

CARACTERIZAÇÃO DE MISTURAS BETUMINOSAS RECICLADAS A FRIO – PROJETO COREPASOL

Fátima Alexandra Batista¹, Jan Valentin² e Konrad Mollenhauer³

¹ Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Transportes, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Portugal

email: xana@lnec.pt <http://www.lnec.pt/transportes/pt/>

² Universidade Técnica da República Checa em Praga, Departamento de Estruturas Rodoviárias, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, República Checa

³ Universidade de Kassel, Departamento de Transportes da Faculdade de Engenharia Civil e do Ambiente, Mönchebergstraße 7, D-34125 Kassel, Alemanha

Sumário

A reciclagem dos pavimentos in situ a frio assume-se como uma técnica particularmente atrativa do ponto de vista ambiental, pela efetiva redução da produção de resíduos e do consumo de matérias-primas que proporciona, aliado aos benefícios ao nível do consumo de energia. Porém, diversos fatores têm condicionado a sua utilização de forma mais generalizada, considerando-se oportuno a orientação, a nível Europeu, para as melhores práticas, métodos de formulação e caracterização, para o que se desenvolveu o projeto CoRePaSol. Nesta comunicação apresentam-se os principais resultados alcançados, bem como recomendações para uma abordagem harmonizada para a formulação dos materiais reciclados a frio.

Palavras-chave: Reabilitação de pavimentos, reciclagem a frio, métodos de formulação, caracterização de misturas recicladas a frio

1 INTRODUÇÃO

A conservação e reabilitação de forma sustentável da rede rodoviária existente constitui um dos grandes desafios dos nossos dias. Dentro das diversas técnicas de reabilitação disponíveis, a reciclagem dos pavimentos *in situ* a frio assume um lugar de destaque, pela efetiva redução da produção de resíduos e do consumo de matérias-primas que proporciona, aliado aos benefícios ao nível do consumo de energia e dos efeitos ambientais relacionados. Além disso, esta técnica afigura-se também com potenciais benefícios no que concerne à multi-reciclabilidade dos pavimentos reabilitados, ou seja, para a reciclagem de pavimentos já reciclados anteriormente, com as mesmas vantagens já referidas. Apesar disso, é ainda relativamente reduzida a quantidade de material recuperado dos pavimentos a reabilitar que é reutilizado através da reciclagem a frio. De facto, apesar de se tratar de uma técnica conhecida e de estar geralmente disponível, o estado da arte, a frequência de utilização, o tipo de materiais utilizados e o interesse público pela mesma diferem significativamente entre os diversos países europeus. Neste sentido, foi considerada necessária a harmonização da técnica de reciclagem a frio e orientação, a nível europeu, para as melhores práticas, métodos de formulação das misturas recicladas e sua caracterização. Para o efeito, e no âmbito do concurso do CEDR 2012 no domínio da “Reciclagem: Construção de estradas numa sociedade pós-combustível fóssil”, foi desenvolvido o projeto “CoRePaSol - Characterization of advanced cold recycling bitumen stabilized pavement solutions”, que teve início em 2013 e foi recentemente concluído. Este projeto foi coordenado pela Universidade Técnica da República Checa em Praga (CTU), e teve como parceiros, para além do LNEC, a Universidade de Kassel, a Universidade de Dublin (UCD) e a empresa Wirtgen.

O projeto CoRePaSol centrou-se essencialmente na harmonização dos métodos de formulação de misturas betuminosas a frio, em particular, das misturas recicladas. Neste âmbito, o principal objetivo do projeto foi o de desenvolver e recomendar um método de formulação das misturas recicladas a frio, que integrasse

procedimentos adequados para a sua caracterização, nomeadamente em termos dos métodos de compactação, procedimentos de cura acelerada em laboratório e ensaios de desempenho.

2 ASPETOS RELATIVOS À RECICLAGEM A FRIO

2.1 Práticas habituais

No âmbito do projeto CoRePaSol foi primeiramente efetuada uma pesquisa a nível internacional, especialmente nos países europeus, sobre a prática corrente na aplicação da reciclagem a frio de materiais recuperados do pavimento, complementada com uma revisão bibliográfica do estado da arte [1]. As principais conclusões alcançadas foram as seguintes:

- A maioria dos países realiza principalmente reciclagem a frio in-situ, por ser considerada de forma geral mais flexível e por proporcionar maior economia de tempo/custos;
- Em geral, a reciclagem a frio pode ser aplicada abrangendo uma vasta gama de camadas do pavimento, desde camadas granulares de sub-base até camadas betuminosas à superfície. Assim, o material betuminoso recuperado (RA – Reclaimed asphalt) pode incluir uma grande variedade de materiais.
- A grande maioria dos materiais reciclados a frio é aplicada em camadas de base ou de ligação;
- Em relação aos ligantes betuminosos, são utilizadas emulsões betuminosas (geralmente não utilizadas na Finlândia, Noruega e Suécia) e espumas de betume (não utilizadas em Portugal e Espanha);
- Como ligantes secundários, pode ser utilizado cimento e cal hidratada (não utilizados na Finlândia e Suécia), ou mesmo outros aglutinantes minerais (cinzas volantes, fíleres calcários, escórias);
- São também frequentemente utilizados materiais corretivos (correntemente usados para ajustar a curva granulométrica): agregados naturais (p. ex. britas, fíleres) e/ou outros fíleres (p. ex. cimento, cal);
- Alguns países relatam o uso de aditivos, tais como: promotores da formação de espuma, promotores de adesividade e/ou cinzas volantes.

2.2 Materiais usados e composições típicas

No que concerne às características das misturas betuminosas recuperadas (RA), verifica-se que, de forma geral, existem requisitos para a sua granulometria ou mesmo para a composição final da mistura de material granular (RA e eventualmente outros agregados). Em Portugal, o Caderno de Encargos Tipo Obra (CETO) da ex-EP [2] estabelece dois fusos granulométricos distintos para o material betuminoso recuperado, sendo um recomendado para aplicação em camadas recicladas com espessuras superiores a 10 cm e o outro para espessuras inferiores (tipicamente entre 6 e 10 cm) (Fig. 1a). Num manual desenvolvido pela Wirtgen [3] são recomendados fusos para a mistura do material granular a reciclar com emulsão betuminosa ou com espuma de betume (Fig. 1b).

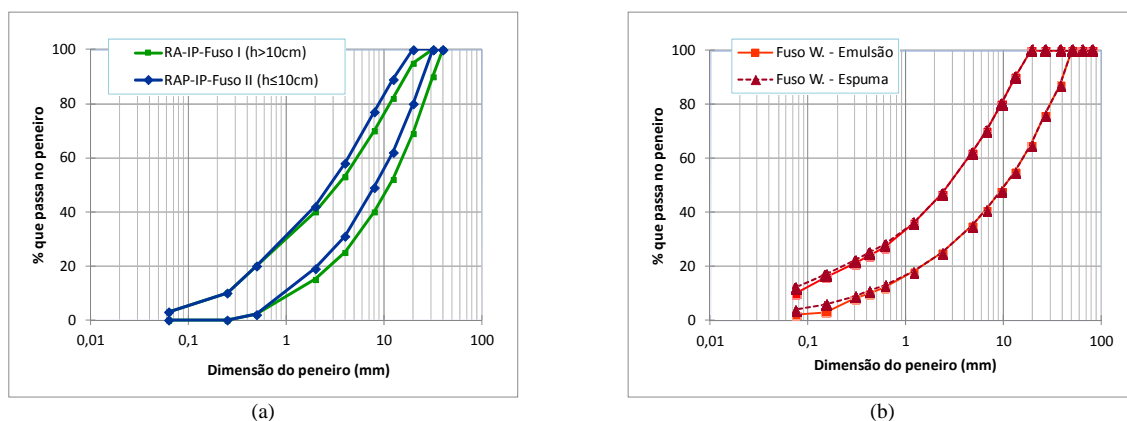


Fig.1. Fusos granulométricos recomendados para: (a) Material betuminoso recuperado (CETO, 2014); (b) material granular, incluindo RA (Wirtgen, 2012)

Em relação aos ligantes habitualmente utilizados, observa-se que:

Ligantes betuminosos

- Emulsão betuminosa: As mais usadas são as emulsões de rotura lenta (C60B5), mas podem ser usadas outras (p. ex. nalguns países, como seja a Noruega, são permitidas emulsões de rotura média com betumes modificados).
- Espuma de betume: Pode ser usada uma vasta gama de betumes (50/70; 70/100; 100/150; 160/220) na produção de espuma. As condições climáticas têm uma grande influência nessa seleção (países do Sul usam betumes mais duros e os do Norte mais moles).

Ligantes hidráulicos

- Cimento: A maioria dos países exige a utilização de cimento Portland (CEM I) na reciclagem a frio. Para percentagens de cimento mais elevadas, é aconselhável a utilização de uma classe de baixa resistência (menor calor de hidratação) por forma a diminuir o risco de fendilhamento. Assim, é usual serem recomendados cimentos de classe de resistência 32.5. No entanto, os cimentos do tipo CEM I 32.5 não estão disponíveis na maioria dos países, sendo substituídos por cimentos Portland com classe de resistência 42.5 (CEM I 42.5) ou, em alternativa, Cimentos Portland de escória ou de calcário (CEM II 32.5).
- Ligantes hidráulicos especiais para fins rodoviários: Alguns países, como sejam a República Checa e a Alemanha, têm especificações para outros ligantes hidráulicos, que não cimento, a serem utilizados na construção rodoviária (p. ex. cal ou HRBs, com classe de resistência 32.5 ou menor).

Quanto às composições adotadas para o fabrico das misturas recicladas a frio, verifica-se que existem diferenças significativas entre os países europeus em função da sua distribuição geográfica. Assim, em países da Europa Central é habitual a utilização de ligante betuminoso combinado com percentagens relativamente elevadas de ligante hidráulico ($\approx 3-5\%$), enquanto que em países do Sul da Europa, como seja o caso de Portugal e Espanha, é mais habitual utilizar-se apenas emulsão betuminosa ou emulsão combinada com baixa percentagem de ligante hidráulico ($<1,5\%$). Alguns países do Norte da Europa não usam cimento, uma vez que a natureza flexível dos pavimentos com capacidade de suportar ciclos de gelo-degelo no inverno exige camadas de base flexíveis, sem propriedades rigidificantes introduzidas por ligantes hidráulicos.

Conclui-se que o uso de ligantes betuminosos com conteúdos moderados/altos de cimento está relacionado com condições climáticas de temperaturas baixas e humidade relativamente elevada. Os ligantes hidráulicos são assim, utilizados para, no seu processo de hidratação, usarem a água presente na mistura reciclada, combinado com a oportunidade de usar a reciclagem a frio para aumentar a capacidade de carga das camadas de base/ligação. De outra forma, sobretudo em regiões húmidas, as camadas recicladas não teriam oportunidade de eliminar a água e de ganharem resistência. Em climas mais secos e moderados é geralmente permitida a eliminação da água presente na camada reciclada por evaporação, sem ser necessário a utilização de ligantes hidráulicos. Em Portugal, por exemplo, verifica-se que em obras realizadas no Verão na região Sul, ou seja, em condições meteorológicas favoráveis para promover a cura das misturas a frio, é habitual o teor em água das camadas estabilizar em cerca de 1-2% após 2/4 semanas da sua colocação em obra (Fig. 2) [4]. Durante este período, há no entanto que garantir que a camada sobrejacente não é colocada, a fim de permitir a evaporação da água da mistura reciclada a frio.

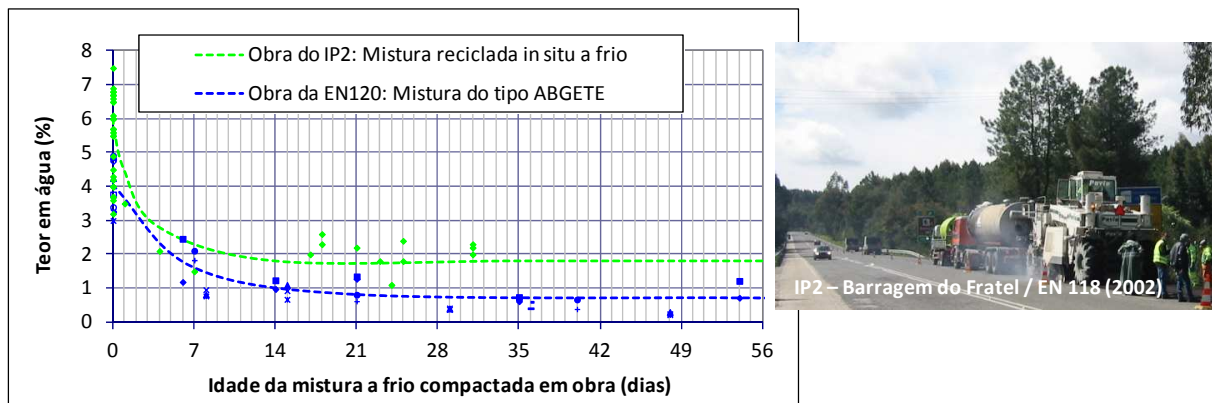


Fig.2. Evolução do teor em água de misturas a frio em obras realizadas no verão, em Portugal

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Da análise das diferentes práticas dos países Europeus em relação à reciclagem a frio, foram identificados os seguintes aspetos-chave para investigação mais detalhada:

- Comparação entre métodos de compactação.
- Avaliação dos processos de cura, nomeadamente em termos de duração, temperatura e humidade.
- Avaliação das características e do desempenho das misturas recicladas a frio.

Para este efeito, foi estabelecido um vasto programa experimental [5], apresentando-se sucintamente nas secções que se seguem alguns dos estudos efetuados, bem como as principais recomendações daí resultantes.

3.1 Influência dos métodos de compactação nas características dos provetes

Para a compactação de misturas a frio usa-se, na maioria dos países Europeus, quer a compactação estática quer a giratória, devido à importância que a pressão hidrostática tem neste tipo de misturas. A compactação estática é um método relativamente simples, que é usado em países como a Alemanha, Espanha, França (juntamente com o compactador giratório), Noruega, Portugal, República Checa, *etc.* O compactador giratório é também correntemente usado em países como França, Irlanda e Noruega. Em ambos os tipos de compactação, o conjunto de moldagem deve permitir o escoamento da água durante a aplicação da carga (Fig.3).

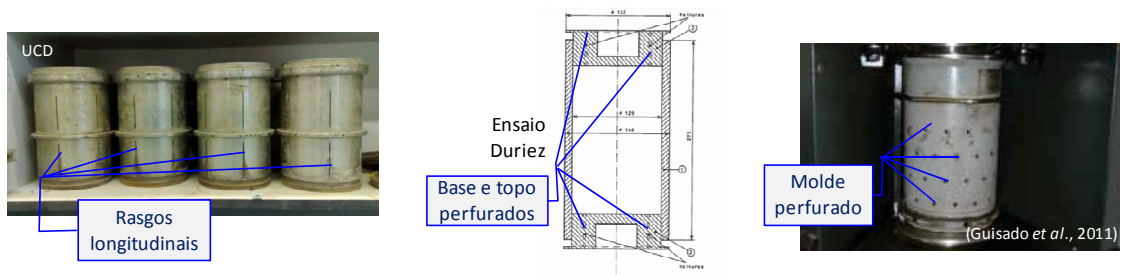


Fig.3. Exemplos de diferentes tipos de conjuntos de moldagem usados na compactação de materiais a frio

No entanto, estes tipos de compactação são realizadas de forma diferente de país para país, nomeadamente, quanto à carga aplicada, à dimensão dos provetes, ao número de rotações, entre outros. Com vista a avaliar a importância das diferenças encontradas, foram elaborados diversos estudos experimentais, dos quais se apresentam dois.

Num estudo desenvolvido no LNEC, avaliou-se a influência da carga de compressão em compactação estática (baseada na ASTM D 1074 / NLT 161), aplicando a carga normalizada (21 MPa) ou uma carga inferior

(7.5 MPa). As misturas utilizadas neste estudo foram fabricadas com material proveniente da fresagem das camadas superiores de uma Estrada Nacional e uma emulsão catiónica de rotura lenta C60B5 (com percentagens variáveis, entre 3% e 5%). A análise dos resultados alcançados (Fig. 4) permitiu concluir que apenas para os provetes compactados a uma pressão de compactação mais reduzida (7,5 MPa) se obtinham porosidades da ordem de grandeza das habitualmente obtidas em obra para o mesmo tipo de camadas, as quais se situam geralmente entre os 8% e 14%. Acresce que quando se utilizou a carga de compressão de 7,5 MPa foi possível distinguir as três misturas em termos da sua porosidade, tendo-se obtido, valores superiores para as misturas com menor conteúdo em ligante (CM E3) e inferiores para as misturas com conteúdo superior em ligante (CM E5). Estes resultados estão de acordo com estudos de investigação realizados anteriormente em Portugal [7] e em Espanha [8].

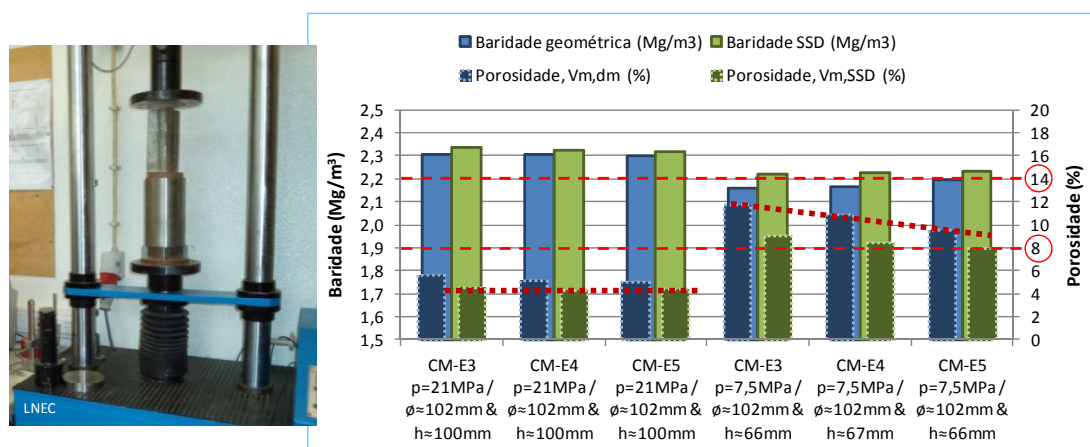


Fig.4. Características de provetes compactados em compressão estática com 21 MPa e com 7,5 MPa

Num outro estudo, levado a cabo na CTU, avaliou-se a influência de diferentes métodos de compactação nas características dos provetes obtidos. Este estudo incluiu a compactação estática (segundo a TP208, com uma pressão de 5 MPa), a compactação por impacto/Marshall (75 pancadas em cada face) e com o compactador giratório (pressão de 600 kPa e 900 kPa e as rotações de 40, 60 e 80), apresentando-se na Fig.5 alguns dos resultados aí obtidos. Neste estudo verificou-se que foi na compactação Marshall que se registou a maior variabilidade da baridade dos provetes moldados com uma mesma mistura, atingindo por vezes valores significativamente superiores aos limites estabelecidos. Assim, foi considerada adequada a compactação estática com uma pressão de 5 MPa (segundo a TP208), e desadequada a compactação Marshall.

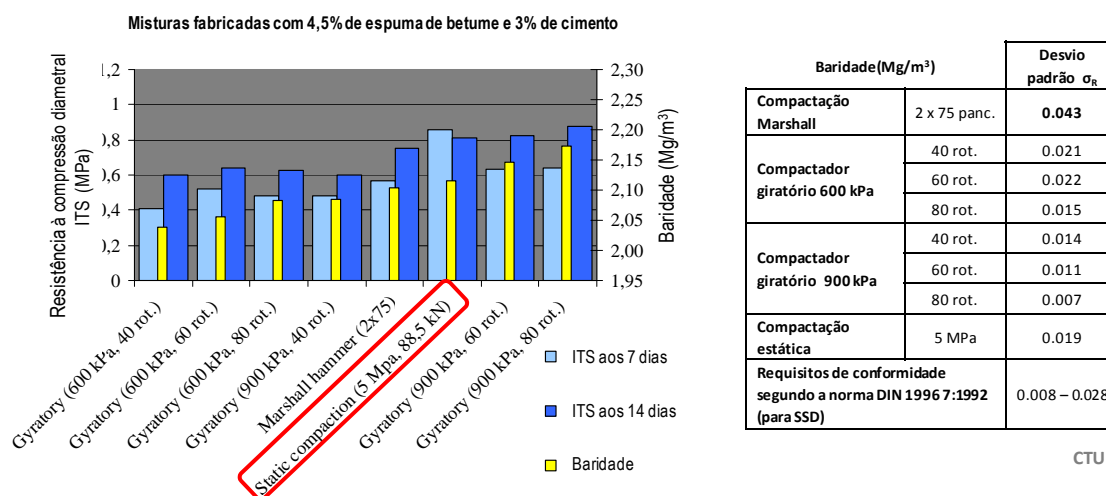


Fig.5. Características de provetes compactados com diversos métodos de compactação

3.2 Influência dos processos de cura nas propriedades relacionadas com o desempenho

Existem diferenças significativas entre os procedimentos de cura adotados pelos diversos países, nomeadamente, em termos de: número de dias, variando entre 3 e 28 dias (sendo o mais frequente 7 e 14 dias); temperatura de acondicionamento (5 °C – 50 °C, passando por cerca de 20 °C); e humidade relativa durante o condicionamento (podendo variar entre 40% e 100% -provetes selados- ou mesmo não ser especificada). Os tempos de cura especificados de 7, 14 e 28 dias estão por norma relacionados com os tempos de cura habitualmente utilizados para materiais com cimento.

Num estudo efetuado no LNEC avaliou-se o desempenho de misturas recicladas com 3%, 4% e 5% de emulsão (CM-E3, CM-E4 e CM-E5) e nalguns casos também com 1% ou 2% de cimento (CM-E3C1, CM-E4C1, CM-E5C1 e CM-E4C2), submetidas a diferentes condições de cura. Nas Fig.6 e 7 representam-se graficamente os resultados obtidos em ensaios de tração indireta (ITS) (EN 12697-23) e obtidos em ensaios de avaliação da resistência à deformação permanente (EN 12697-22) e da sensibilidade à água (EN 12697-12).

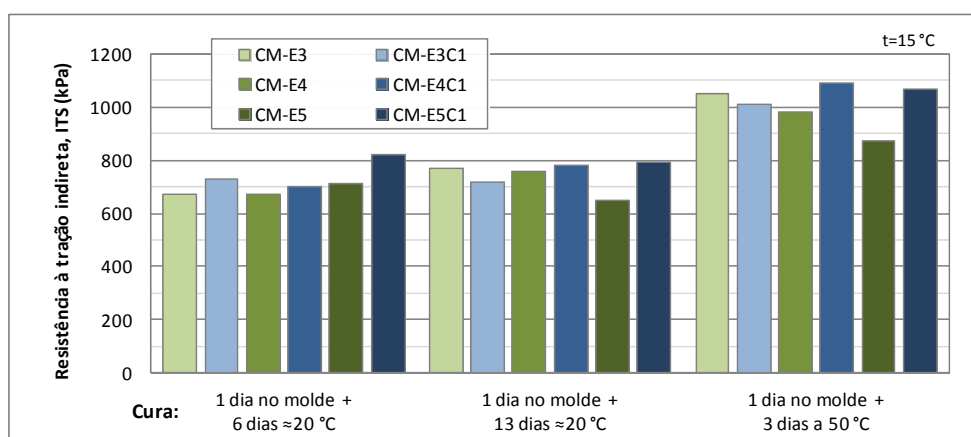


Fig.6. Resistência à tração indireta de misturas recicladas com emulsão com diferentes curas

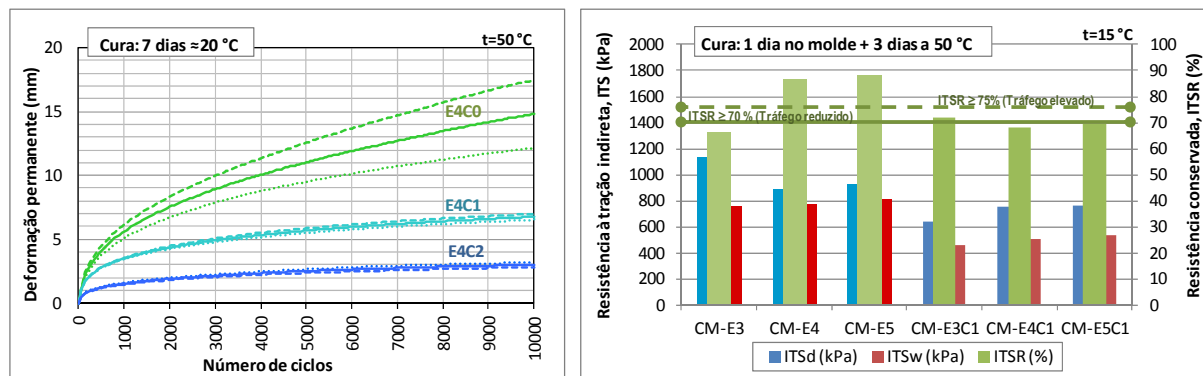


Fig.7. Resistência à deformação permanente e avaliação da sensibilidade à água de misturas recicladas com emulsão eventualmente em combinação com cimento

Da análise dos resultados obtidos verificou-se que:

- Em geral, para as misturas fabricadas apenas com emulsão, os valores de ITS aumentam de idades mais jovens até idades mais avançadas, quando acondicionados à temperatura ambiente (7 a 14 dias). Já as misturas com emulsão e 1% de cimento têm valores de ITS semelhantes para 7 e 14 dias de cura. Conclui-se que mesmo pequenas quantidades de cimento (que requerem períodos de hidratação relativamente longos para ganhar resistência) podem alterar o processo de cura das misturas.

- Nos ensaios de avaliação da resistência à deformação permanente realizados para misturas relativamente jovens (7 dias de cura à temperatura ambiente), verificou-se que a adição de cimento conduziu a melhores desempenhos.
- Todas as misturas registaram maiores valores de ITS após cura acelerada (3 dias a 50 °C). Para este tipo de cura, o efeito do cimento no comportamento das misturas não é claro, obtendo-se tendências diferentes nos diversos ensaios realizados.

Num outro estudo realizado na CTU, avaliou-se a influência de diferentes processos de cura utilizados em diversos países europeus, na resistência e rigidez de misturas recicladas com espuma de betume (F), emulsão (E), ou a combinação destes com 3% de cimento (C) (Fig.8).

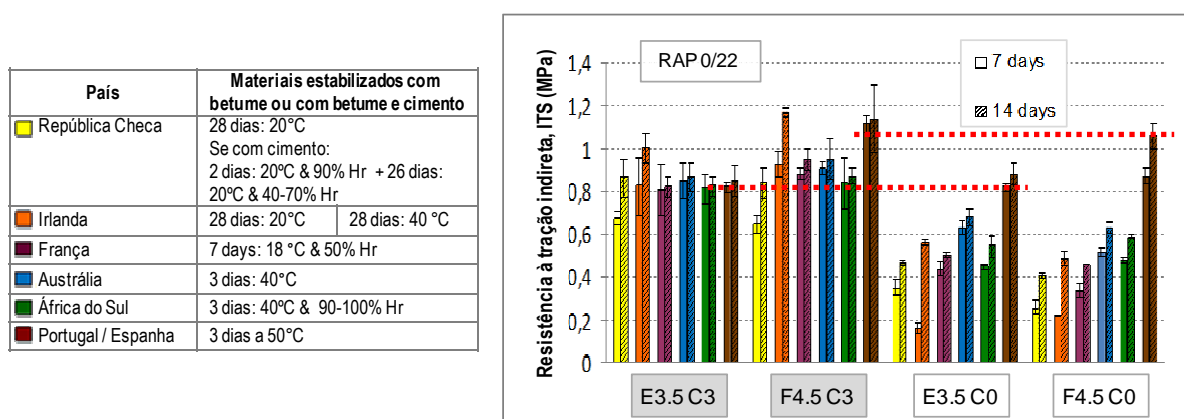


Fig.8. Resistência à tração indireta de misturas recicladas e submetidas a diferentes processos de cura

As principais conclusões extraídas deste estudo foram as seguintes:

- Os procedimentos de cura de cada país estão fortemente relacionados com o tipo de mistura reciclada a frio (tipo e conteúdo de ligante) geralmente produzida e com as condições climáticas
- Tal como era expectável, obtiveram-se, para os diferentes tempos de cura, valores mais elevados de resistência para as misturas com cimento, com exceção de quando foi utilizado o processo de cura acelerado com uma temperatura de acondicionamento relativamente elevada (3 dias @ 50 °C). Este facto, comprovou mais uma vez que a cura ao ar a uma temperatura elevada não simula de forma adequada a cura de misturas com cimento, que na realidade são protegidas por forma a permitir a hidratação do cimento.

4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

4.1 Materiais reciclados a frio

Os países europeus têm diferentes abordagens quanto às práticas de reciclagem de frio, sendo aplicada uma vasta gama de conteúdos de ligante ou de combinações entre diferentes ligantes. Grilli *et al.* (2012) [9] classificou os materiais fabricados a frio em função do seu conteúdo em ligantes betuminosos e hidráulicos. No âmbito do projeto CoRePaSol adotou-se esta classificação, tendo complementarmente sido definido um tipo de material reciclado frequentemente utilizado na Alemanha, na República Checa e nalguns outros países para a reciclagem de material recuperado contaminado com alcatrão, que requer a sua selagem para poder ser aplicado novamente numa camada do pavimento, exigindo portanto um aumento do conteúdo em ligante betuminoso. No Quadro 1 sintetiza-se a classificação recomendada para cada tipo de material reciclado a frio, em função do seu conteúdo em ligante betuminoso (betume residual) e em ligante hidráulico.

Quadro 1. Tipos de materiais reciclados a frio

Material reciclado a frio	Acrónimo	Percentagem residual em betume adicionado	Percentagem em ligante hidráulico
Não ligado (granular)	U	0 %	0 %
Estabilizado com cimento	CS	0 %	1 a 6 %
Betão pobre	LC	0 %	≥ 6 %
Material estabilizado com betume	BSM	1 a 3 %	≤ 1 %
Material estabilizado com betume e com cimento	BCSM	1 a 3 %	1 a 3 %
Mistura betuminosa a frio	CAM	≥ 3 %	0 %
Material reciclado a frio selado (e.g. Selagem de alcatrão na Alemanha)	SCRM	3 a 6 %	1 a 6 %

4.2 Princípios para a formulação das misturas recicladas a frio

Tendo em atenção os vários estudos realizados, bem como as normas e especificações existentes, os equipamentos geralmente disponíveis, são propostos os seguintes 6 passos para a formulação dos materiais reciclados a frio:

1º passo: Avaliar a adequabilidade do material recuperado como mistura granular: distribuição granulométrica, percentagem de betume, teor em água

Relativamente aos requisitos granulométricos, devem ser exigidos os seguintes valores:

- percentagem de fíler (< 0.063 mm): 4 – 10 %;
- percentagem de finos (< 2 mm): 15 % – 40 %.

2º passo: Selecionar o tipo de ligante (emulsão betuminosa, espuma de betume, ligante hidráulico) e, em caso disso, otimização da espuma de betume.

3º passo: Determinar o teor ótimo em água para fins de compactação e a baridade referência

A compactação segundo o Proctor modificado é a mais aplicada internacionalmente. No entanto, por vezes são relatadas algumas limitações a este método, principalmente para conteúdos em ligante relativamente elevados.

Existem outros métodos de compactação alternativos (p. ex. compactação com o giratório / estática) que podem ser mais viáveis para este efeito, sendo, em consequência, um domínio a aprofundar em futuros estudos.

4º passo: Preparação da mistura e compactação dos provetes

Após o fabrico da mistura em laboratório é necessário compactar os provetes. Consideram-se métodos adequados de compactação os seguintes:

- Compactação com o giratório com base na norma EN 12697-31 (adaptada para misturas a frio: p. ex. moldes perfurados, não sendo necessário aquecer os materiais).
- Compactação estática de duplo efeito com tensão de compressão de 5,0 – 7,5 MPa, em função do tipo de equipamento, do processo de aplicação da carga (p. ex. velocidade de aplicação), entre outros.

De referir que, em relação a este tipo de compactação, foi já efetuada uma proposta ao CEN para que fosse elaborada uma norma europeia que incluísse a compactação estática de duplo efeito, adaptada de outras normas cujos procedimentos são utilizados em países como a

Alemanha (DIN 1048), a Republica Checa (TP 208), Portugal e Espanha (ASTM D 1074 / NLT 161).

5º passo: Cura dos provetes

Para simular a evolução do comportamento das misturas em obra (resistência, deformabilidade,...) é necessário adotar em laboratório um processo de cura adequado.

Dos estudos comparativos efetuados, recomenda-se os seguintes processos de cura para provetes desmoldados 1 dia após a compactação:

- Materiais estabilizados com betume, BSM (cimento \leq 1%): cura ao ar, a 50°C, durante 3 dias (cura acelerada, simulando cerca de 21 dias em obra);
- Materiais estabilizados com betume e com cimento, CBSM e SCRUM (cimento $>$ 1%): cura ao ar, à temperatura ambiente, durante 14 dias.

6º passo: Ensaio mecânicos

Devem ser avaliadas as seguintes características mecânicas:

- Resistência à tração indireta;
- Sensibilidade à água.

Em função do tipo de mistura reciclada a frio e das especificidades próprias da estrada a ser reabilitada (p. ex. características do tráfego, ...), deverão ser avaliadas outras propriedades relacionadas com o desempenho, como sejam a rigidez da mistura, a sua resistência à deformação permanente, entre outras.

Com o objetivo de permitir futuras comparações e partilha de experiências adquiridas, deve-se ainda, dentro das etapas propostas, reduzir a variedade de procedimentos de ensaio utilizados, bem como dos parâmetros obtidos.

Adicionalmente, fazem-se as seguintes recomendações relativamente à aplicabilidade dos diferentes tipos de materiais reciclados a frio:

- Materiais estabilizados com betume, BSM (cimento \leq 1%)
 - aplicável, usando espuma de betume, em pavimentos flexíveis de climas frios;
 - aplicável, usando emulsão betuminosa, em climas secos;
 - não aplicável em climas húmidos se usando emulsão betuminosa.
- Materiais estabilizados com betume e com cimento, CBSM (cimento $>$ 1%)
 - aplicável em climas húmidos;
 - adequado para proporcionar maior resistência em idades jovens/ maior capacidade de carga.

4.3 Considerações finais

Os países europeus têm diferentes abordagens quanto às práticas de reciclagem de frio, que estão fortemente relacionadas com o tipo e quantidade de ligante utilizado. As referidas diferenças podem resultar de:

- Diferenças importantes nas condições climáticas: p. ex. regiões húmidas requerem o uso de maiores quantidades de cimento;
- Razões geográficas e históricas: p. ex. a reciclagem de misturas com alcatrão exige o uso de percentagens elevadas de ligante betuminoso, a fim de assegurar um revestimento completo das partículas do material recuperado contaminado.

Com base nos diversos estudos desenvolvidos no âmbito do projeto CoRePaSol, estabeleceram-se e recomendam-se princípios para a formulação de materiais reciclados a frio, com base em 6 passos. Com estes princípios estão dados os primeiros passos na construção de uma futura especificação harmonizada das misturas recicladas a frio.

5 AGRADECIMENTOS

Esta comunicação foi elaborada no âmbito do projeto CoRePaSol, que integrou o Programa de Investigação Transnacional Rodoviário do CEDR resultante da chamada de 2012 ("CEDR Transnacional Road Research Programme - Call 2012"). O referido Programa foi financiado pelas Administrações Rodoviárias da Bélgica, Dinamarca, Finlândia, Alemanha, Irlanda, Holanda, Noruega, Suécia e reino Unido.

Os autores gostariam ainda de agradecer a todos aqueles que contribuíram para o projeto, nomeadamente, às empresas Infraestruturas de Portugal, S.A. (ex-EP) e CEPESA Portuguesa Petróleos, S.A. pelo fornecimento, respetivamente, das misturas betuminosas recuperadas e das emulsões betuminosas utilizadas nos estudos experimentais realizados no LNEC.

6 REFERÊNCIAS

1. Batista, F.; Valentin, J.; Čížková, Z.; Valentová, T.; Simnofske, D.; Mollenhauer, K.; Tabakovic, A.; McNally, C.; Engels, M., *Report on available test and mix design procedures for cold-recycled bitumen stabilised materials*, Relatório (Deliverable D1.1) do projeto CoRePaSol, 85p., 2014.
2. EP, *Caderno de Encargos Tipo Obra*, Volume V.03 – Pavimentação – Capítulo 14.03, Estradas de Portugal, S.A., 2014.
3. Wirtgen GmbH, *Manual sobre "Cold Recycling"*, Wirtgen Cold Recycling Technology, 1st edition, Germany, 2012.
4. Batista, F.A.; Antunes, M.L., *Desempenho de misturas betuminosas recicladas a frio*, Comunicações em CD-ROM do Seminário Pavimentos Rodoviários "Verdes", Centro Rodoviário Português, 25p., Lisboa, 2006,
5. Batista, F.; Valentin, J.; Mollenhauer, K.; McNally, C.; Engels, M.; Suda, J.; Čížková, Z.; Simnofske, D., *Report on harmonised mix design procedure: Recommendations for mix design procedure, mixing and applicable methods*, Relatório (Deliverable D1.2) do projeto CoRePaSol, 143p., 2015.
6. Guisado, F., Santiago, J.L., Páez, A., Ayala, M., *Influencia de la temperatura de mezcla en las propiedades mecánicas de los reciclados en frío con emulsión*, Asfalto & Pavimentación No. 2, pp.31-39, 2011.
7. Batista, F.A.; Antunes, M.L., *Asphalt Cold Mixtures for Pavement Rehabilitation: Curing and Mechanical Characteristics*, Atas do "7th International Conference on the Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields", Trondheim, Norway, CD-ROM, Paper 160, 10p., 2005.
8. Martínez, A., Miró, R., Pérez, F., *Spanish experience with the application of gyratory compactor and indirect tensile test in design and control of cold recycled asphalt pavement*, Annual Meeting of the Transportation Research Board, Transportation Research Record, no. 2001, pp. 163 168, 2007.
9. Grilli, A.; Graziani, A.; Bocci, M., *Compactability and Thermal Sensitivity of Cement-Bitumen Treated Materials*. Road Materials and Pavement Design, Vol. 13(4), pp. 599-617, 2012.