



Universidade do Minho

[CN-13]

Silva, H.M.R.D., **Pais, J.C.**, Pereira, P.A.A.

“Desenvolvimento de ensaios para estudo da adesividade nas misturas betuminosas”

2º Congresso Rodoviário Português - Estrada 2002, Lisboa, 2002, p. 269-

279

2.º Congresso Rodoviário Português

As vias da segurança

VOLUME II

18-20 Novembro 2002

Laboratório Nacional de Engenharia Civil

CRP

CENTRO RODOVIÁRIO PORTUGUÊS

ÍNDICE

VOLUME II

Tema 5

TECNOLOGIAS DE CONSTRUÇÃO

5.1. TERRAPLENAGENS	3
DANIFICAÇÃO DURANTE A INSTALAÇÃO DE GEOSSINTÉTICOS – COEFICIENTES DE SEGURANÇA A APLICAR NO DIMENSIONAMENTO	5
Margarida Pinho Lopes / Maria de Lurdes Lopes	
MÉTODO DAS PASTILHAS PARA IDENTIFICAÇÃO EXPEDITA DE SOLOS TROPICAIS	17
Rita Moura Fortes / João Virgílio Merighi / Alexandre Zuppolini Neto	
ESTUDO DA APLICABILIDADE DE ESCÓRIAS DE INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NA CONSTRUÇÃO RODOVIÁRIA	29
Tawfik Hadjadj / Rui Godinho / Carlos Dinis de Sousa / Anália Torres	
CORTES DE ESTRADAS MUNICIPAIS EM COIMBRA, NO INVERNO DE 2000/2001, DEVIDO A DESLIZAMENTOS	41
Mário Quinta Ferreira / Teresa Quinta Ferreira	
NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE EM OBRAS GEOTÉCNICAS	53
Licínia Gamito	
AVALIAÇÃO <i>IN SITU</i> DO MÓDULO DE DEFORMABILIDADE DE CAMADAS GRANULARES E DE LEITO DE PAVIMENTO COM DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO MANUAL	65
Rui Barros / Tomás Espírito Santo / Eduardo Mira Fernandes	

IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DA QUALIDADE SEGUNDO A NORMA NP EN ISO 9001:2000 NA CONSTRUÇÃO RODOVIÁRIA	77
Alfredo José de Castro Ferrão da Fonseca Marques	
5.2. PAVIMENTOS	89
EMULSÕES TERMO-ADERENTES. EXPERIÊNCIA NA SUA UTILIZAÇÃO	91
Paulo Garrido / Hugo Guimarães	
CONCEPÇÃO DE UMA ESTRUTURA FLEXÍVEL INOVADORA, MEDIANTE A CONJUGAÇÃO DE DOIS PROCESSOS CONSTRUTIVOS NÃO TRADICIO- NAIS	99
Carlos M. Valverde Miranda	
EXPERIENCIA DEL EMPLEO DE LAS BASES DE ALTO MÓDULO EN LA M-501 (MADRID)	109
Juan José Potti	
ACTUACIONES EN LOS FIRMES DENTRO DE LOS CONTRATOS DE CONSER- VACIÓN INTEGRAL. CASO ESPAÑOL	123
Juan José Potti / María Martínez	
A QUALIDADE NAS OBRAS RODOVIÁRIAS – A EXPERIÊNCIA DO DEPARTA- MENTO DE CONSTRUÇÃO DE VIAS, DA DIRECÇÃO MUNICIPAL DE INFRAESTRUTURAS E SANEAMENTO, DA CÂMARA MUNICIPAL DE LISBOA	135
Paula Candelário / Mavildia Yen / José Fonseca	
MÉTODOLOGIA SIMPLIFICADA PARA CÁLCULO DA TEMPERATURA DE SERVIÇO EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS	145
Lucília Faria Aquino / Luís Picado-Santos	
REFORÇO DOS PAVIMENTOS DO AERÓDROMO DE ALVERCA – REDIMENSIO- NAMENTO E REQUALIFICAÇÃO PARA AVIÕES “WIDE-BODY”	159
Carlos Alberto de Moraes Neves Brás / Joaquim José Carvalheira Baptista Veloso	
ESTRUTURAS DE PAVIMENTO RODOVIÁRIO FLEXÍVEL	171
António Miguel Baptista / Luís Picado-Santos	

UTILIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS NA BENEFICIAÇÃO DE ESTRADAS URBANAS Catarina Ferreira	185
CLASSIFICAÇÃO DA CAPACIDADE DE CARGA EM TERMOS DO PCN (<i>Pave- ment Classification Number</i>) DOS PAVIMENTOS AERONÁUTICOS DA BASE AÉREA N.º 6 NO MONTIJO	193
Joaquim João da Cruz Salvado / António Maria Afonso Marcos	
COMPARAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DE MISTURAS BETUMI- NOSAS DE ALTO MÓDULO OBTIDAS SOBRE PROVETES EXTRAÍDOS DO PAVIMENTO E PRODUZIDOS EM LABORATÓRIO	205
Silvino Dias Capitão / Luís Picado-Santos	
ASPECTOS GERAIS DE RECICLAGEM A FRIO	217
Luís Vieira	
COMPLEXO ANTIFISSURAS GEOTEXTIL IMPREGNADO E AREIA BETUME	223
Luís Vieira	
IMPORTÂNCIA DO COMPORTAMENTO DOS MATERIAIS GRANULARES NO DIMENSIONAMENTO E NA ECONOMIA DE CONSTRUÇÃO DE PAVI- MENTOS FLEXÍVEIS	233
José Manuel Coelho das Neves / António Gomes Correia	
OBSERVAÇÃO DO FENDILHAMENTO DE PAVIMENTOS SEMI-RÍGIDOS	245
Luís Quaresma / António Pinelo	
A OPTIMIZAÇÃO DAS MISTURAS BETUMINOSAS COM BETUME MODIFI- CADO COM BORRACHA RECICLADA DE PNEUS USADOS	257
Manuel Minhoto / Jorge Pais / Paulo Pereira	
DESENVOLVIMENTO DE ENSAIOS PARA ESTUDO DA ADESIVIDADE NAS MISTURAS BETUMINOSAS	269
Hugi Silva / Jorge Pais / Paulo Pereira	
MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DE REFORÇOS PARA CONTROLAR A REFLEXÃO DE FENDAS	281
Jorge Sousa / Jorge Pais / Rachid Saïm / George Way	

A INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NA RIGIDEZ DAS MISTURAS BETUMINOSAS	295
Jorge Pais / Paulo Pereira	
APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE RECICLAGEM DE PAVIMENTOS <i>IN SITU</i> NA BENEFICIAÇÃO DA EN 383 – CANHESTROS/ALJUSTREL	305
Rui Simões / Isabel Paul	
ESTUDO DO FENDILHAMENTO COM ORIGEM NA SUPERFÍCIE	319
Elisabete Freitas / Paulo Pereira / Luís Picado-Santos	
DEFORMAÇÃO PERMANENTE DE MISTURAS BETUMINOSAS EM CAMADAS DE DESGASTE – SUA CARACTERIZAÇÃO LABORATORIAL	331
Ana Cristina Freire / Maria de Lurdes Antunes / Luís Picado-Santos	
TERMINAL DE CONTENTORES DE SINES – PAVIMENTO RÍGIDO DE BETÃO DE CIMENTO	347
Pedro Serpa dos Santos / Paulo Aleixo Silva / Carlos Suzana	
CARACTERIZAÇÃO DA MISTURA BETUMINOSA COM BETUME MODIFICADO COM BORRACHA APLICADA NO IC1	363
Maria de Lurdes Antunes / Maria Isabel Eusébio / Margarida Sá da Costa / Pedro Domingos / Helena Lima	
APLICAÇÃO DAS REDES NEURONAIIS NA CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL DE PAVIMENTOS	379
Simona Fontul / Maria de Lurdes Antunes / João Marcelino	
LIPOR II. UMA PEDREIRA NA REGIÃO DO PORTO?	393
Luís Vaz Nicolau / Ana Maria Bastos / M. Lurdes Lopes / Joaquim Figueiras	
PAVIMENTOS DE BETÃO EM ESPAÇOS URBANOS: FUNCIONALIDADE, DURABILIDADE E A CONTRIBUIÇÃO PARA UMA REQUALIFICAÇÃO AMBIENTAL	409
Ângela Nunes	
APLICAÇÃO DE CIMENTO EM PAVIMENTOS	419
Jorge Nobre Santos	
MEZCLAS BITUMINOSAS REFORZADAS CON FIBRAS ACRILICAS	435
Luis Puncernau García / Ludwig Bullinger / David González Amago	

5.3. DRENAGEM	445
ESTIMATIVA DA PERMEABILIDADE DE MATERIAIS GRANULARES EM FUNÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE VAZIOS	447
Luiz Roberto Cavicchia	
UTILIZAÇÃO DE DESCARREGADORES EM DEGRAUS NA DRENAGEM TRANSVERSAL RODOVIÁRIA	459
Manuel Luís Lorena	
Tema 6	
ESTRUTURAS	
QUALIFICAÇÃO DOS AGENTES E METODOLOGIAS DE INSPECÇÃO E ENSAIO DE PONTES E TÚNEIS	469
Carlos Mesquita / Vítor Córias e Silva	
REABILITAÇÃO E REFORÇO DA PONTE DE ANGEJA SOBRE O RIO VOUGA ...	481
Tiago Mendonça / Vítor Brito	
IMPERMEABILIZAÇÃO DE TABULEIROS DE PONTES DE BETÃO COM EMUL- SÃO ANIÓNICA DE BETUME MODIFICADO E GEOTÊXTIL	493
Luís Vieira	
REABILITAÇÃO DA PONTE SARMENTO RODRIGUES SOBRE O RIO DOURO EM BARCA D'ALVA	501
Duarte Luís Rio Seco Silva Nobre / Manuel Miguel Jorge	
FERRAMENTA DE APOIO AO DIAGNÓSTICO DE PONTES E VIADUTOS DE BETÃO	515
V. Córias e Silva / Pedro Lança	
GESTÃO DA QUALIDADE NAS TECNOLOGIAS EMERGENTES PARA A REABI- LITAÇÃO DE OBRAS DE ARTE DE BETÃO	525
V. Córias e Silva	
APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE DESLIZE DE QUADROS DE BETÃO NA IMPLANTAÇÃO DE PIS EM OBRAS DE REABILITAÇÃO RODOVIÁRIA E FERROVIÁRIA	537
Eduardo Pimentel / Isabel Paul	

<i>Índice</i>	XII
VIADUTO DO PERDIGÃO	549
Victor Barata / Vasco Amaral	
MONITORIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE ESTRUTURAS	559
Joaquim A. Figueiras / Carlos Félix	

Tema 7

SEGURANÇA NO TRABALHO, NA CONSTRUÇÃO

IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE GESTÃO DA SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO DA CONSTRUÇÃO NO ICOR	573
Luís Gonelha	
O SISTEMA DE GESTÃO DE SEGURANÇA DOS ACE's NORACE, VIANOR, LUSITÂNEA E GRANDE PORTO	597
José Eduardo Marçal Ruivo da Silva / Luís Fontes Machado	
SINALIZAÇÃO RODOVIÁRIA. SUA IMPORTÂNCIA NA ECONOMIA NACIONAL	607
Jorge Aguiar	

DESENVOLVIMENTO DE ENSAIOS PARA ESTUDO DA ADESIVIDADE NAS MISTURAS BETUMINOSAS

HUGI SILVA

Assistente, Universidade do Minho

JORGE PAIS

Professor Auxiliar, Universidade do Minho

PAULO PEREIRA

Professor Catedrático, Universidade do Minho

RESUMO

O objectivo deste trabalho é apresentar e descrever os ensaios que estão a ser desenvolvidos e validados na Universidade do Minho para avaliação da ligação agregado-ligante, recorrendo à simulação da ligação agregado-ligante através da ligação mastique-agregado grosso.

Os ensaios baseados na avaliação da força de rotura por tracção e por corte são conduzidos sobre provetes de pequenas dimensões constituídos por mastique e agregado grosso.

Para este trabalho também foi desenvolvido um conceito de mastique que se baseia na definição do agregado que se encontra ligado a agregado de determinada dimensão.

1. INTRODUÇÃO

O presente artigo resume o trabalho experimental desenvolvido até à altura, e que se insere na primeira fase de um estudo mais vasto das misturas betuminosas, nomeadamente o estudo da influência da adesividade no comportamento das misturas betuminosas.

Estando a desenvolver-se um ensaio de adesividade com princípios bastante inovadores em relação ao que tem sido feito até à altura, esta fase do trabalho consiste no ajuste duma série de variáveis ainda por estudar. Assim, procurou-se acima de tudo retirar algumas conclusões de modo a obter um

modelo de ensaio perfeitamente definido e ajustado ao comportamento das misturas em serviço, de modo a poder estudar-se futuramente a influência que uma série de variáveis têm no comportamento duma mistura betuminosa.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ADESIVIDADE ENTRE O BETUME E OS AGREGADOS

A adesividade é um fenómeno complexo relacionado com a capacidade do betume ligar-se aos agregados, e manter-se ligado a estes em diversas condições de serviço (por exemplo, na presença de água).

Durante o processo de mistura a quente, os componentes do betume entram em contacto e aderem à superfície interfacial dos agregados, com os constituintes mais polares do betume (os componentes que contêm hetero-átomos de enxofre, nitrogénio ou oxigénio) a serem os mais competitivos pelos locais activos na superfície dos agregados (ou seja, os locais que contêm metais ou espécies carregadas electricamente).

Os factores que influenciam a adesividade do betume aos agregados são numerosos e complexos. No Quadro 1 identificam-se algumas destas influências, das quais se considera que aproximadamente 80% são controláveis durante a produção das misturas betuminosas e a construção do pavimento. Para obter e conservar uma adesividade adequada, entre os factores apresentados no Quadro 1, destacam-se os seguintes, relativos às propriedades dos

Quadro 1 – Propriedades dos materiais e influências externas que afectam a ligação do betume aos agregados (Whitcoak, 1990)

Propriedades dos agregados	Propriedades do betume	Propriedades da mistura betuminosa	Influências externas
<ul style="list-style-type: none"> • Mineralogia • Textura da superfície • Porosidade • Pó • Durabilidade • Área superficial • Absorção • Teor em água • Forma • Desgaste 	<ul style="list-style-type: none"> • Reologia • Polaridade eléctrica • Constituição • Envelhecimento 	<ul style="list-style-type: none"> • Volume de vazios • Permeabilidade • Teor em betume • Espessura da camada de betume • Tipo de filler • Granulometria dos agregados • Tipo de mistura betuminosa 	<ul style="list-style-type: none"> • Chuva • Água • pH da água • Presença de sais • Temperatura • Ciclos de temperatura • Tráfego • Fase de espalhamento • Drenagem

agregados: i) a composição mineralógica; ii) a natureza de físico-química; iii) a forma e a estrutura; iv) a valência residual ou área superficial.

De facto, uma avaliação das interações entre o betume e os agregados (Curtis *et al.*, 1993) mostrou que a composição química dos agregados tem uma influência muito maior que a composição do betume, quer para a adesividade, quer para a perda de ligação devido à sensibilidade à água, excepto quando ocorrem falhas coesivas no betume. No entanto, apesar da composição do betume ter um menor efeito, existem diferenças nas quantidades de betume absorvido e retido num agregado específico entre diferentes betumes.

Uma mistura betuminosa pode ser visualizada como uma estrutura na qual os agregados maiores, menores e finos, estão envolvidos ou suspensos no meio do betume. O betume pode penetrar nos poros e interstícios dos agregados. Os locais electricamente activos dos agregados atraem as espécies mais polares do betume, que têm maior capacidade de ligação no contacto inicial. Cada molécula de betume está em contacto com a superfície dum agregado ou com outra molécula de betume próxima da superfície dum agregado. Os agregados finos encontram-se dispersos no meio do betume, formando um mastique, um meio no qual é difícil distinguir entre o betume e os agregados.

A descolagem do betume a partir dos agregados resulta, principalmente, da intrusão de água no sistema composto pelo betume e pelos agregados. Os tipos de rotura são vários e dependem do carácter do sistema anterior, sendo os mais importantes (Scholz, 1995):

- separação da ligação na interface entre o betume e os agregados;
- rotura no betume quando os seus componentes solúveis são removidos;
- falha coesiva nos agregados;
- separação de fase dos componentes, quando a presença de água aumenta a solubilidade dos componentes polares através de ligações de hidrogénio.

A rotura pode ser interfacial ou coesiva, quer no betume, quer nos agregados. A rotura interfacial deve-se a problemas de ligação na interface entre o betume e os agregados. A rotura coesiva acontece devido a problemas de união interna no betume ou nos agregados. Com o presente trabalho procurou-se, essencialmente, saber como se comporta uma mistura betuminosa ao nível da ligação entre o betume (mastique) e os agregados, e avaliar qual a importância deste mecanismo na degradação dum pavimento.

4. ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DO MASTIQUE BETUMINOSO

Um dos objectivos deste estudo era saber qual a dimensão dos agregados grossos mais adequada para utilização no ensaio de adesividade e a obtenção da composição do mastique associada a essa dimensão dos agregados grossos. Assim, as misturas betuminosas, depois de fabricadas, foram peneiradas e divididas em diferentes fracções, em função da dimensão dos agregados grossos. Para a mistura betuminosa de desgaste, estudou-se a composição do mastique que envolve os agregados retidos em diversos peneiros (fracções, 1/2", 3/8", n.º 4, n.º 10 e n.º 20) (Figura 2).



Figura 2 – Fracções da mistura betuminosa de desgaste com teor em betume óptimo

No essencial, este estudo permitiu observar que os agregados grossos e o mastique betuminoso da fracção n.º 4 são representativos da mistura betuminosa em estudo. Assim, os provetes a preparar para os ensaios de adesividade, basear-se-ão na composição obtida para o mastique betuminoso da fracção n.º 4 da mistura betuminosa de desgaste com o teor em betume óptimo.

Os resultados detalhados deste estudo de composição encontram-se em Silva *et al.* (2002). Na Figura 3 apresenta-se a granulometria das diversas fracções da mistura betuminosa de desgaste com teor em betume óptimo. Para esta mistura betuminosa, determinou-se que teor em betume do mastique da fracção n.º 4 era igual a 13,9%. A granulometria do mastique da fracção n.º 4 foi obtida a partir da Figura 3, retirando os agregados que têm as maiores dimensões dessa fracção.

5. CONFIGURAÇÃO DOS ENSAIOS DE ADESIVIDADE DESENVOLVIDOS

Uma má ligação dos materiais, ou seja, uma má adesividade, origina essencialmente o arranque de materiais do pavimento, normalmente à super-

3. MISTURA BETUMINOSA ESTUDADA

Inicialmente, neste trabalho, definiu-se qual a mistura betuminosa a estudar, que teria de ser uma mistura betuminosa utilizada em Portugal, encontrar-se normalizada e ter funções no pavimento que a obrigassem a ter uma boa adesividade. Assim, seleccionou-se um betão betuminoso de desgaste especificado numa norma portuguesa (APORBET, 1998).

Nesta fase inicial do trabalho fez-se uma caracterização simples dos materiais a utilizar para o fabrico dos diversos provetes da mistura betuminosa a estudar. Como ligante usou-se um betume não modificado com uma penetração de 51 dmm e um ponto de amolecimento de 53°C (calculado pelo método de anel e bola). Determinou-se que o índice de penetração era igual a -0,43, o que significa que este betume tem uma susceptibilidade térmica alta, ou seja, as suas características alteram-se bastante com a mudança de temperatura.

Relativamente aos agregados utilizados, têm todos a mesma origem (foram obtidos de pedreiras existentes na região Norte de Portugal). O ensaio realizado na máquina de Los Angeles demonstrou que os agregados têm boas características de desgaste, sendo a perda por desgaste sempre inferior a 15%. A Figura 1 mostra a curva granulométrica dos agregados utilizados na mistura betuminosa de desgaste 0/14, indicada pela APORBET.

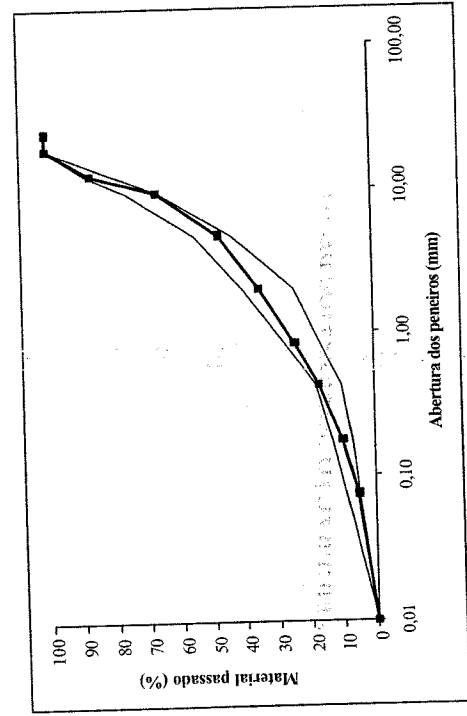


Figura 1 – Curva granulométrica usada na mistura betuminosa de desgaste (0/14)

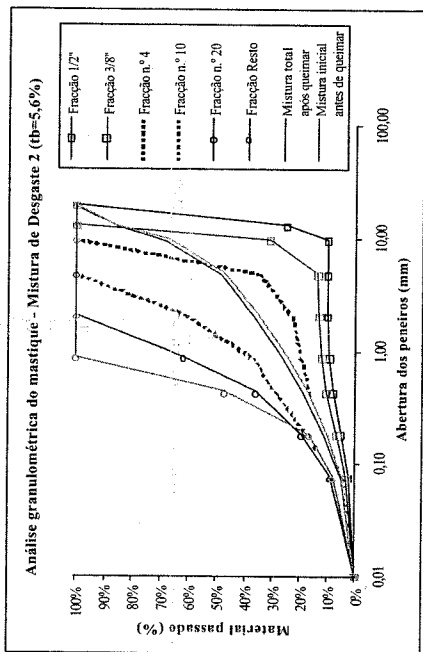


Figura 3 – Granulometria da mistura betuminosa de desgaste com teor em betume óptimo e das diversas fracções em que esta foi dividida

fície. No entanto, para que ocorra o arranque de materiais do pavimento, as misturas betuminosas têm de ser submetidas à acção do tráfego. As acções do tráfego que levam à perda de adesividade são semelhantes às que originam fadiga e deformações permanentes, embora surjam à superfície. Assim, a adesividade duma mistura betuminosa corresponde à resistência, à tracção e ao corte, da ligação entre o mastique e os agregados grossos.

Desta forma, optou-se por realizar dois ensaios de adesividade que avaliassem, respectivamente, a resistência à tracção e ao corte da zona de ligação entre os agregados grossos e o mastique. Isto permite medir a adesividade das misturas betuminosas em serviço, ou seja, a capacidade que a mistura betuminosa tem de impedir a separação entre os agregados e o mastique, quando sofre a acção do tráfego no pavimento. Os ensaios de adesividade devem ser de execução fácil e rápida, devendo adequar-se o mais possível ao funcionamento da mistura em serviço.

No ensaio de tracção decidiu-se utilizar um modo de carregamento directo e estático, sendo imposta uma deformação de tracção ao provete a uma velocidade reduzida (2 mm/min). No ensaio de corte utilizou-se igualmente um modo de carregamento directo e estático, sendo também imposta uma deformação de corte ao provete a uma velocidade reduzida (2 mm/min), com uma pressão de confinamento constante. Os provetes foram preparados com a composição

determinada no ponto 4 deste artigo, o que implica que os agregados grossos têm uma dimensão máxima de 12,5 mm.

Prepararam-se provetes para os ensaios de tracção com $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ e para os ensaios de corte com $5 \times 10 \times 5 \text{ cm}^3$. Inicialmente, foram preparados provetes com mistura betuminosa, para verificar se a rotura dos provetes ocorria em zonas de ligação entre o betume e os agregados (Figura 4). Observou-se que na maioria dos casos a rotura dos pequenos provetes ocorreu em zonas de interface entre o betume e os agregados, ou em zonas próximas desta. Desta forma, verificou-se que a configuração dos ensaios de tracção e de corte a desenvolver mede realmente a adesividade.



Figura 4 – Rotura característica dos provetes de adesividade

Para realização dos ensaios de adesividade na sua configuração definitiva (Figura 5 e 6) foram utilizadas as condições indicadas anteriormente, tendo sido

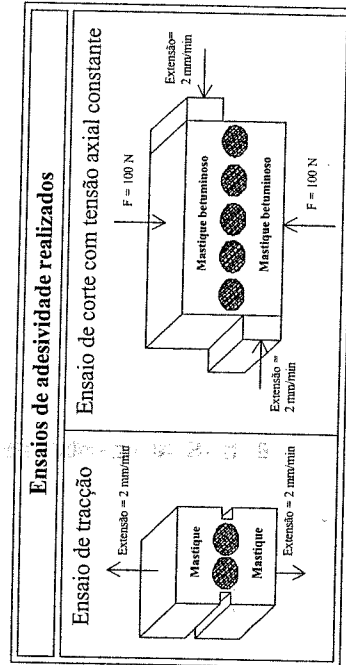


Figura 5 – Esquema representativo dos dois tipos de ensaios realizados (tracção e corte) para estudo da adesividade das misturas betuminosas

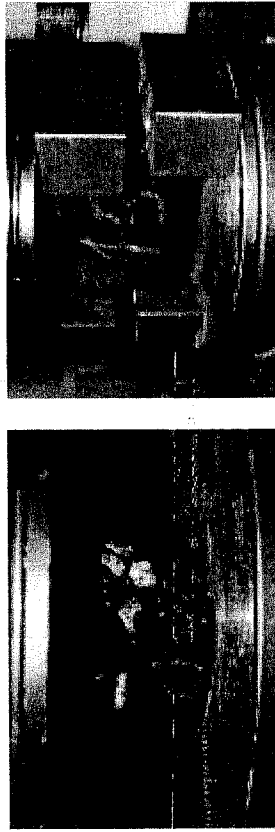


Figura 6 – Provetes utilizados nos dois tipos de ensaios realizados (tração e corte) para estudo da adesividade das misturas betuminosas

preparados uns provetes “especiais” para estudo da adesividade, realizados com camadas distintas de mastique betuminoso e de agregados grossos. A dimensão constante dos agregados grossos e a granulometria do mastique betuminoso basearam-se nos resultados da composição do mastique da fracção n.º 4 da mistura betuminosa de desgaste com teor em betume óptimo.

Os ensaios de adesividade foram utilizados para observar a influência do teor em betume do mastique no comportamento das misturas betuminosas, de modo a otimizar a composição do mastique e, por consequência, da mistura betuminosa. Com base no estudo de composição do mastique prepararam-se mastiques com teores em betume de 10,5, 13, 14 e 15%. Para cada teor em betume, fabricou-se uma quantidade suficiente de mistura betuminosa de modo a preparar 16 provetes para os ensaios de tração e 12 provetes para os ensaios de corte. Os provetes eram compostos por mastique e uma camada de agregado grosso a meia altura do provete. Os provetes foram ensaiados à tração e ao corte nas condições apresentadas na Figura 5, de modo a obter a resistência da ligação entre os agregados grossos e o mastique, ou seja, a adesividade. Assim, mediu-se a resistência à tração e ao corte das misturas com diferentes teores em mastique e, além disso, observou-se a forma de rotura dos provetes.

Também foram ensaiados alguns provetes totalmente preenchidos por mastique betuminoso, para se verificar se a perda de adesividade ocorria na interface ou se correspondia a uma rotura coesiva do mastique betuminoso. De facto, no caso da resistência do mastique betuminoso ser menor ou igual do que à resistência da interface (proвете com mastique e agregados), isto significa que a perda de adesividade se deve a uma rotura coesiva no mastique betuminoso, perto da zona de ligação aos agregados.

6. RESULTADOS

Na figura 7 pode observar-se os resultados característicos dos ensaios de adesividade em tração e em corte. Nos ensaios de adesividade em tração e em corte quase todos os provetes tiveram uma forma regular de rotura na área de adesividade, ou seja, na zona de ligação entre o mastique betuminoso e os agregados grossos. No entanto, alguns provetes tiveram uma rotura pela base, causada pela relativamente pobre compactação na parte inferior do provete.

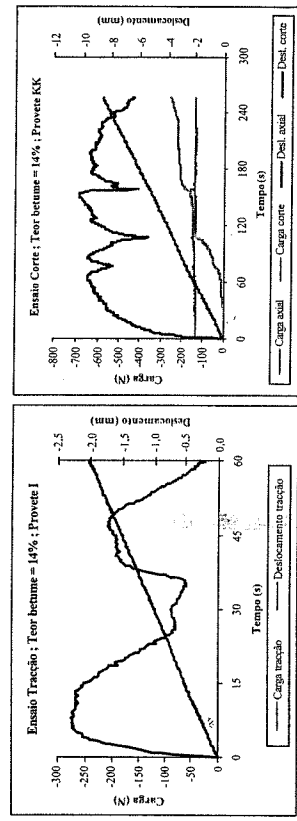


Figura 7 – Resultado característico dos ensaios de adesividade feitos em tração simples e em corte simples com tensão de confinamento constante

Nas Figuras 8 e 9 são apresentados os resultados finais, que correspondem à resistência de cada provete, em função do teor em betume. A linha de tendência foi obtida com base nos valores médios de resistência para cada teor em betume.

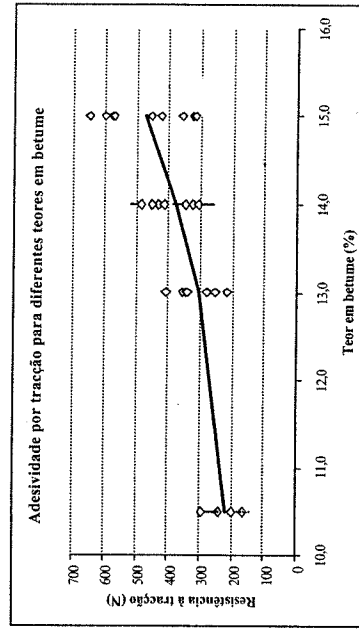


Figura 8 – Resultados finais dos ensaios de adesividade feitos em tração simples

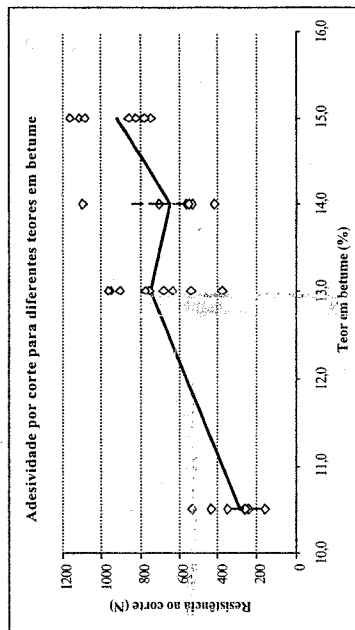


Figura 9 – Resultados finais dos ensaios de adesividade feitos em corte simples com tensão de confinamento constante

Relativamente aos ensaios realizados nos provetes totalmente preenchidos por mastique betuminoso, observou-se que a resistência destes era semelhante à dos provetes fabricados com camadas distintas de mastique e agregados. Isto poderá indicar que a perda de adesividade se deve a uma falha coesiva do mastique betuminoso, perto da interface com os agregados.

7. CONCLUSÕES

Este artigo apresenta os resultados dos ensaios de tracção e de corte desenvolvidos na Universidade do Minho para estudo da adesividade.

Relativamente aos procedimentos executados neste trabalho demonstraram ser uma boa opção para a caracterização da composição do mastique betuminoso. De facto, a falta de normalização e de trabalhos que permitam uma correcta caracterização da composição do mastique, justificou a pertinência deste trabalho. O método para caracterização do mastique mostrou ser reproduzível, permitindo, através de um processo rápido e de fácil observação, obter a composição do mastique.

Os ensaios de adesividade podem ser usados com bons resultados para a caracterização de misturas betuminosas, especialmente para caracterizar as forças de interacção entre os agregados grossos e o mastique betuminoso. Observou-se que a adesividade das misturas betuminosas aumenta com o

aumento do teor em betume, quer quando as misturas betuminosas estão sujeitas a acções de tracção que originam fendilhamento por fadiga quer quando estas se encontram sujeitas a acções de corte que originam deformações permanentes.

A validação do ensaio de adesividade demonstrou que esta configuração de ensaio origina a rotura na interface entre os agregados e o mastique betuminoso ou numa zona próxima da interface. Foram feitos alguns ensaios sobre provetes fabricados apenas com mastique betuminoso, que indicaram ser provável que a perda de adesividade se deva a uma falha coesiva do mastique numa zona próxima da interface com os agregados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] WHITEOAK, D. (1990) – *The Shell Bitumen Handbook*, Shell Bitumen, Surrey.
- [2] CURTIS, C. W.; ENSLEY, E. K. and ERSS, J. (1993) – *Fundamental Properties of Asphalt-Aggregate Interactions Including Adhesion and Adsorption*. SHRP-A-341. Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington D.C.
- [3] SCHOLZ, T. V. (1995) – *Durability of Bituminous Paving Mixtures*. Thesis submitted to the University of Nottingham for the degree of Doctor of Philosophy, Nottingham.
- [4] APORBET (1998) – *Misturas Betuminosas. Contribuição para a Normalização do Fabrico e Aplicação*, Lisboa.
- [5] SILVA, H.; PAIS, J. & PEREIRA, P. (2002) – “Evaluation of mastic in bituminous mixtures”. Paper presented in the 4th European Symposium of Performance of Bituminous and Hydraulic Materials in Pavements, Nottingham.