Com a desagregação da mistura asfáltica pode ocorrer a penetração de água e atingir, camadas inferiores do pavimento, danificando a estrutura do pavimento. Dependendo do caso, pode-se formar inclusive afundamento em trilhas de roda.

O valor de serventia da via é diretamente afetado caso ocorra a desagregação da camada de rolamento, diminuindo o conforto ao rolamento e, em proporções maiores, com a abertura de buracos, a segurança e o conforto do usuário ficam comprometidas. Nestas condições, as intervenções, em geral, são mais onerosas exigindo uma manutenção que pode até levar a remoção da camada de revestimento (MOURA, 2001).

Dentre as várias metodologias aplicáveis à verificação das características de adesividade de misturas asfálticas estão os métodos empíricos que se baseiam na análise visual onde o contato entre o ligante asfáltico e o agregado é avaliado visualmente e procura-se correlacionar os resultados com o possível desempenho da mistura em campo. Exemplos são os métodos DNER – ME 78/94, que define a adesividade como sendo a propriedade que tem o agregado de ser aderido por material asfáltico. A adesividade é verificada pelo não deslocamento da película de asfalto que recobre o agregado, quando a mistura agregado/ligante é submetida durante 72 horas em água destilada a 40°C e o método DNER – ME 79/94, este método utiliza agregados miúdos e mede a capacidade do agregado de ser aderido por material betuminoso. É avaliada pelo não deslocamento da película betuminosa que recobre o agregado, quando a mistura agregado/ligante é submetida à ação de água destilada e a soluções molares de carbonato de sódio ferventes.

O segundo grupo de ensaios é baseado no comportamento mecânico das misturas onde amostras de concreto asfáltico são submetidas a um condicionamento e/ou esforço mecânico para provocar de forma acelerada ou simular o que ocorre em campo. Os resultados destes métodos normalmente são obtidos pela razão de módulo de resiliência, resistência a tração, desgaste por impacto, deformação permanente em corpos de prova com ou sem condicionamentos. Neste grupo estão, dentre outras, as Metodologias Lottman Modificada (AASHTO T 283-89) e o método Cântabro (CEC 325/86).

Moura (2001) traz uma revisão a respeito destas metodologias e uma pesquisa onde são avaliados os efeitos de aditivos químicos e da cal na adesividade de misturas asfálticas densas.

Kandhal (1992, apud SPECHT et al, 2002) apresenta um estudo sobre a susceptibilidade de misturas asfálticas ao dano induzido pela umidade. O autor afirma que a Metodologia Lottman Modificada (AASHTO T 283-89) tem sido recomendada em vários estados americanos para avaliar o potencial de desagregação de misturas asfálticas. São feitas recomendações sobre a utilização de aditivos e da cal como melhoradores da adesividade das misturas.

3. METODOLOGIA

3.1. Classificação do Estudo

Este estudo é de ordem quantitativa, uma vez que foram moldadas amostras de concreto asfáltico para realização de ensaios em laboratório para verificar propriedades de adesividade e de resistência mecânica, para posterior análise dos resultados.

3.2. Planejamento do Experimento

O planejamento do experimento contemplou a determinação de parâmetros de dosagem Marshall de misturas de concreto asfáltico tendo como variável a substituição de 1% de fíler basáltico por diferentes tipos de cal. A utilização da cal nesse estudo tem dupla função: como fíler e como agente melhorador de adesividade ligante/agregado.

Neste estudo serão usados três tipos de cales, duas cales dolomíticas (cal CHI e cal CHII) produzidas no estado do Rio Grande do Sul e Paraná respectivamente, e outra cal calcítica (cal CHI) provinda do estado de Minas Gerais. Após a determinação dos parâmetros de dosagem Marshall, com o teor de ligante de projeto, serão moldadas amostras para cada tipo de mistura para a verificação do comportamento mecânico (ensaio de resistência à tração por compressão diametral e ensaio de módulo de resiliência) e para a verificação das propriedades de adesividade (Metodologia Lottman Modificada) e Desgaste (Ensaio Cantabro).

3.3. Materiais Utilizados

3.3.1. Agregados Minerais

As propriedades dos agregados utilizados nas misturas asfálticas preparadas a quente são muito importantes para o desempenho adequado do pavimento, onde defeitos como degradação e deformação permanente podem estar diretamente relacionados à escolha inadequada dos mesmos.

O agregado mineral utilizado nesta pesquisa é uma rocha basáltica da formação Serra Geral, semelhante à encontrada em outros pontos do estado e considerada a mais representativa desta região do país, os agregados basálticos são provenientes da pedreira Tabille com sede no município de Ijuí-RS, e jazida localizada no município de Coronel Barros-RS. Foi utilizada também areia de várzea proveniente da região de Santa Maria-RS, esta escolha ocorreu pelo fato destes agregados serem representativos da realidade regional, ou seja, são de uso corrente em obras de pavimentação na região de Ijuí e de grande parte do estado do Rio Grande do Sul.

Os agregados coletados foram submetidos a ensaios laboratoriais no LEC (Laboratório de Engenharia Civil) da UNIJUÍ (Universidade Regional do Estado do Rio Grande do Sul) e no LAPAV (Laboratório de Pavimentação) da UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul) para comprovar sua qualidade, os resultados estão apresentados na Tabela 5

Tabela 5 - Características dos agregados utilizados

Propriedade	Método	Agregado Graúdo (>2mm)	Agregado Miúdo (<2mm)
Absorção ¹	DAER/RS – EL 105/01	1,228%	---
Massa Específica Real do Grão ¹	DAER/RS – EL 105/01	3,033kN/m ³	2,973 kN/m ³
Massa Específica Aparente do Grão ¹	DAER/RS – EL 105/01	2,924 kN/m ³	---
Índice de Lamelaridade ¹	DAER/RS – EL 108/01	21,8	---
Desgaste ou Perda à Abrasão ²	DAER/RS – EL 215/01	28%	---

Notas: ¹ Ensaio realizado no LEC –UNIJUI; ² Ensaio realizado no LAPAV –UFRGS

3.3.2. Fíler

O uso de fíleres é importante para diminuir a desuniformidade na consistência e na suscetibilidade térmica provenientes de eventuais irregularidades na produção (ou fornecimento) de cimentos asfálticos e na confecção da massa asfáltica (SANTANA, 1995).

Neste estudo os fíleres usados serão o pó de pedra e cal hidratada. O pó de pedra é resultante da britagem da rocha basáltica usada neste estudo, as cales utilizadas no estudo são

duas cales dolomíticas, uma produzida no estado do Paraná e outra produzida no estado do Rio Grande do Sul e uma cal calcítica produzida no estado de Minas Gerais. A escolha pelas cales dolomíticas se deu ao fato destas serem de uso corrente em obras de Engenharia e a escolha da cal calcítica fundamentou-se no fato de que as cales dolomíticas possuem baixos teores de Ca(OH)_2 . A bibliografia internacional, especialmente a estadunidense, indica sempre o emprego de cales com elevados teores de hidróxido de cálcio para a obtenção de melhores resultados referentes à melhoria de adesividade das misturas asfálticas.

3.3.3. Ligantes Asfálticos

O cimento asfáltico ou ligante asfáltico pode ser considerado um material viscoelastoplástico e termosensível, ou seja, possuem uma parcela viscosa, elástica e plástica; é sensível a mudança de temperatura, em altas temperaturas (acima de 100 °C) se torna plástico, quando recebe um carregamento, o material deforma e não volta ao estado original, o cimento asfáltico atua como um fluido viscoso e em baixas temperaturas (abaixo de 0 °C), o cimento se torna elástico, atuando como uma borracha: quando recebe um carregamento, o material se deforma, quando o carregamento é retirado, o material volta ao estado original (ROZEK, 2007).

O ligante asfáltico utilizado neste estudo foi o CAP 50/70, produzido na Refinaria Alberto Pasqualini, em Canoas (RS). Esse é o tipo de ligante asfáltico convencionalmente empregado em obras de pavimentação no Rio Grande do Sul, os resultados dos ensaios estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Propriedades do ligante convencional (CAP 50/70)

<i>Propriedade</i>	<i>Método</i>	<i>CAP 50/70</i>	
		<i>Esp.</i>	<i>Resultado</i>
Ponto de amolecimento (°C)	NBR 6560	46 min.	48,6
Penetração (0,1 mm)	NBR 6576	50 - 70	51
Visc. Brookfield 135 °C	MB 517	274 min.	317
Visc. Brookfield 150 °C	MB 517	112 min.	164
Visc. Brookfield 177 °C	MB 517	57 a 285	69
Ductibilidade 25°C	NBR 6293	60 min.	>150
Massa Específica (g/cm ³) ²	DNER - M 16/64	---	1,009
Ponto de Fulgor (°C)	NBR 11341	235 min.	>296

3.4. Procedimentos de ensaios e descrição dos equipamentos

O projeto de um concreto asfáltico para pavimentação constitui um estudo de seleção e dosagem dos materiais constituintes, com a finalidade de enquadrá-los economicamente nas especificações estabelecidas (SENÇO, 2001).

A composição granulométrica da mistura foi feita de forma a enquadrar o material no centro da faixa “B” do DAER/RS ou na faixa “IV B” do Instituto do Asfalto (Figura 1), com tamanho máximo de granulares de 19mm. O concreto asfáltico foi projetado seguindo as recomendações do Asphalt Institute (1995) e de acordo com ASTM D6926-04 e ASTM D 6927-05.

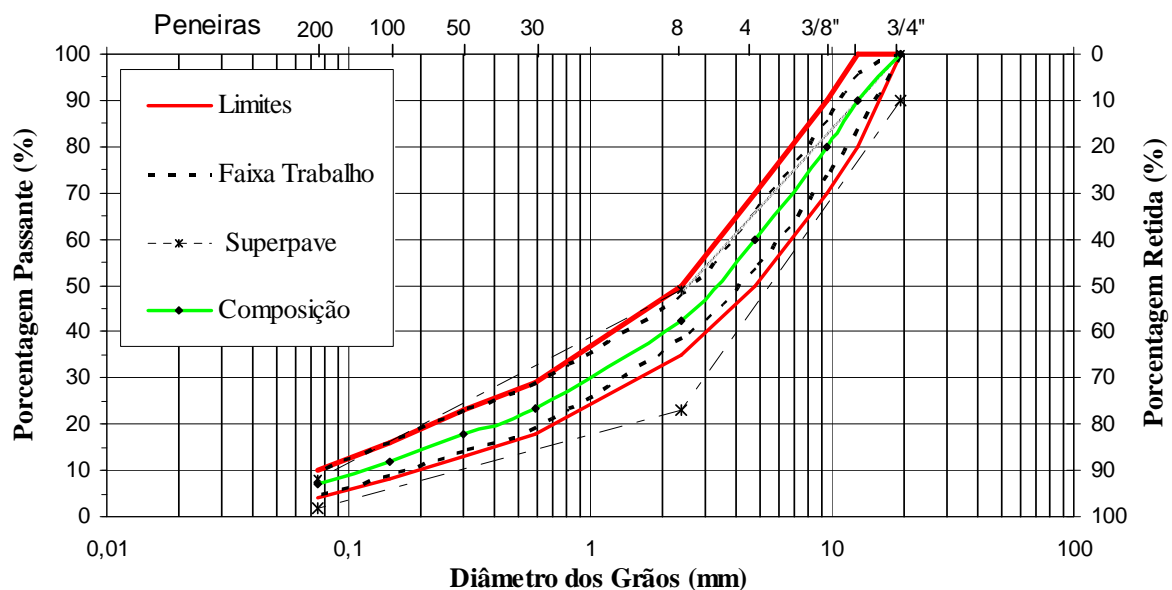


Figura 1 : Composição granulométrica da mistura

3.4.1. Dosagem Marshall

O método de dosagem Marshall de misturas asfálticas, preconizado no Brasil pelo DNER-ME 043/95, ainda é o método de dosagem mais usado no Brasil. Foi concebido no decorrer da segunda guerra mundial como um procedimento para definir a proporção de agregados e de ligante capaz de resistir às cargas de roda e pressão de pneus de aeronaves militares (BERNUCCI et al, 2008).

Após a coleta e comprovação da qualidade dos agregados, estes foram separados em peneiras (retida na: # 1/2, # 3/8, # 4, # 8, # 30, # 50, # 100 e # 200), em seguida estes foram lavados e pesados para posterior moldagem das amostras de acordo com a Metodologia Marshall, em síntese, a sistemática de procedimentos do método consiste no seguinte: molda-se por compactação a quente, uma série de corpos-deprova com a mistura de agregados e ligante asfáltico, dentro de moldes cilíndricos metálicos que depois de armazenados, ao ar livre, durante 24 horas são desmoldados, medidos e pesados. O passo seguinte consiste em calcular os parâmetros de dosagem.

A adição de cal nas misturas asfálticas foi anterior a adição do ligante asfáltico, a cal seca foi adicionada ao agregado graúdo seco na fração de 1% do peso total da mistura mineral, em seguida a cal foi revolvida de maneira a recobrir todo o agregado, após esta etapa o material fino foi adicionado, para em seguida aquecer toda a mistura até a temperatura de usinagem e então acrescentar o ligante. Depois de acrescentado o ligante as misturas eram levadas até a estufa por um período de duas horas em temperatura de 8°C a 11°C acima da temperatura de compactação de forma a simular o processo de transporte da massa conforme preconiza a norma ASTM D6926-04 .

3.4.2. Ensaio de resistência à tração por compressão diametral

O ensaio de compressão diametral ou tração indireta foi desenvolvido pelo professor Fernando Luiz Lobo Carneiro para determinação da resistência à tração de corpos-de-prova cilíndricos de concreto de cimento portland, através de solicitação estática. É conhecido em vários centros de pesquisa no exterior como “ensaio brasileiro” (MEDINA e MOTTA, 2005).

O ensaio para a determinação da resistência à tração por compressão diametral nas amostras com diâmetro 10,20 cm e altura variável, moldadas através do método Marshall, seguira as prescrições da norma DNER-ME 138/94 e consiste na aplicação de uma carga estática de compressão distribuída ao longo de duas geratrizes opostas, a fim de se obter as tensões de tração através do diâmetro horizontal, perpendicularmente à carga. A medida resultante é a resistência à tração (R_t) Figura 2.

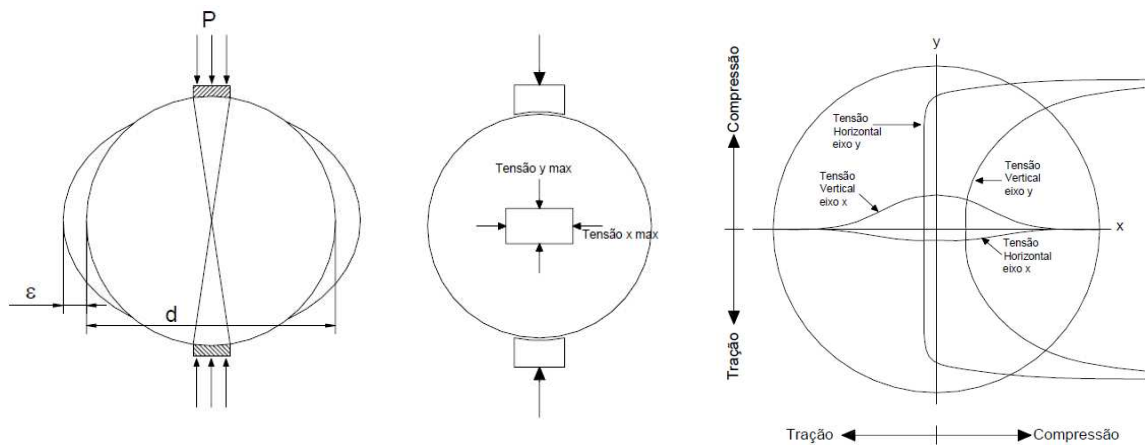


Figura 2 : Estado de tensões gerado no ensaio brasileiro
Fonte: Specht (2004)

A velocidade de avanço do carregamento é de 0,8mm/s e a equação utilizada para o cálculo de R_t é a seguinte:

$$q_{III} = \frac{2F}{\pi \cdot d \cdot h} \quad (1)$$

onde:

F= força aplicada;

d = diâmetro do corpo-de-prova;

h = altura do corpo-de-prova;

Nesta pesquisa todos os ensaios forma realizados a 25°C.

3.4.3. Ensaio de Módulo de Resiliência

O módulo de resiliência é determinado através das prescrições do DNER-ME 133/94. O equipamento utilizado, conforme Figura 3 é composto por uma estrutura metálica, um pistão que proporciona um carregamento repetido pulsante com auxílio de um dispositivo pneumático, acoplado a um regulador de tempo e frequência de 1Hz. O equipamento funciona dentro de uma câmara com temperatura controlada; isso permite ensaios em diversas temperaturas (Specht, 2004).

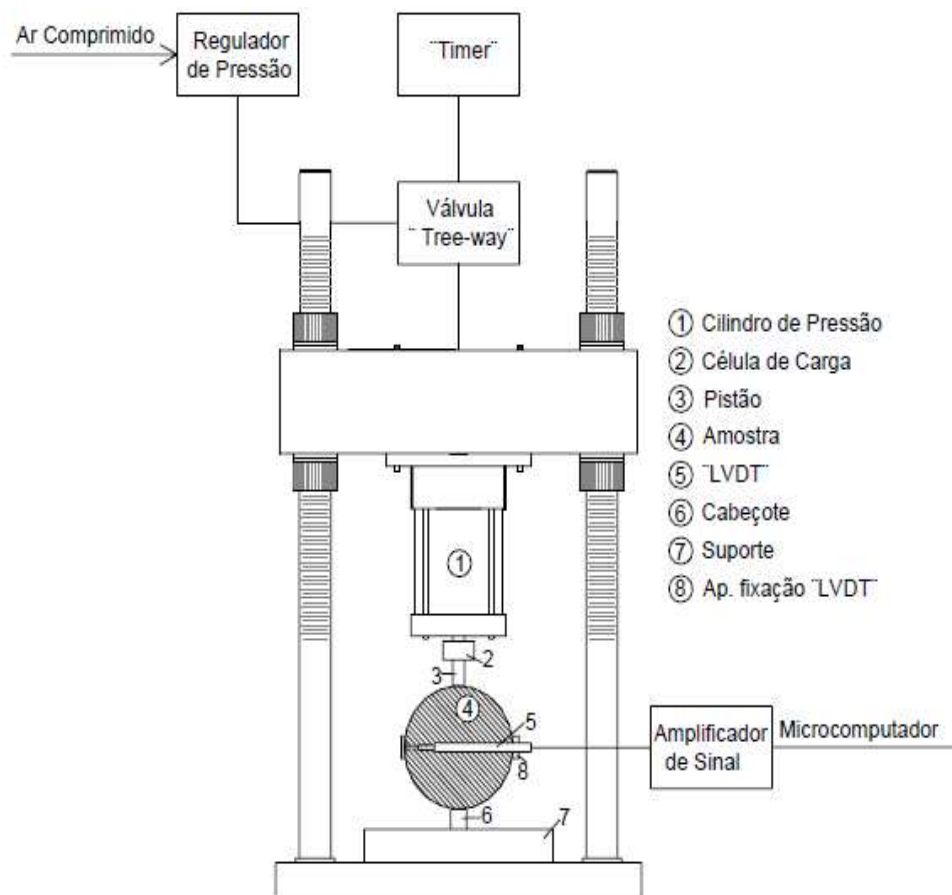


Figura 3 : Corte esquemático do equipamento de módulo de resiliência

Fonte: Specht (2004)

O módulo de resiliência (M_r) é medido a partir da aplicação do carregamento dinâmico com tempo de 0,1s e 0,9s de repouso, a amostra sofre deformações horizontais, que são medidas através de um LVDT (*Linear Variable Differential Transducer*), ligado a um microcomputador. O ensaio é realizado em duas direções: após a execução do ensaio a

amostra é rotacionada em 90° e o ensaio é novamente conduzido. Nesta pesquisa todos os ensaios forma realizados a 25°C.

Na Figura 4 estão apresentados o pulso de carga e o pulso de deformação *versus* tempo, típicos dos ensaios realizados.

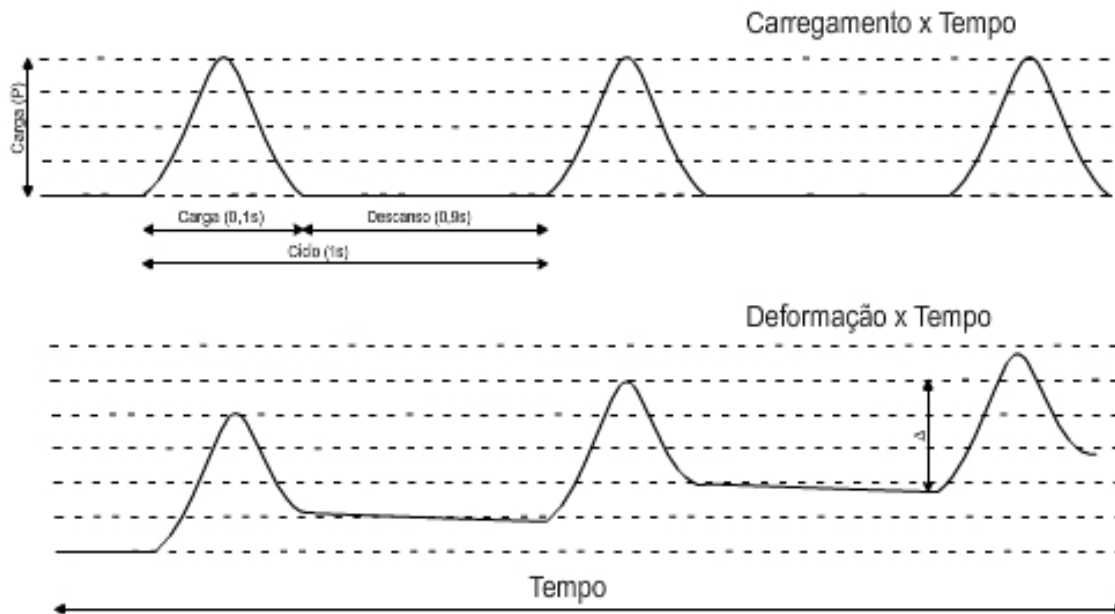


Figura 4 : Registro gráfico típico do ensaio de módulo de resiliência
Fonte: Specht (2004)

A Equação utilizada para determinar o módulo de resiliência é a:

$$Mr = \frac{P}{\Delta \cdot h} \cdot (0,2692 + 0,9976 \cdot \mu) \quad (2)$$

onde:

Mr = módulo de resiliência;

P = carga aplicada;

Δ = deformação elástica ou resiliente medida nos ciclos particulares de repetição de carga;

h = altura do corpo-de-prova;

μ = coeficiente de Poisson (0,30);

3.4.4. Ensaio de adesividade – Metodologia Lottman Modificada

A prática brasileira de avaliação da adesividade agregado-ligante tem se limitado aos ensaios visuais de verificação da ocorrência de desprendimento da película de ligante em agregados graúdos (após imersão em banho de água destilada a 40°C por 72 h) e agregados miúdos (quando a mistura é submetida à ação de água destilada fervente e a soluções de carbonato de sódio ferventes). Estes métodos não apresentam correlação com o que acontece no campo, podendo apresentar resultados enganosos (CONCEPA-LAPAV 2007).

O ensaio Lottman Modificado (AASHTO T 283-89 ou ASTM D4867) avalia as propriedades de adesividades em misturas asfálticas, considerando o efeito deletério da água, em amostras cilíndricas, preparadas através da Metodologia Marshall, com volume de vazios de aproximadamente 7% ($\pm 1\%$).

Para a realização do ensaio em questão, são moldados seis corpos-de-prova seguindo a metodologia Marshall, estes devem possuir um volume de vazios de $7\% \pm 1\%$. Para tanto, o procedimento de moldagem consiste em aplicar um número reduzido de golpes em cada face do corpo-de-prova. em seguida os seis corpos-de-prova são divididos em dois grupos de três corpos-de-prova cada e após um período de 24 horas são submetidos aos seguintes procedimentos:

Grupo I - (três corpos-de-prova)

⇒ Os corpos-de-prova equalizados a 25°C são submetidos a ruptura por compressão diametral, obtem-se o valor de R_{t1} .

Grupo II - (três corpos-de-prova)

⇒ Os corpos-de-prova são imersos em água e submetidos a uma pressão de vácuo, de forma que o grau de saturação atinja valores entre 55% e 80%.

⇒ Acondicionam-se os corpos-de-prova “saturados” em sacos plásticos com aproximadamente 3,0 ml de água dentro de cada saco;

- ⇒ A seguir, refrigeram-se as amostras à temperatura de -18°C por um período de 18 horas;
- ⇒ Após submetem-se os corpos-de-prova a um banho em água destilada com temperatura de 60°C por um período de 24 horas;
- ⇒ Em seguida, submetem-se os corpos-de-prova a outro banho em água destilada com temperatura de 25°C por um período de 2 hora e;
- ⇒ Com velocidade de $0,8\text{mm/min}$, rompem-se as amostras obtendo a resistência à tração por compressão diametral (R_{t2}).

A análise é feita pela relação entre a resistência à tração de amostras com condicionamento prévio e amostras sem condicionamento. Esta relação é denominada Resistência Retida à Tração (RR_t), equação 3.

$$RR_t = \frac{R_{t1}}{R_{t2}} * 100 \quad (3)$$

onde:

RR_t = Resistência Retida à Tração (%);

R_{t1} = Resistência à Tração de Amostras com Condicionamento;

R_{t2} = Resistência à Tração de Amostras sem Condicionamento;

O valor obtido desta relação pode ser utilizado para prever o desempenho de misturas asfálticas, em campo (4 à 12 anos), face a adesividade ligante/agregado e também para verificar o efeito da adição de aditivos químicos ou pulverulentos, na adesividade da mistura (SPECHT, 2004). Na Figura 5 esta representado o equipamento utilizado para determinar a Resistência a Tração.



Figura 5 : Exemplo de equipamento para ensaio de Rt.

3.4.5. Perda de massa por desgaste

O ensaio normalizado, inicialmente, no Centro de Estudios Carreteras na Espanha (CEC 325/86) e, posteriormente normalizado e no Brasil sob as normas DNER – ES 383/99 e DAER – EL215/01, consiste em submeter amostras (uma por vez) de concreto asfáltico à 300 revoluções (33rpm), dentro da máquina de abrasão Los Angeles (Figura 6), sem as esferas metálicas. A massa das amostras é determinada antes e depois do ensaio e é calculada a perda de massa por desgaste. Este ensaio avalia de maneira indireta a coesão, resistência à abrasão e a resistência à desagregação de misturas asfálticas.

Após o ensaio, quantifica-se a perda de massa do corpo-de-prova. O desgaste da mistura betuminosa por abrasão, em percentagem, é dado pela Equação 4:

$$PM = \frac{P - P'}{P} * 100 \quad (4)$$

onde:

PM = perda no ensaio de desgaste Cantabro (%);

P = peso inicial do corpo-de-prova (g);

P' = peso após a realização do ensaio (g).



Figura 6 : Equipamento de abrasão *Los Angeles*

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nos ensaios realizados para avaliar comparativamente o comportamento e o desempenho de misturas em CA para os diferentes tipos de cal. No estudo foram usados três tipos de cal, cal Dolomítica CH I (cal CH I D), cal Dolomítica CH II (cal CH II D) e cal Calcítica CH I (cal CH I C), estas três amostras foram comparadas com misturas sem cal (Referência).

4.1. Dosagem Marshall

Através da dosagem Marshall buscam-se misturas com:

- ⇒ Máxima massa específica aparente possível para garantir máxima estabilidade;
- ⇒ Fluência entre certos limites, para garantir flexibilidade;
- ⇒ Volume de vazios entre certos limites para garantir que não ocorra oxidação da massa asfáltica pela ação da água e/ou ar, e que também não ocorra exsudação e
- ⇒ Relação betume vazios entre certos limites, para garantir que exista betume suficiente para unir os agregados e para que não ocorra exsudação.

Para a dosagem Marshall são moldados diferentes grupos de CPs, cada grupo é composto por 3 CPs. Conforme a experiência do projetista, para a granulometria selecionada, é sugerido um teor de ligante (T, em %) para o primeiro grupo de CPs. Os outros grupos terão teores de ligante acima (T+0,5% e T+1,0%) e abaixo (T-0,5% e T-1,0%). Após são determinados os parâmetros volumétricos e mecânicos dos CPs.

As Tabelas 7, 8, 9 e 10 apresentam os valores dos parâmetros encontrados na metodologia Marshall e as Figuras 7, 8, 9 e 10 apresentam as curvas destes parâmetros.

Tabela 7 : Valores da dosagem Marshall para a mistura de referência

Propriedade	Teor de Betume (%)				
	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
Volume de Vazios (%)	7,4	5,6	4,0	2,3	1,6
Relação Betume Vazios (%)	58	67	76	86	91
Vazios do Agregado Mineral (%)	17,57	17,12	16,94	16,67	17,20
Massa Específica Máxima Teórica (g/cm ³)	2,74	2,71	2,69	2,67	2,64
Massa Específica Aparente (g/cm ³)	2,56	2,58	2,60	2,62	2,62
Estabilidade (1/100 in)	1051	1100	971	1180	1016
Fluência (kgf)	9	10	11	10	17

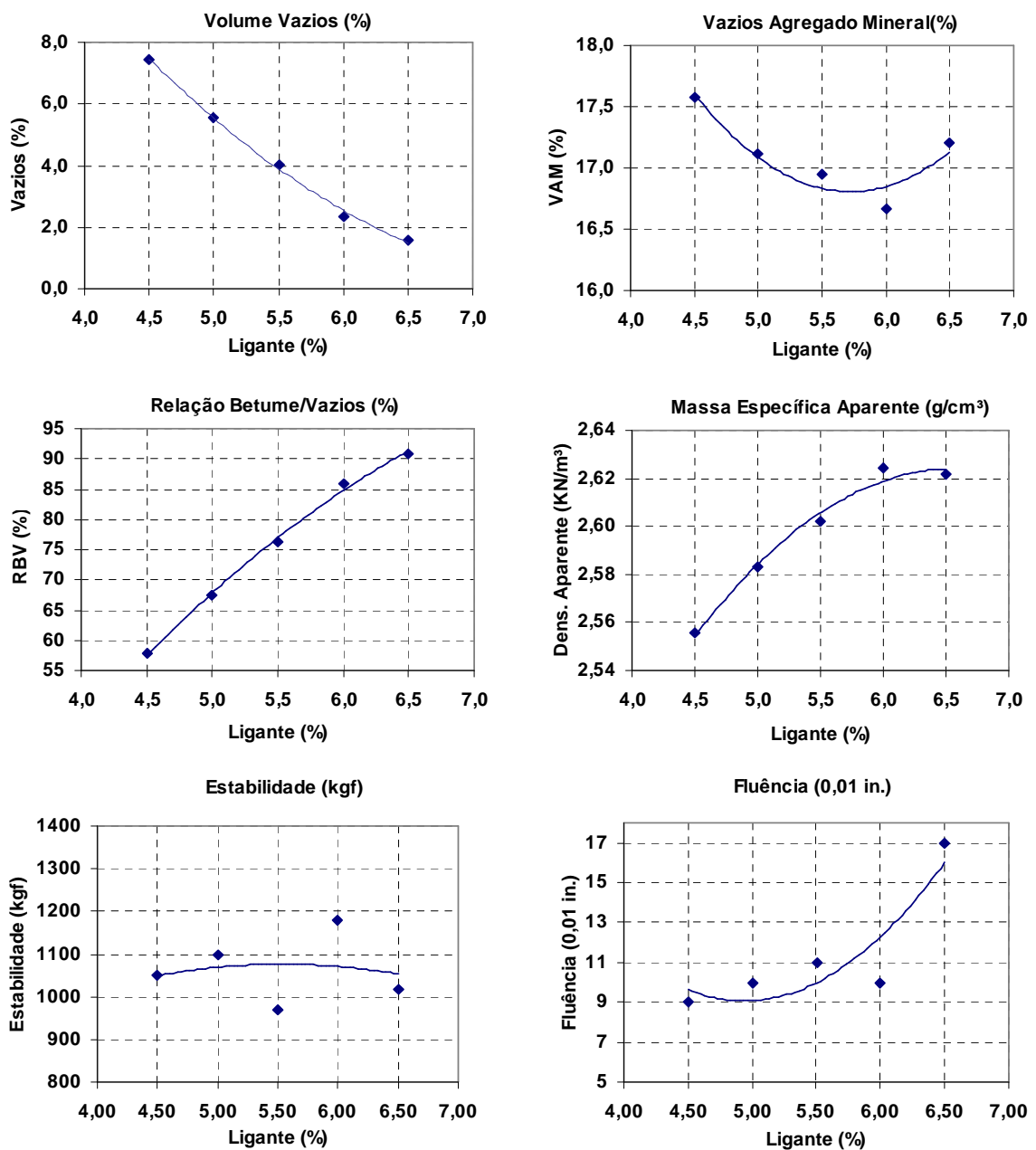


Figura 7 : Curvas dos parâmetros Marshall para a mistura de referência

Tabela 8 : Valores da dosagem Marshall para a mistura com cal CH I C

Propriedade	Teor de Betume (%)				
	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
<i>Volume de Vazios (%)</i>	6,8	4,9	3,1	1,7	1,0
<i>Relação Betume Vazios (%)</i>	60	70	81	89	94
<i>Vazios do Agregado Mineral (%)</i>	16,94	16,39	16,03	16,02	16,58
<i>Massa Específica Máxima Teórica (g/cm³)</i>	2,73	2,71	2,69	2,66	2,64
<i>Massa Específica Aparente (g/cm³)</i>	2,55	2,58	2,60	2,62	2,61
<i>Estabilidade (1/100 in)</i>	1256	1166	1143	1157	982
<i>Fluência (kgf)</i>	9	6	6	14	12

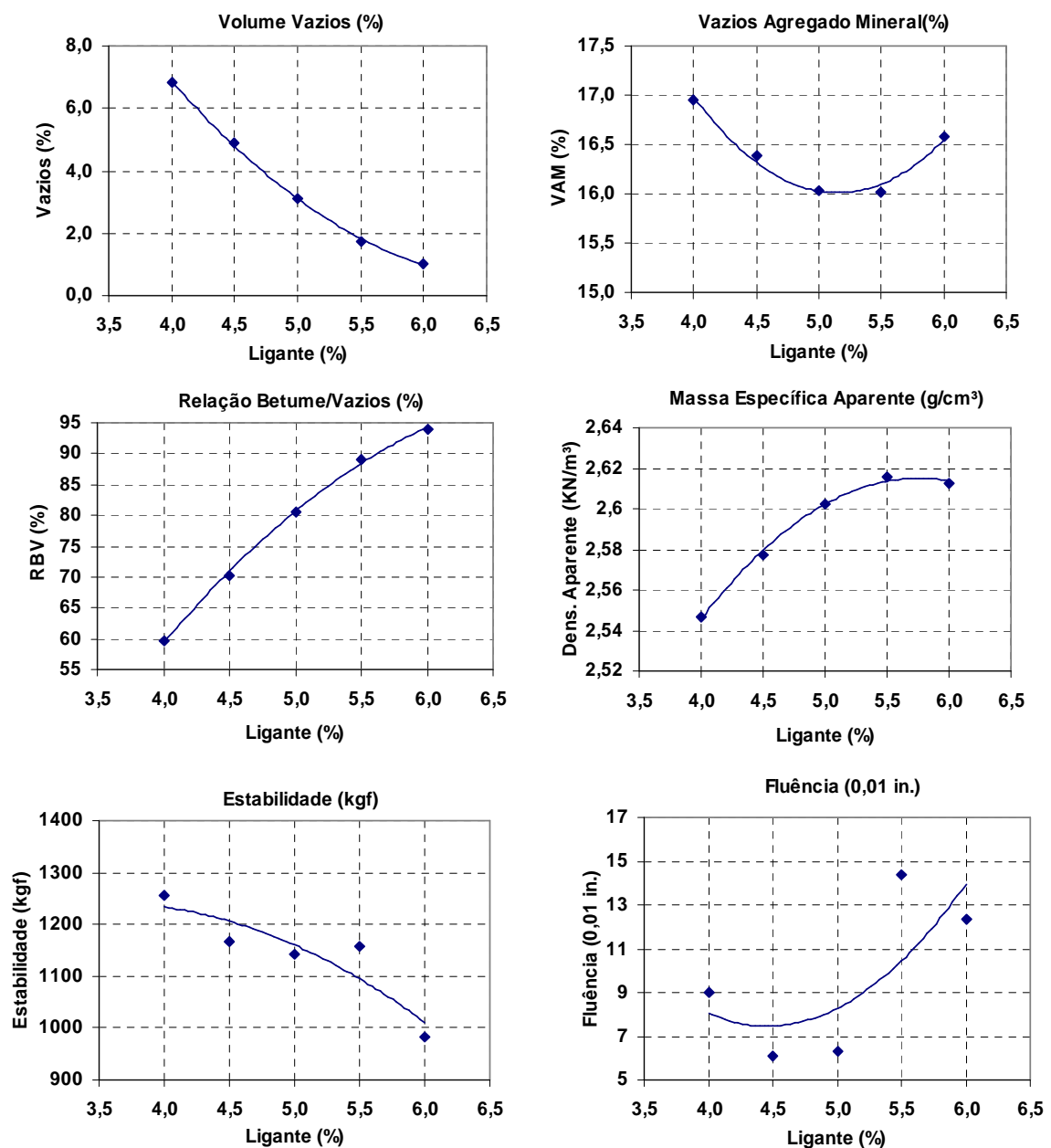


Figura 8 : Curvas dos parâmetros Marshall para a mistura com cal CH I C

Tabela 9 : Valores da dosagem Marshall para a mistura com cal CH I D

Propriedade	Teor de Betume (%)				
	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
Volume de Vazios (%)	7,5	6,4	4,0	2,4	2,0
Relação Betume Vazios (%)	57	64	76	86	89
Vazios do Agregado Mineral (%)	17,51	17,71	16,84	16,56	17,38
Massa Específica Máxima Teórica (g/cm ³)	2,73	2,71	2,69	2,66	2,64
Massa Específica Aparente (g/cm ³)	2,53	2,54	2,58	2,60	2,59
Estabilidade (1/100 in)	1257	1349	1203	1201	976
Fluência (kgf)	10	9	13	15	8

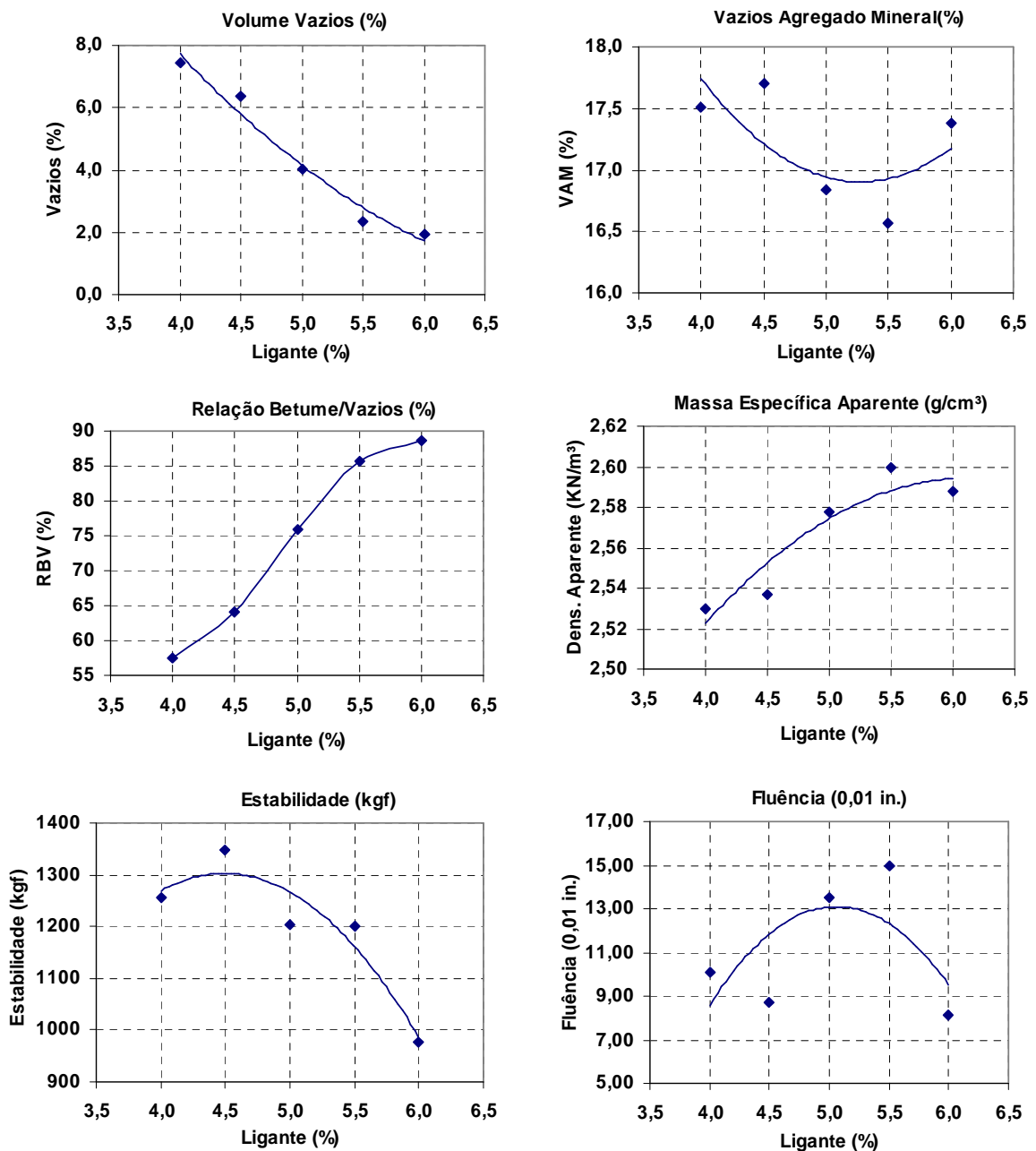


Figura 9 : Curvas dos parâmetros Marshall para a mistura com cal CH I D

Tabela 10 : Valores da dosagem Marshall para a mistura com cal CH II D

Propriedade	Teor de Betume (%)				
	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
Volume de Vazios (%)	7,2	5,8	4,2	2,4	1,0
Relação Betume Vazios (%)	58	66	75	85	94
Vazios do Agregado Mineral (%)	17,25	17,19	17,00	16,64	16,60
Massa Específica Máxima Teórica (g/cm ³)	2,74	2,71	2,69	2,66	2,64
Massa Específica Aparente (g/cm ³)	2,54	2,55	2,57	2,60	2,61
Estabilidade (1/100 in)	1712	1547	1517	1392	1315
Fluência (kgf)	9	5	7	7	11

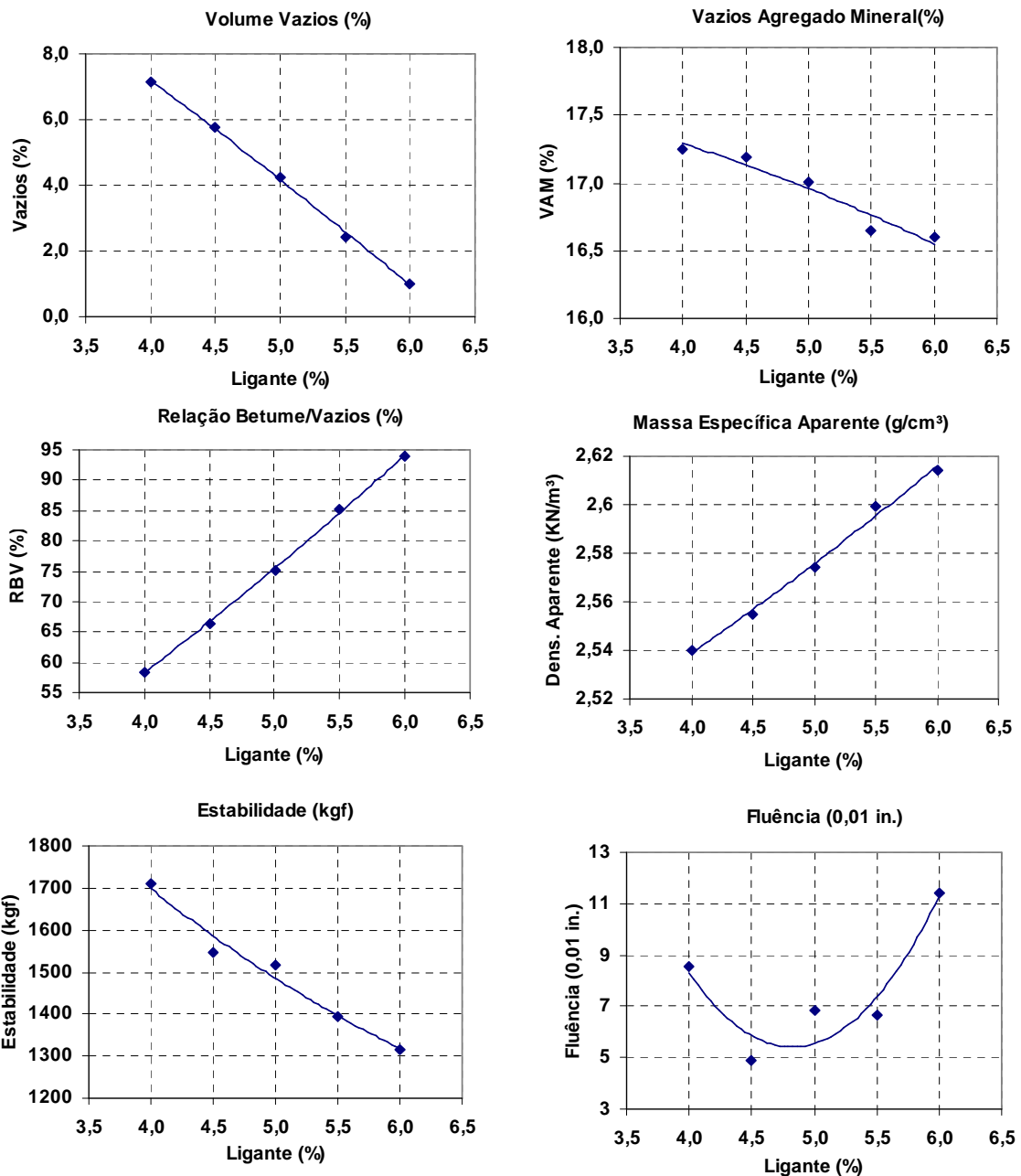


Figura 10 : Curvas dos parâmetros Marshall para a mistura com cal CH II D

Na Tabela 11 são apresentados os valores dos parâmetros Marshall usados para cada mistura em estudo, para a escolha do teor de ligante ideal foi adotado o volume de vazios de 4% e a partir deste parâmetro calculou-se os demais.

Tabela 11 : Valores finais para a dosagem Marshall

Propriedade	Especificação 16/91 DAER	Tipo de mistura			
		<i>Referência</i>	<i>Cal CH I C</i>	<i>Cal CH I D</i>	<i>Cal CH II D</i>
<i>Teor de Betume (%)</i>	--	5,46	4,72	5,05	5,05
<i>Volume de Vazios (%)</i>	3 a 5	4,00	4,00	4,00	4,00
<i>Relação Betume Vazios (%)</i>	75 a 82	76,36	75,38	76,85	75,95
<i>Vazios do Agregado Mineral (%)</i>	>16	16,34	16,14	16,92	16,93
<i>Massa Específica Máxima Teórica (g/cm³)</i>	--	2,69	2,69	2,69	2,69
<i>Massa Específica Aparente (g/cm³)</i>	97% (mínimo)	2,60	2,59	2,58	2,57
<i>Estabilidade (1/100 in)</i>	>800	1076	1129	1270	1481
<i>Fluência (kgf)</i>	8 a 16	10	8	13	7

A Figura 11 apresenta graficamente o teor de ligante encontrado para as dosagens Marshall das misturas de CA tendo como parâmetro fixo o volume de vazios de 4%. Nota-se que a cal exerce considerável influência nas misturas, visto que as misturas apresentaram uma redução do teor de ligante, a redução foi de 7,51 % para as duas cales dolomítica e de 13,55 % para a cal calcítica, e redução proporcional a uma grande economia, levando em consideração que nas misturas de CA, o ligante asfáltico é o componente de maior custo.

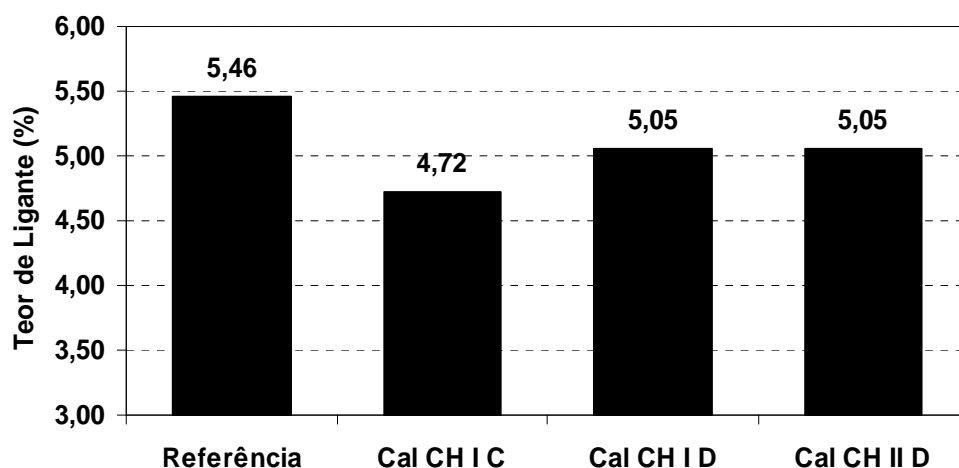


Figura 11 : Teor de ligante das misturas estudadas

4.2. Propriedades mecânicas

Com o objetivo de se analisar os dados dos ensaios de comportamento mecânico das misturas de forma mais objetiva foi realizada uma filtragem de dados. Determinou-se a Média dos resultados e seu desvio padrão, posteriormente calculou-se a Média menos o Desvio Padrão e Média mais Desvio Padrão, os valores que não se enquadraram neste intervalo foram excluídos e foi realizado novamente o processo com os valores restantes até que todos os valores se enquadrassem no critério adotado.

Para as propriedades de R_t e M_r são apresentados também a Média, Desvio Padrão, e o Coeficiente de Variação dos resultados obtidos nos ensaios. Os resultados completos dos ensaios encontra-se no Anexo A.

4.2.1. Ensaio de Resistência a Tração – DNER-ME 138/94

A Tabela 12 apresenta os valores de R_t encontrados para cada tipo de mistura ensaiada, foram ensaiados quatro corpos-de-prova para cada tipo de mistura, totalizando 16 amostras ensaiadas.

Tabela 12 : Resultados de Resistência à tração

Mistura	Média - R_t (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coef. de Variação (%)
Referência	1,51	0,06	4,04
Cal CH I C	1,50	0,11	7,56
Cal CH I D	1,72	0,10	6,05
Cal CH II D	1,64	0,06	3,56

A Figura 12 apresenta graficamente o resumo dos resultados obtidos através do ensaio de Resistência à tração. Nota-se que, apesar das misturas com cal apresentarem um menor teor de ligante as misturas com cal Dolomítica apresentam ganho de R_t e para a cal Calcítica, que apresenta o menor teor de ligante dentre as misturas estudadas à redução no valor de R_t é bastante discreta.

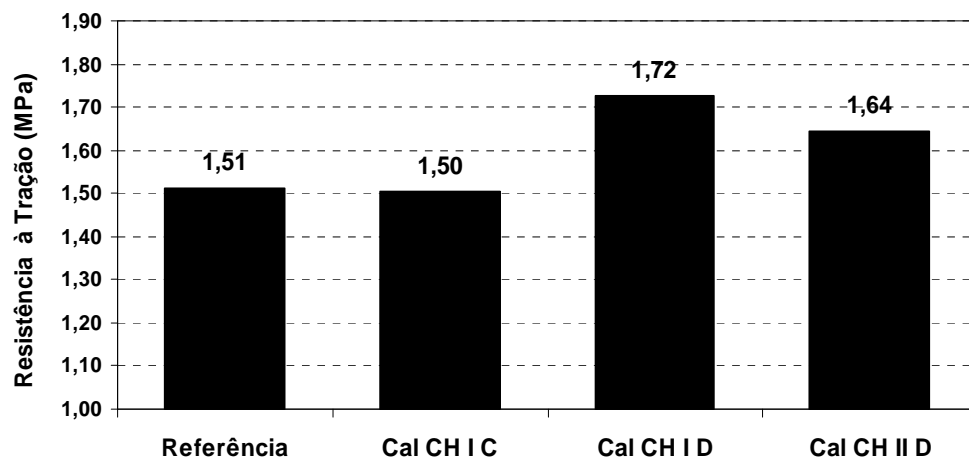


Figura 12 : Resultados de Resistência a Tração

4.2.2. Ensaio de Módulo de Resiliência - DNER-ME 133/94

Na análise tensão-deformação das estruturas dos pavimentos, o parâmetro de deformabilidade normalmente empregado para caracterizar as misturas asfálticas é o Módulo de resiliência (M_r) (MEDINA e MOTTA, 2005).

A Tabela 13 apresenta os valores de M_r encontrados para cada tipo de mistura estudada, foram ensaiados três corpos-de-prova para cada tipo de mistura, totalizando 12 amostras ensaiadas.

Tabela 13 - Resultados de Módulo de Resiliência

Mistura	Média - M_r (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coef. de Variação (%)
Referência	11802,78	754,51	6,393
Cal CH I C	9835,83	284,96	2,897
Cal CH I D	12966,83	514,07	3,964
Cal CH II D	10282,44	781,82	7,603

A Figura 13 apresenta o resumo dos resultados obtidos no ensaio de M_r . Os valores médios de M_r indicam que os maiores valores foram com a adição de cal CH I D (12967 MPa) e para a mistura de Referência (11803 MPa) e os menores valores foram obtidos com as misturas com cal CH II D (10282 MPa) e com cal CH I C (9836 MPa). Pode-se verificar que para a mistura com adição de cal CH I D houve um acréscimo de 9,86 % no valor de M_r em

relação à mistura de referência, para as outras duas cales houve um decréscimo nos valores de módulo, para a mistura com cal CH I C a redução foi de 16,66% e para a cal CH II D a redução foi de 12,88%.

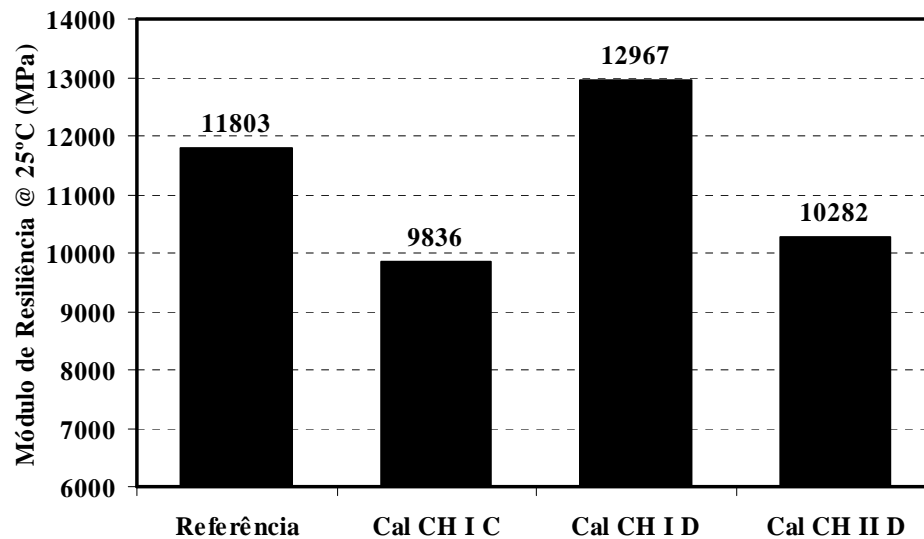


Figura 13 : Resultados de Módulo de Resiliência

4.3. Relações M_r/R_t e R_t/M_r

A relação M_r/R_t permite inferir o comportamento das misturas asfálticas com relação ao trincamento. Quanto menor o valor da relação, maior flexibilidade terá a mistura, unida a uma boa resistência à tração (NEVES FILHO, et al., 2004 apud Silveira e Soares, 2007).

A análise desta relação já foi avaliada por alguns pesquisadores, que acreditam que quanto menor a razão M_r/R_t , maior será a vida de fadiga obtida para esse mesmo tipo de mistura asfáltica. (VALE et al., 2007). De maneira inversa, a análise pode ser feita para os valores da relação R_t/M_r em que valores mais elevados aliados a uma boa resistência a tração geram em campo uma maior vida de fadiga.

Neste contexto, a partir da análise das Figuras 14 e 15 observa-se que os melhores resultados foram encontrados para as misturas com a adição de cal CH II D e cal CH I C, e os valores menos satisfatórios foram para as misturas com cal CH I D e para a mistura de referência.

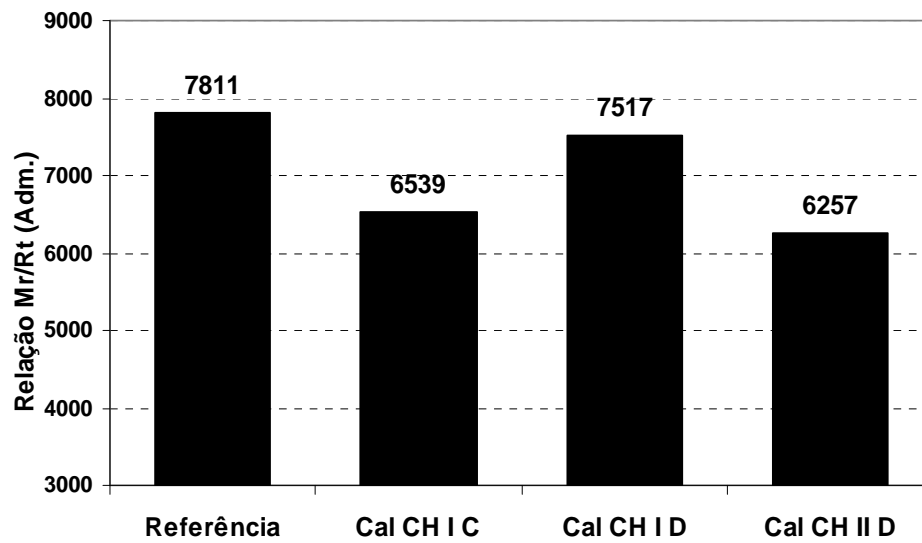


Figura 14 : Relação Mr/Rt

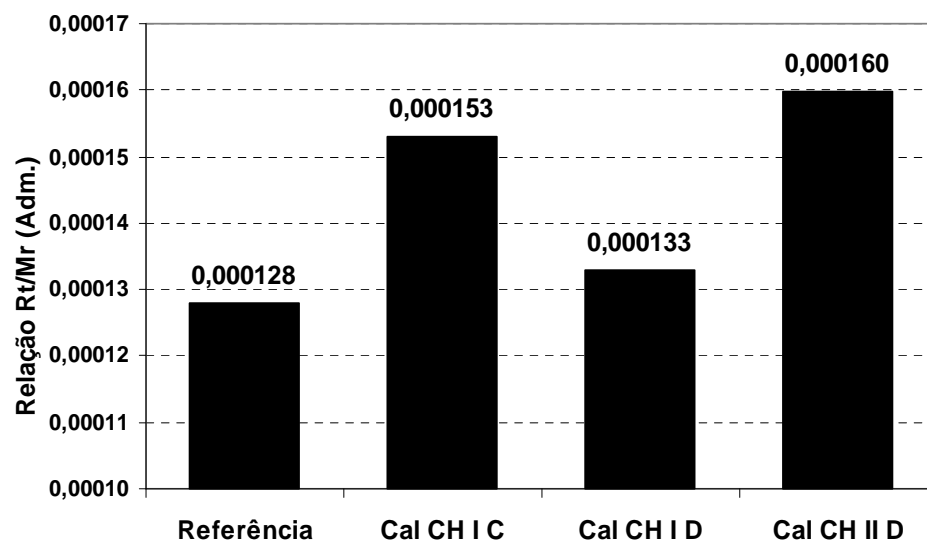


Figura 15 : Relação Rt/Mr

4.4. Propriedades de Adesão e Coesão

4.4.1. Adesividade – Metodologia Lottman Modificada

A Figura 16 apresenta os valores de Resistência a tração obtidos em corpos de prova moldados com volume de vazios entre 6% a 8%, sem condicionamento (Rt1) e com condicionamento (Rt2), moldados segundo a metodologia Marshall, com número reduzido de

golpes por face, em torno de 23 golpes, no intuito de obter corpos-de-prova com volume de vazios na ordem de 6% a 8%.

Observa-se que para misturas sem condicionamento, os corpos-de-prova com adição de cal dolomítica (CH I e CH II) apresentam um acréscimo de Resistência de 6,59% e 11,54% respectivamente, e a mistura com a cal calcítica apresentou uma redução de 7,69%. Quando consideramos o condicionamento dos corpos-de-prova observamos o comportamento inverso, ou seja, as misturas com adição de cal dolomítica são as mais afetadas, a mistura com cal CH I apresentou a maior redução de Resistência à tração (16,67%) e a mistura com a cal CH II uma redução de 2,56%, já para a mistura com cal calcítica observa-se um pequeno ganho (1,28%). Análise feita tendo como base a mistura sem adição de cal.

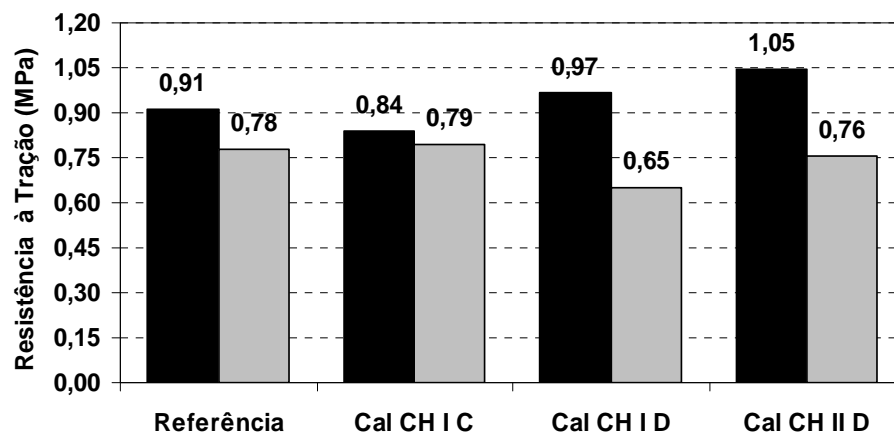


Figura 16 : Resistência a tração de corpos-de-prova com volume de 6% a 8%.

Para o ensaio Lottmann Modificado Figura 17, realizado segundo prescrições da norma AASHTO T 283-89, os valores médios indicam que a mistura com melhor desempenho quanto a Resistência Retida à Tração (RRt) foi a mistura com adição da cal CH I Calcítica (94,54%), seguida da mistura de Referência (85,34%), já os menores valores foram obtidos com as misturas com incorporação de cal Dolimítica, a cal CH II apresentou uma RRt de 72,31% e a cal CH I apresentou o pior comportamento dentre as misturas estudadas com RRt de 67,36%. Observa-se que as misturas com cales de baixo teor de hidróxido de cálcio são as mais afetadas.

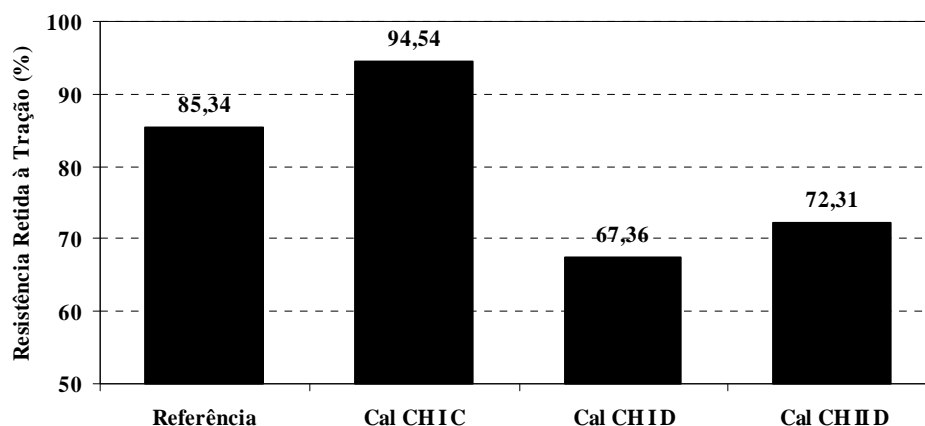


Figura 17 : Resultado do ensaio Lottmann Modificado

Apesar da mistura sem adição de cal apresentar um bom desempenho, a amostra com adição de cal CH I calcítica apresentou melhores resultados, elevando substancialmente os valores de RRT. A especificação Superpave aceita apenas valores acima de 80%. Observa-se desta forma que as misturas com cal dolomítica analisadas neste estudo não estão dentro da especificação.

4.4.2. Perda de Massa – Metodologia Cantabro

Uma patologia comum nos revestimentos brasileiros é o desgaste, processo pelo qual ocorre arrancamento progressivo de agregados do revestimento causado pelo atrito entre pneu e pavimento. O ensaio usualmente utilizado para simular esse problema é o desgaste Cântabro, desenvolvido na Espanha com o objetivo de avaliar o comportamento de misturas asfálticas porosas quanto à perda de material, mas que já foi utilizado comumente em outros tipos de revestimentos como concretos asfálticos (CA) e misturas areia-asfalto (SILVEIRA, 1999 apud BABADOPULOS 2008).

A Figura 18 apresenta os valores de perda de massa (PM) para cada mistura, realizado com condicionamento prévio a três temperaturas: -18°C , 5°C e 25°C . Estas temperaturas de condicionamento foram adotadas para simular as condições que o pavimento pode estar submetido; A temperatura de -18°C foi adotada em conformidade ao condicionamento a que são submetidas as amostras no condicionamento para o ensaio da Metodologia Lottman; A temperatura de 5°C foi adotada pois representa as temperaturas a que chegam os pavimentos

no sul do país em épocas de inverno; A temperatura de 25°C é a temperatura preconizada em norma para execução do ensaio.

A Tabela 14 apresenta os valores de perda de massa encontrados para cada tipo de mistura estudada, foram ensaiados quatro corpos-de-prova para cada tipo de mistura, totalizando 16 amostras ensaiadas. No anexo A encontram-se os resultados completos quanto ao ensaio de perda de massa Cântabro.

Tabela 14 - Resultados de Perda de massa

Mistura	Temperatura	Média - PM (%)	Desvio Padrão (%)	Coef. de Variação (%)
Referência	-18°C	18,15	0,35	1,95
	5°C	14,96	2,77	18,55
	25°C	5,89	3,95	67,15
Cal CH I C	-18°C	28,38	0,55	1,92
	5°C	17,35	3,29	18,93
	25°C	10,83	5,37	49,56
Cal CH I D	-18°C	27,68	1,59	5,75
	5°C	20,83	2,67	12,81
	25°C	10,26	8,28	80,70
Cal CH II D	-18°C	17,69	5,10	28,81
	5°C	16,62	0,82	4,94
	25°C	14,83	4,46	30,07

A Figura 18 apresenta os valores de perda de massa para cada mistura. Observa-se que para uma temperatura mais elevada, as amostras apresentam uma menor perda de massa, isso ocorre devido ao fato das misturas se tornarem mais plásticas (principalmente na mistura de Referência, que apresenta um maior teor de ligante) com a elevação da temperatura, sofrendo as amostras apenas uma deformação, não ocorrendo uma desagregação no mesmo nível do que em amostras submetidas ao ensaio a temperaturas mais baixas.

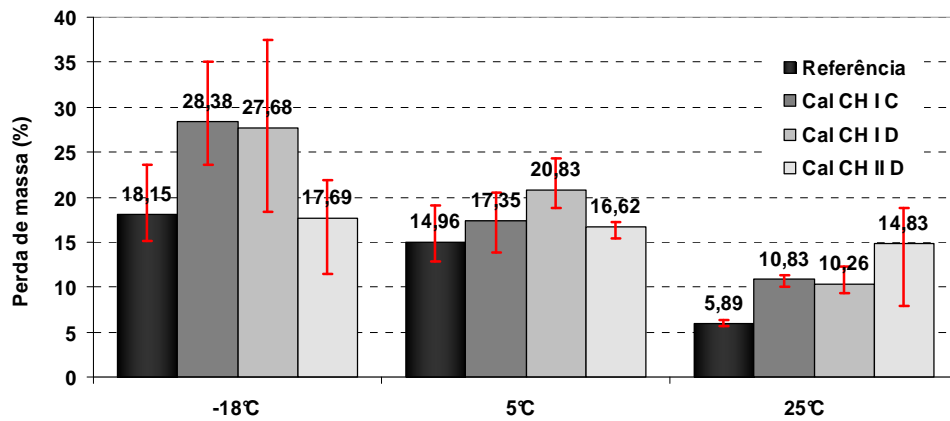


Figura 18 : Perda de massa

Nota-se também que quanto menor a temperatura de ensaio maior é a dispersão dos resultados, o que demonstra que este ensaio não é de boa representatividade para misturas em que o ensaio é realizado a baixas temperaturas.

4.5. Análise de custo

A análise de custos levou em consideração apenas o valor do ligante asfáltico (CAP 50/70) necessário para realizar a mistura de uma tonelada de CBUQ, não estando portanto contabilizadas as despesas com os agregados, mão-de-obra e maquinários.

No estudo são considerados os valores de transporte das cales, de acordo com empresas de transporte consultadas, o valor para o transporte da cal CH I C da cidade de Belo Horizonte – MG para Ijuí – RS, é de aproximadamente R\$3.500,00 para uma carga de 27.000 kg, para a cal CH I D que é provida de Almirante Tamandaré –PR até Ijuí o custo é de aproximadamente R\$1.500,00 para uma carga de 27.000 kg, e para a cal CH II D não houve valor de frete pois está é comercializada no município de Ijuí. O valor das cales foi adotado como sendo de R\$ 6,98 para 20 kg, e para o ligante o valor encontrado foi de R\$1311,52 a tonelada conforme Anexo B.

Na Figura 19 são apresentados os valores gastos com ligante para a mistura de Referência e os valores de ligante mais Cal para as demais misturas.

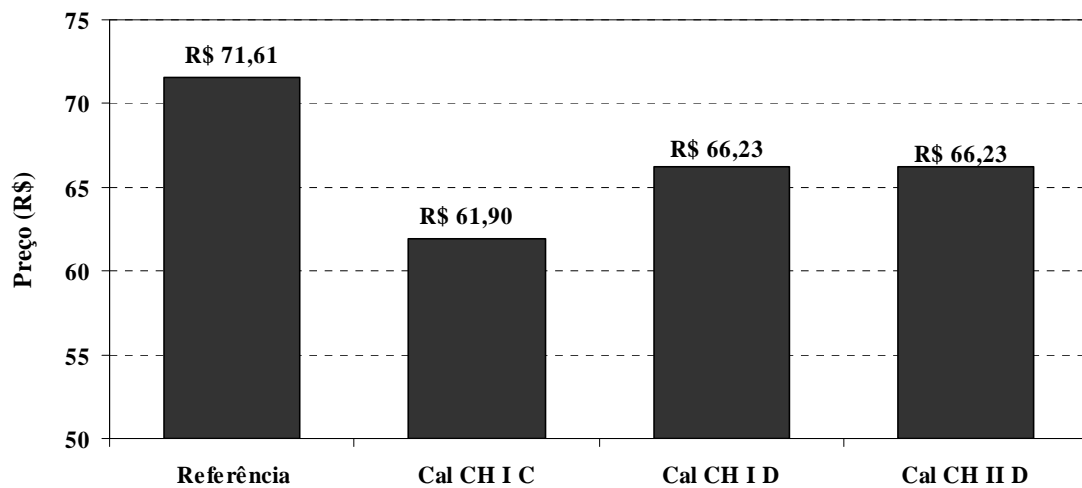


Figura 19 : Custo das Misturas

Observa-se que a composição com maior valor é a mistura sem cal, e para as misturas com adição de cal houve uma redução dos valores, observa-se que a mistura mais barata é a mistura com adição de cal CH I C, mesmo o custo desta cal sendo mais alto devido ao frete, a mistura se torna viável pela grande economia de ligante.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo são apresentadas as conclusões desta pesquisa, que teve como objetivo geral verificar as propriedades mecânicas e de adesão/coesão de misturas em CA tendo como variáveis diferentes tipos de cal.

5.1. Conclusões

A partir dos resultados obtidos nos ensaios realizados e dos dados analisados foi possível chegar as seguintes conclusões.

- ✓ Dosagem Marshall;

A cal exerce influência nas misturas, visto que as misturas apresentaram uma considerável redução do teor de ligante, a redução foi de 7,51 % para as duas cales dolomítica e de 13,55 % para a cal calcítica, e redução proporciona uma grande economia, levando em consideração que nas misturas de CA, o ligante asfáltico é o componente de maior custo.

- ✓ Propriedades mecânicas das misturas

a) Resistência à tração:

Para o ensaio de R_t observou-se os maiores valores para as duas cales dolomíticas a cal CH I D apresentou R_t de 1,72 MPa e a cal CH II D 1,64 MPa, e os menores valores ficaram para a mistura de referência (1,51 MPa) e para a cal CH I C (1,50 MPa). Apesar das misturas com cal apresentarem um menor teor de ligante, as mesmas não tiveram perda de R_t , o que demonstra que a cal é um filler ativo e que age positivamente entre o agregado e o ligante.

Para as amostras com volume de vazios entre 6% e 8%, sem condicionamento observa-se que os maiores valores são da mistura com cal CH II D (1,05 MPa) e com a cal

CH I D (0,97 MPa) e os menores valores de R_t são para a mistura de referência (0,91 MPa) e para a cal CH C (0,84 MPa).

Para as amostras com volume de vazios entre 6% e 8%, com condicionamento observa-se que os maiores valores são para a mistura com cal CH I C (0,79 MPa) e mistura de referência (0,78 MPa) e os menores valores são encontrados para a cal CH II D (0,76 MPa) e para a cal CH I D (0,97 MPa).

b) Módulo de resiliência:

Os valores médios de M_r indicam que os maiores valores foram com a adição de cal CH I D (12967 MPa) e para a mistura de Referência (11803 MPa) e os menores valores foram obtidos com as misturas com cal CH II D (10282 MPa) e com cal CH I C (9836 MPa).

Pode-se verificar que para a mistura com adição de cal CH I D houve um acréscimo de 9,86 % no valor de M_r em relação a mistura de referência, para as outras duas cales houve um decréscimo nos valores de módulo, para a mistura com cal CH I C a redução foi de 16,66% e para a cal CH II D a redução foi de 12,88%.

c) Relações M_r/R_t e R_t/M_r

Os menores resultados foram encontrados para as misturas com a adição de cal CH II D e cal CH I C, e os valores menos satisfatórios foram para as misturas com cal CH I D e para a mistura de referência.

✓ Propriedades de Adesão e Coesão

a) Adesividade;

Os valores médios indicam que a mistura com melhor desempenho quanto a Resistência Retida à Tração (RRt) foi a mistura com adição da cal CH I Calcítica (94,54%), seguida da mistura de Referência (85,34%), já os menores valores foram obtidos com as

misturas com incorporação de cal Dolimítica, a cal CH II apresentou uma RRt de 72,31% e a cal CH I apresentou o pior comportamento dentre as misturas estudadas com RRt de 67,36%. Observa-se que as misturas com cales de baixo teor de hidróxido de cálcio são as mais afetadas.

b) Resistência ao desgaste;

Para uma temperatura mais elevada, as amostras apresentam uma menor perda de massa, isso ocorre devido ao fato das misturas se tornarem mais plásticas (principalmente na mistura de Referência, que apresenta um maior teor de ligante) com a elevação da temperatura, sofrendo as amostras apenas uma deformação, não ocorrendo uma desagregação no mesmo nível do que em amostras submetidas ao ensaio a temperaturas mais baixas.

Ao analisarmos a temperatura de -18°C observa-se que as misturas com cal CH I D e cal CH I C não estão dentro das especificações, tendo atingido valores máximos de perda de massa de 28,38% e 27,68% sendo o máximo tolerável segunda a norma DNER – ES 383/99 de 25%.

Nota-se também que quanto menor a temperatura de ensaio maior é a dispersão dos resultados, o que demonstra que este ensaio não é de boa representatividade para misturas em que o ensaio é realizado a baixas temperaturas.

✓ **Composição de custos**

Observa-se que a composição com maior custo é a mistura sem cal, e para as misturas com adição de cal houve uma redução dos valores, observa-se que a mistura mais barata é a mistura com adição de cal CH I C, mesmo o custo desta cal sendo o mais elevado, a mistura se torna viável pela grande economia de ligante.

✓ **Sugestões para trabalhos futuros:**

Realizar um estudo com diferentes teores de cal, variado entre 0,5% e 2,0%

Comparar o desempenho de misturas com adição de cal hidratada e misturas modificadas com adição de melhoradores químicos de adesividade (Dopes);

Realização de uma análise de desempenho das misturas em escala real através da construção e monitoramento de pistas experimentais para uma melhor caracterização do desempenho destas misturas em serviço;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **Resistance of Compacted Bituminous Mixture Induced Damage**. AASHTO T 283-89

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7175 Cal hidratada para argamassas, Rio de Janeiro, 2002.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Boletim Estatístico**, abril 2008. 1p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard practice for preparation of bituminous using Marshall apparatus**. D 6926-04. In: ASTM ...Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard test method for effect os moisture on asphalt concrete paving mixtures**. D 4867-96. In: ASTM ...Annual Book of ASTM ...Annual Book of Standars , Philadelphia, v4.03, 5p. 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard test method for Marshall stability and flow of bituminous mixtures**. D 6927-05. In: ASTM ...Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, 2005.

ASPHALT INSTITUTE. **Mix design methods for asphalt concrete and other hot-mix types**. Lexington, Manual Series N°2 (MS-2), 6 ed. 1995.141p.

BABADOPULOS, Lucas. **Estudo laboratorial da viabilidade do uso de fibras Sintéticas em misturas do tipo sma**, 156 reunião de pavimentação urbana. Salvador 2008, 12f

BENEVIDES, Sérgio Armando de Sá e. **Análise comparativa dos Métodos de Dimensionamento dos Pavimentos Asfálticos: Empírico do DNER e da Resiliência da COPPE/UFRJ em Rodovias do Estado do Ceará.** 2000. 176f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) –Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

BERGER, Eric, HUEGE, Fred. **The Use of Hydrated Lime in Hot Mix Asphalt. Adhesion & Cohesion of Asphalt in Pavement Cheyenne.** Wyoming, 2005, 10p.

BERNUCCI, Liedi Bariani et all. Pavimentação Asfáltica: **Formação Básica para Engenheiros.** Rio de Janeiro, PETROBRAS, ABEDA, 2008, 504p.

BETUNNEWS. **Informativo Bimestral do Grupo Betunel** - Distribuição Interna Janeiro - Fevereiro/2007, Rio de Janeiro, 2ªed. 2007. 7p. Disponível em: <<http://www.betunel.com.br/betunews2.pdf>>. Acessado em: 8 maio 2009.

BOCK, A. L., HARTMANN, D. A., BUDNY, J., CERATTI, J. A. P., SPECHT, L. P. **Estudo Laboratorial Sobre os Efeitos de Diferentes Formas de Adição de Cal a Concreto Asfáltico.** Teoria e Prática na Engenharia Civil (Online). , v.09, p.60 - 69, 2009.

CALCIDRATA. **Construção Civil e Obras Publicas,** Alcanede-Portugal, 2008. Disponível em: < <http://www.calcidrata.pt/Aplicacao.html>>. Acessado em: 10 abril 2009.

CENTRO DE ESTUDIOS DE CARRETERAS (CEC). **Propuesta de Norma de Ensayo – Determinacion de la perdida por Desgaste de Mezeclas Bituminosas mediante el empleo de la Maquina de Los Angeles (Ensayo Cantabro).** NLT – 325/86. Madri, 1986,3p.

CONCEPA E LAPAV, **Estudo laboratorial de redução das temperaturas de usinagem e compactação de misturas asfálticas, projeto de pesquisa concepa – lapav,** 2007, 61f.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES (CNT). **Uma pesquisa a favor do Brasil.** Disponível em <http://www.cnt.org.br/informacoes/revista.asp> (acessado em 18/12/2006).

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES (CNT). **Pesquisa CNT de rodovias 2009**. Disponível em <http://www.cnt.org.br/informacoes/pesquisas/rodoviaria/2009/> (acessado em 06/12/2009).

DEPARTAMENTO AUTONOMO DE ESTRADAS E RODAGEM (2001) **Determinação da Perda por Desgaste de Misturas Betuminosas de Graduação aberta** (Ensaio Cantabro): DAER/RS – EL 215/01. Porto Alegre, 4p.

DEPARTAMENTO AUTONOMO DE ESTRADAS E RODAGEM (2001) **Determinação da massa específica real, massa específica aparente e absorção do agregado graúdo**: DAER/RS – EL 105/01. Porto Alegre, 5p.

DEPARTAMENTO AUTONOMO DE ESTRADAS E RODAGEM (2001) **Determinação do índice de lamelaridade**: DAER/RS – EL 108/01. Porto Alegre, 4p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. **Misturas Betuminosas – Determinação da Resistência à Tração por Compressão Diametral**. DNER – ME 138/94. Rio de Janeiro, 1994, 4p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM (DNER). **Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro, 1996, 320p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. **Adesividade de Agregado a Ligante Betuminoso**. DNER – ME 79/94. Rio de Janeiro, 1994, 4p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. **Adesividade de Agregado Graúdo a Ligante Betuminoso**. DNER – ME 78/94. Rio de Janeiro, 1994, 3p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. **Desgaste por abrasão de misturas betuminosas com Asfalto-Polímero – Ensaio Cantabro**. DNER – ME 383/99. Rio de Janeiro, 1999, 2p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. **Misturas Betuminosas – Determinação do Módulo de Resiliência**. DNER – ME 133/94. Rio de Janeiro, 1994, 5p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. **Misturas Betuminosas à Quente – Ensaio Marshall**. DNER – ME 043/95. Rio de Janeiro, 1995, 11p. Editora UFRJ, 574p. 2005.

FURLAN, Ana Paula et al. **Influencia de Características dos Agregados na Susceptibilidade a Dano por Umidade de Misturas Asfálticas**. In: 17° ENCONTRO DE ASFALTO, 2004, Rio de Janeiro.

FURLAN, Ana Paula. **Condições Acerca da Adesão e da Susceptibilidade à Umidade de Misturas Asfálticas Densas à luz de Algumas Propriedades Mecânicas**. 2006. 120f. Tese – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

HIRSH, Fábio. **Estudo do Comportamento de Misturas Asfálticas Preparadas com Diferentes Tipos de Ligantes**. 130f. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil, Universidade do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2007.

KANDHAL, P. S. **Moisture susceptibility of HMA mixes: identification of problem and recommended solution**. NCAT - National Center for Asphalt Technology. Auburn, report n.92-6, 1992.

LIBERATORI, Leandro de Aguiar; CONSTANTINO, Rômulo Santos. **Melhoradores de Adesividade para Misturas Asfálticas – Estado da Arte**. In: 18° ENCONTRO DE ASFALTO, 2005, Rio de Janeiro-RJ. Anais

LIME. Hydrated Lime – **A Solution for High Performance Hot Mix Asphalt**. 2006, 4f. prepared for Lime Association, november 2006.

LITTLE, Dallas; EPPS, Jon. **The Benefits of Hidrated Lime in Hot Mix**. 2001, 54f. prepared for Lime Association, 2001.

LOPPES, Manuela, et all. **Estudo Laboratorial de Misturas Asfálticas SMA 12,5mm dosadas com diferentes tipos de ligantes**, 2007, 10f.

MEDINA, Jacques de; MOTTA, Laura M. G.; **Mecânica dos Pavimentos**. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 574p. 2005.

MOURA, Edson de. **Estudo do Efeito de Aditivos Químicos e da Cal como Agentes Melhoradores de Adesividade em Misturas Asfálticas Densas**. 2001. 122f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo, 2001.

MOURÃO, Fabrício Augusto Lago. **Misturas Asfálticas de Alto Desempenho Tipo SMA**. 2003. 131f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

NÚÑEZ, Washington Peres et al. **Produzindo Misturas Asfálticas de Elevado Desempenho com Emprego de Cal Hidratada**. In: 38a REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO - 12o ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA - 38a RAPv / 12o ENACOR, 2007, Manaus-AM.

OLIVEIRA FILHO, Clonilo; SOARES, Jorge Barbosa. **Melhoradores de Adesividade e Intertravamento**. In: XX ANPET - CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 2006, Brasília-DF. Anais...2006 Paulo, 2001.

ROZEK, Thiago de Matos. **Estudo laboratorial do envelhecimento de Misturas em Concreto Asfáltico Preparadas com Diferentes Tipos e Teores de Ligantes**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil – UNIJUÍ – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, 2007, 93p.

SANTANA, Humberto. **Considerações sobre os Nebulosos Conceitos e Definições de Fíler em Misturas Asfálticas**. In: 29a REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO - 29a RAPv, 1995, Cuiabá -MT. Anais... p. 575-604. 1995.

SENÇO, Wlastermir de. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. Volume 2, Ed. Pini, SP.

SPECHT, Luciano Pivoto; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; PALUDO, Ilda. **Estudo Laboratorial da Adesividade e do Desgaste de Misturas Asfálticas com Borracha**. In: XVI ANPET - CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 2002, Natal-RN.

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

ANEXO A

Planilhas com resultados de laboratório

Resultados de Mr e Rt

Mistura	CP	Diâm.	Altura	MR ₁	MR ₂	MR ₃	Mr (MPa)	Rt (MPa)
Referência	119	10,20	6,18	11153	11113	10943	11070	1,44
	120	10,20	6,17	12606	12783	12342	12577	1,39
	121	10,20	6,07	12016	11539	11730	11762	1,52
	122	10,20	6,13					1,50
Cal CH I C	111	10,20	6,09	11262	11302	11385	11316	1,61
	109	10,20	6,08	9575	9628	9700	9634	1,48
	107	10,20	6,15	10056	10066	9990	10037	1,53
	110	10,20	6,12					1,74
Cal CH I D	16	10,20	6,06					1,72
	17	10,20	6,29	13221	13542	13228	13330	1,76
	18	10,20	6,07	11700	11648	11638	11662	1,69
	19	10,20	6,09	12196	12004	13610	12603	1,92
Cal CH II D	224	10,20	6,04					1,64
	224I	10,20	6,06	11450	10248	10203	10634	1,65
	225I	10,20	6,1	9393	9528	9663	9528	1,64
	228	10,20	6,02	10376	10569	11112	10686	1,76

Resultados Ensaio Lotmann Modificado

Resistência à Tração		Mistura
Grupo I	Grupo II	
<u>0,87</u>		CaI CH I C
	<u>0,88</u>	
<u>0,85</u>		
	<u>0,74</u>	
	<u>0,76</u>	
<u>0,80</u>		
0,84	0,79	Média
RRt (100.Rt2/Rt1) (%)		94,54

Resistência à Tração		Mistura
Grupo I	Grupo II	
<u>1,02</u>		CaI CH I D
<u>1,03</u>		
<u>0,85</u>		
	<u>0,58</u>	
	<u>0,67</u>	
	<u>0,69</u>	
0,97	0,65	Média
RRt (100.Rt2/Rt1) (%)		67,36

Resistência à Tração		Mistura
Grupo I	Grupo II	
<u>1,01</u>		CaI CH I I D
<u>1,03</u>		
<u>1,10</u>		
	<u>0,75</u>	
	<u>0,84</u>	
	<u>0,68</u>	
1,05	0,76	Média
RRt (100.Rt2/Rt1) (%)		72,31

Resistência à Tração		Mistura
Grupo I	Grupo II	
<u>0,90</u>		Referência
<u>0,92</u>		
<u>0,91</u>		
	<u>0,78</u>	
	<u>0,73</u>	
	<u>0,83</u>	
0,91	0,78	Média
RRt (100.Rt2/Rt1) (%)		85,34

Resultados de Perda de massa

<i>Mistura</i>	<i>Temp.</i>	<i>CP</i>	<i>Peso Inicial (g)</i>	<i>Peso Final (g)</i>	<i>Perda de massa (g)</i>	<i>Perda de massa (%)</i>
Referência	25°C	78	1254,02	1183,13	70,89	5,65
		80	1252,14	1180,82	71,32	5,70
		86	1257,60	1176,95	80,65	6,41
		87	1247,51	1175,22	72,29	5,79
	5°C	165	1247,82	1010,49	237,33	19,02
		170	1249,29	1070,21	179,08	14,33
		174	1254,58	1093,12	161,46	12,87
		177	1253,33	1082,92	170,41	13,60
	-18°C	150	1251,53	956,49	295,04	23,57
		162	1250,2	1059,19	191,01	15,28
		175	1250,89	1061,45	189,44	15,14
		178	1246,16	1014,23	231,93	18,61
	Ca/CH I C	25°C	102	1250,89	1113,81	137,08
103			1247,97	1111,11	136,86	10,97
104			1248,34	1106,70	141,64	11,35
106			1243,21	1118,13	125,08	10,06
5°C		205	1245,43	991,04	254,39	20,43
		207	1246,92	1057,15	189,77	15,22
		209	1244,77	997,33	247,44	19,88
		221	1248,88	1075,43	173,45	13,89
-18°C		196	1242,18	807,29	434,89	35,01
		199	1245,82	959,41	286,41	22,99
		202	1244,9	930,59	314,31	25,25
		220	1251,64	872,54	379,10	30,29
Ca/CH II D		25°C	226 I	1248,16	1071,08	177,08
	227 I		1249,57	1151,33	98,24	7,86
	228 I		1246,44	1015,58	230,86	18,52
	229		1237,72	1005,70	232,02	18,75
	5°C	222	1246,33	1053,46	192,87	15,48
		223	1248,76	1031,24	217,52	17,42
		229	1246,18	1036,04	210,14	16,86
		0,00	1243,09	1034,97	208,12	16,74
	-18°C	225	1248,55	1105,08	143,47	11,49
		226	1244,18	970,76	273,42	21,98
		227	1241,30	1018,74	222,56	17,93
		223 I	1244,60	1003,56	241,04	19,37
	Ca/CH I D	25°C	7	1247,85	1139,43	108,42
20			1244,47	1091,16	153,31	12,32
21			1242,72	1110,63	132,09	10,63
22			1241,14	1124,51	116,63	9,40
5°C		23	1246,15	1012,03	234,12	18,79
		24	1248,03	943,96	304,07	24,36
		25	1247,60	1013,73	233,87	18,75
		26	1247,09	979,91	267,18	21,42
-18°C		27	1248,90	780,47	468,43	37,51
		28	1257,95	871,61	386,34	30,71
		29	1245,14	1017,09	228,05	18,32
		30	1245,39	944,01	301,38	24,20

ANEXO B

Custo Cap 50/70



Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem do RS
DEPARTAMENTO DE PROGRAMAÇÃO RODOVIÁRIA

Página: 1
Data: 29/07/09
Hora: 11:22:42

Custo Unitário do Serviço

Código: 9200		CAP-50/70 (sem BDI)					Unidade: R\$/ton	
A - EQUIPAMENTOS		QTD	UTIL PROD	UTIL IMPR	CUS PROD	CUS IMPR	CUS HORA	
TOTAL (A)								0,00
B - MÃO-DE-OBRA			UN.	QTD	SALÁRIO	CUS HORA		
TOTAL (B)								0,00
C - CUSTO HORÁRIO TOTAL						A + B		0,00
P - PRODUÇÃO DA EQUIPE						(Indicada)		1,000
D - CUSTO DE EXECUÇÃO						C / P		0,00
E - MATERIAL			UN.	QTD	PREÇO	CUS UNIT.		
504 CAP-50/70			t	1,0000	1.311,52	1.311,52		
TOTAL (E)								1.311,52
F - SERVIÇOS E TRANSPORTES			UN.	QTD	PREÇO	CUS UNIT.		
TOTAL (F)								0,00
G - TRANSPORTES		DMT (Cs)	DMT (R)	DMT (P)	EMPOLAM.	CONSUMO	CUSTO	CUS UNIT.
TOTAL (G)								0,0000
CUSTO DIRETO					D + E + F + G			1.311,52
BONIFICAÇÃO						0,00%		0,00
CUSTO TOTAL DO SERVIÇO								1.311,52
Objeto						OFICIAL		
0 - Tabela de Preços - EER/DPR/DAER						Data: MARÇO/2009		
Transportes incluídos DMT=1,000kmp						Proc: - / -		

