

Caracterização da Ligação entre Betões de Idades Diferentes



**Miguel Lavouras
Mendes¹**



**António da Silva
Costa²**

RESUMO

O trabalho que se apresenta insere-se na área de estudo do comportamento do betão estrutural, em particular da reparação e/ou reforço de estruturas com adição de material, e tem como objectivo a caracterização da ligação entre betões de idades diferentes [1].

Em termos gerais, procedeu-se à análise do comportamento da ligação entre betões de idades diferentes, através da avaliação de diferentes mecanismos de transferência de tensões de corte ao longo da interface, e de alguns parâmetros que condicionam esses mecanismos.

A análise efectuada baseou-se no desenvolvimento de um programa experimental, constituído por um conjunto de 40 provetes, ensaiados ao corte até à rotura, tendo sido estudados os mecanismos da adesão, do atrito e do efeito de costura. No estudo destes mecanismos, foi dada particular atenção ao tipo de preparação de superfície e, no caso do efeito de costura, à quantidade de armadura transversal à interface.

As preparações de superfície foram aplicadas sobre o betão endurecido, e a colocação das armaduras de costura ocorreu por furação dos provetes e selagem dos varões com um produto de colagem estrutural, de acordo com a generalidade das intervenções de reforço de estruturas. Dado que as propriedades dos materiais envolvidos assumem particular importância na resistência da ligação entre os betões, procedeu-se à realização de ensaios de caracterização dos materiais.

Com base nos resultados obtidos, procedeu-se à análise da adequabilidade da regulamentação existente nesta matéria.

PALAVRAS-CHAVE

Ligação ao Corte; Interface; Adesão; Atrito; Efeito de Costura

¹ Mestre em Engenharia de Estruturas pelo Instituto Superior Técnico, Portugal. mlavourasmendes@sapo.pt

² Professor Auxiliar do Instituto Superior Técnico, doutorado em Engenharia Civil pelo Instituto Superior Técnico, acosta@civil.ist.utl.pt

1. INTRODUÇÃO

A ligação entre betões consiste numa temática transversal à actividade da construção, assumindo grande importância tanto ao nível da nova construção como na intervenção sobre estruturas existentes: no primeiro caso, um exemplo é a prefabricação ou a associação de peças prefabricadas com peças moldadas no local; no que se refere às intervenções sobre estruturas existentes, esta temática assume particular importância, sobretudo a partir do final do século XX, com o crescimento do número de intervenções de reparação e/ou reforço em estruturas de betão armado.

Em qualquer dos casos apresentados, as peças resultantes são geralmente designadas na literatura por peças compostas ou peças compósitas de betão armado. No seu dimensionamento, o objectivo deverá passar pela obtenção de um funcionamento homogéneo entre os materiais, pelo que o comportamento da ligação surge como factor fundamental para a viabilidade da solução preconizada.

Numa ligação ao corte betão-betão, existem essencialmente três mecanismos de transferência de tensões de corte ao longo da interface: Adesão (“Adhesion”), Atrito (“Friction”) e/ou Efeito de Costura (“Clamping Effect”) e Efeito de Ferrolho (“Dowel Action”).

A Adesão é um mecanismo de natureza física e química, sendo sobretudo condicionada pela rugosidade da superfície de contacto, pelo método de aplicação do betão novo e pela utilização de produtos de colagem estrutural. Em termos de dimensionamento, a sua contabilização é em geral efectuada através de uma percentagem da resistência à tracção do betão mais fraco envolvido na ligação.

O Atrito e o Efeito de Costura são explicados pela Teoria “Aggregate Interlock” [2], que refere que a transmissão de forças através de uma fenda/interface tem lugar em numerosas áreas de contacto, entre as partículas de agregados de uma face e a matriz de cimento da outra face. Para demonstrar esta ideia, foi utilizado um modelo que assentava na hipótese de o betão ser constituído, de uma forma genérica, por uma matriz de cimento que envolve os agregados, os quais apresentam em geral maior resistência e rigidez que a própria matriz. O ponto fraco do conjunto situa-se na zona de contacto entre as partes pelo que a fendilhação ocorre na matriz de cimento, mas ao longo da periferia dos agregados.

Uma das conclusões fundamentais deste estudo, com aplicação prática directa, resulta da importância da resistência do betão para o mecanismo de atrito. De facto, se a transferência de tensões ocorre no contacto entre os agregados de uma das faces e a matriz de cimento da outra face, é natural que as características desses elementos apresentem uma importância acrescida. Esta dependência está traduzida na expressão sugerida no Model Code 1990 [3] como representativa destes mecanismos:

$$\tau_{fu,d} = 0,40 f_{cd}^{\frac{2}{3}} (\sigma_{cd} + \rho f_{yd})^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

Nesta expressão, σ_{cd} toma o valor de cálculo da tensão de compressão sobre a interface, f_{cd} é o valor de cálculo da resistência à compressão do betão, referida a provetes cilíndricos, f_{yd} representa o valor de cálculo da tensão de cedência do aço da armadura transversal à interface e ρ é a percentagem mecânica de armadura transversal à interface.

Por fim, o Efeito de Ferrolho ocorre quando um varão que atravessa uma fenda/junta e é sujeito a um deslocamento de corte, introduz um estado de tensão triaxial no betão envolvente, que facilmente poderá ultrapassar a resistência do betão, originando um aumento da excentricidade da ligação. Este mecanismo depende de um conjunto de factores, como a qualidade do betão, a resistência do aço, a geometria e excentricidade da ligação, estando no entanto, fora do âmbito deste trabalho.

Em termos de dimensionamento, verifica-se que a generalidade das disposições regulamentares existentes para este assunto se encontra dirigida para casos de aplicações que não o reforço estrutural,

nomeadamente casos de estruturas prefabricadas e de juntas de construção. Este facto apresenta grande relevância, visto que no caso do reforço estrutural, qualquer tipo de preparação de superfície terá de ser efectuado sobre uma interface de betão endurecido, enquanto que nos restantes casos tal não se verifica.

Relativamente ao procedimento de cálculo das tensões actuantes, considera-se que o mesmo poderá ser efectuado considerando um comportamento linear ou não linear do betão. Em termos de conceito, numa verificação de estado limite último, faria sentido considerar um comportamento não linear. No entanto, a distribuição de tensões numa interface entre dois betões apresenta uma variabilidade elevada, devido ao elevado número de parâmetros envolvidos, e apresenta ao mesmo tempo uma evolução ao longo do tempo, devido às características reológicas dos materiais, ao nível e tipologia do carregamento e à degradação da própria estrutura. Por tudo isso, e sempre que possível, mais importante do que encontrar o melhor procedimento para a determinação da tensão actuante, é a adopção de uma pormenorização da ligação que garanta um determinado nível de ductilidade, sendo que essa ductilidade é em geral conseguida através do uso de armadura transversal, e não na resistência ao corte do betão.

Para o cálculo das tensões resistentes, poderá seguir-se a expressão que consta no Eurocódigo 2 [4]:

$$v_{Rd} = c f_{ctd} + \mu \sigma_n + \rho f_{syd} (\mu \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0.5 v f_{cd} \quad (2)$$

Nesta expressão, c e μ são coeficientes que dependem da rugosidade da superfície, f_{ctd} é o valor de cálculo da tensão de rotura à tracção do betão, σ_n representa a tensão mínima normal à superfície de contacto, criada por qualquer acção externa que actua em simultâneo com o esforço transversal, ρ é a percentagem geométrica de armadura que atravessa a superfície de contacto e α é o ângulo que as armaduras fazem com o plano da interface, devendo ser limitado a $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$. Alerta-se ainda que a parcela $c f_{ctd}$ deverá ser tomada igual a 0 sempre que σ_n introduza tracção na ligação, e que o valor da tensão resistente deverá ser limitado superiormente com base na qualidade do betão.

2. TRABALHO EXPERIMENTAL

2.1 Caracterização do Trabalho Experimental

O objectivo do trabalho experimental foi estudar a contribuição isolada dos mecanismos de adesão (ads), atrito (atr) e costura (cos), e a contribuição conjunta dos mecanismos de adesão e atrito (aat) e dos mecanismos de adesão, atrito e efeito de costura (aac).

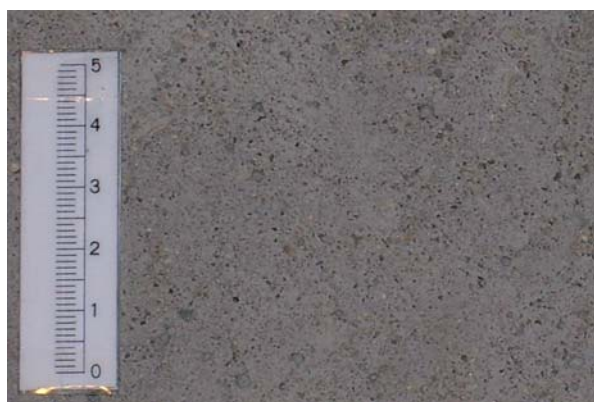
Os parâmetros que assumem maior importância na ligação entre betões são o tratamento de superfície, a adopção de armadura transversal à interface, a resistência à compressão e à tracção dos betões envolvidos, a aplicação de produtos de colagem estrutural e o factor tempo. Não podendo por razões de dimensão do trabalho envolvido estudar todas as variáveis, optou-se por estudar o tipo de preparação de superfície (PS) e a quantidade de armadura transversal (Q).

Relativamente à preparação de superfície, considera-se ser a variável mais importante, visto influenciar os três mecanismos a serem estudados. Nesse sentido, consideraram-se quatro tipos de preparação das superfícies de contacto nos provetes ensaiados, caracterizadas na Fig. 1.

No que diz respeito à quantidade de armadura transversal, diferenciaram-se as seguintes situações (ρ_{min} é a percentagem geométrica mínima de armadura perpendicular à superfície de contacto definida segundo o Model Code 1990 [3]):

- $\rho_1 = 1 \times \rho_{min} = 0.001$ – 1x2 varões com 5mm de diâmetro, colocados a meio comprimento da superfície de contacto; (Q1)

- $\rho_2 = 2 \times \rho_{\min} = 0.002$ – 2x2 varões com 5mm de diâmetro, colocados a cada terços do comprimento da superfície de contacto; (Q2)
- $\rho_3 = 3 \times \rho_{\min} = 0.003$ – 3x2 varões com 5mm de diâmetro, colocados a quartos e a meio do comprimento da superfície de contacto. (Q3)



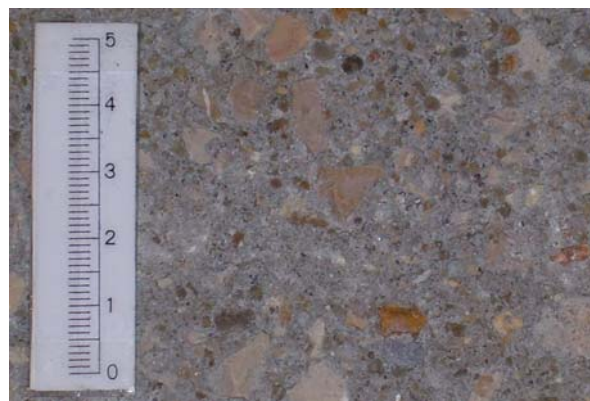
Superfície Lisa – Remoção das impurezas com Jacto de Areia (PS1)



Superfície Rugosa – Martelo de Agulhas (PS2)



Superfície Rugosa – Martelo Eléctrico (PS3)



Superfície Rugosa – Jacto de Água de Alta Pressão (PS4)

Figura 1. Interfaces obtidas para os quatro tipos de preparações de superfícies efectuadas.

2.2 Preparação dos Provetes

Para a realização dos ensaios utilizaram-se provetes constituídos por duas partes iguais em forma de L, ligadas através de uma das faces, garantindo-se uma interface de 150mm x 250mm, e uma folga de deslizamento de 20mm (Fig. 2). Esta definição pretendeu corresponder aos seguintes critérios: adequação dos modelos ao estudo em causa; geometria simples, de forma a facilitar a execução dos mesmos (cofragens, betonagens, etc...); facilidade de manuseamento dos provetes, ou seja, dimensões reduzidas; adequabilidade ao equipamento de ensaio; e garantia de rotura por deslizamento na interface.

Os provetes foram executados em duas fases: a primeira (Fase I, correspondente às Bases), recorrendo a um betão de uma classe inferior que pretende simular a zona de betão existente em intervenções de reforço; e a segunda (Fase II, correspondente aos Topos), recorrendo a um betão de classe superior ao utilizado na Base, que pretende simular o material de reforço. Esta escolha das classes de betão baseou-se numa regra básica das intervenções de reparação e reforço, ou seja, garantir sempre que o material de reparação ou reforço apresenta melhores características que o material existente.

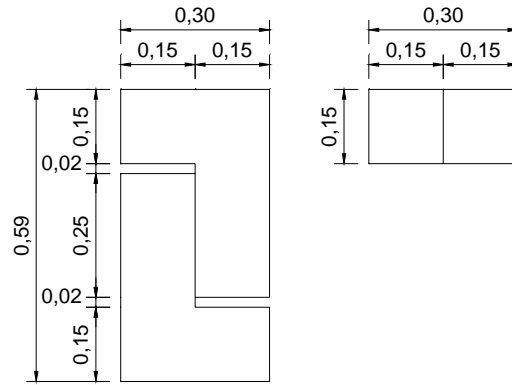


Figura 2. Geometria dos provetes ensaiados.

2.3 Caracterização dos Materiais

Para a caracterização dos betões, foram efectuados ensaios segundo a Norma Portuguesa NP EN 12390 [5], resumindo-se os resultados obtidos no Quadro 1:

Quadro 1. Caracterização dos betões utilizados no trabalho experimental.

Betão	Idade (dias)	$f_{c,cube,m}$ (MPa)	$f_{c,cyl,m}$ (MPa)	$f_{ct,m}$ (MPa)
Fase I	28	34,00	27,88	3,38
Fase I	371 (Ensaio)	42,78	33,69	4,25
Fase II	303 (Ensaio)	57,07	47,18	4,22

Neste quadro, $f_{c,cube,m}$ representa o valor médio da tensão de rotura à compressão, referida a cubos com 150mm de aresta, $f_{c,cyl,m}$ o valor médio da tensão de rotura à compressão, referida a cilindros com 150mm de diâmetro e 300mm de altura e f_{ctm} o valor médio da tensão de rotura à tracção por flexão.

Para a caracterização do aço utilizado nos provetes, existia sobretudo interesse em caracterizar os varões da armadura transversal à interface, responsável pela mobilização do efeito de costura. Nessa perspectiva, foram realizados ensaios de tracção, efectuados segundo a NP EN 10002 [6], tendo-se obtido uma tensão de cedência média de 730MPa (Fig. 3).

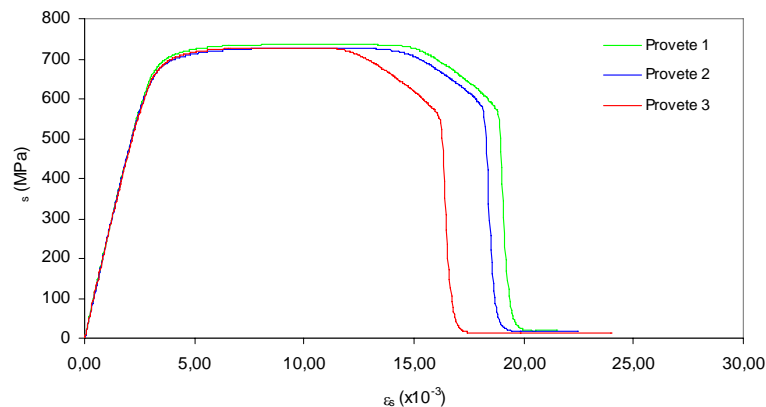


Figura 3. Diagramas σ - ϵ obtidos na caracterização do aço das armaduras transversais.

2.4 Procedimento de Ensaio

Para a execução do programa experimental, foram utilizados dois esquemas em pórtico: um para os provetes sem compressão transversal externa na interface (Fig 4.a)) e outro para os provetes com compressão transversal externa na interface (Fig 4.b)).



a) Ensaio sem compressão transversal.



b) Ensaio com compressão transversal.

Figura 4. Esquemas de Ensaio.

De forma a garantir a correcta transmissão das cargas para os provetes, foram colocadas rótulas no apoio tanto do macaco correspondente à aplicação da carga vertical, como do macaco correspondente à aplicação da compressão na interface. O macaco correspondente à aplicação da carga vertical foi alinhado com a interface de ligação e o seu apoio no provete foi realizado através de uma chapa metálica de 220mm x 120mm x 10mm; por sua vez, o macaco para aplicação da compressão na interface foi posicionado a meio vão da superfície de contacto, e o respectivo apoio no provete foi efectuado recorrendo a uma chapa de 90mm x 70mm x 10mm. Foi ainda adoptada uma base em gesso para garantir a verticalidade do provete e consequentemente da aplicação da carga. Por fim, nos ensaios com compressão na interface, de forma minimizar o atrito entre o provete e a coluna do pórtico, foram colocadas duas chapas metálicas entre as quais se posicionou uma placa de teflon.

No que se refere à instrumentação dos provetes, para além da carga aplicada, foi necessário proceder à medição das seguintes grandezas: deslizamento entre faces em contacto, s , afastamento entre as faces, w , e controlo do nível de tensão nas armaduras de costura junto da interface, σ_s .

3. RESULTADOS OBTIDOS

3.1 Mecanismo de Adesão

Os resultados obtidos para o mecanismo de adesão permitem identificar desde logo o carácter frágil da ligação. De facto, observando os valores médios de deslizamento s e carga V relativos à rotura da ligação (Quadro 2), é possível verificar que a ligação apresenta um comportamento praticamente rígido, sendo eliminada para níveis muito reduzidos de deslizamento (0.01-0.02mm).

No mesmo quadro, verifica-se ainda a forte dependência da ligação por adesão pela preparação de superfície adoptada, obtendo-se melhores resultados em interfaces mais rugosas. Constata-se ainda que as preparações com equipamentos pneumáticos (PS2 e PS3) conduzem a valores inferiores aos obtidos pela aplicação do jacto de água (PS4). Esta evidência poderá ser justificado pela convicção que os métodos de percussão tendem a danificar o betão junto da interface, provocando microfendilhação e contribuindo para o enfraquecimento das ligações por adesão.

Quadro 2. Valores obtidos para o estudo da adesão (ads).

PS	$S_{R,ads}$ (mm)	$V_{R,ads}$ (kN)
PS1	0.016	58.08
PS2	0.019	62.30
PS3	0.012	66.14
PS4	0.025	113.67

3.2 Mecanismo de Atrito e Mecanismo conjunto Adesão + Atrito

Para a interpretação dos resultados destes segmentos, é necessário introduzir os conceitos de atrito estático e atrito dinâmico. Genericamente, o coeficiente de atrito estático, multiplicado pela reacção normal à superfície de deslizamento, consiste na força mínima necessária para iniciar o movimento relativo de dois corpos inicialmente em contacto e em repouso relativo. Na literatura internacional, esta força mínima é muitas vezes designada por “Break Away Force”, ou traduzindo directamente, Força de Arranque. Por sua vez, o coeficiente de atrito dinâmico, multiplicado pela reacção normal à superfície de deslizamento, consiste na força necessária para manter os dois corpos em movimento relativo.

Observando o diagrama carga/deslizamento para o mecanismo de atrito (Fig. 5.a)), verifica-se a existência de picos de resistência para deslizamentos muito reduzidos, que parecem resultar da mobilização do atrito estático. Após o descolamento das partes, verifica-se a mobilização do atrito dinâmico, que é caracterizado por resistências inferiores às obtidas na mobilização do atrito estático.

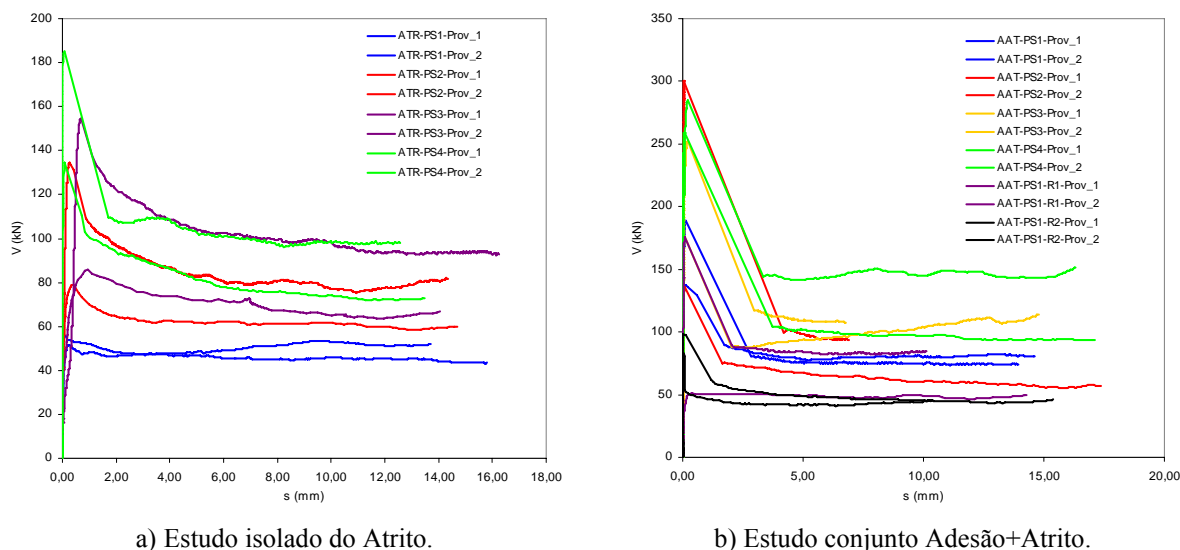


Figura 5. Diagramas carga-deslizamento.

No caso do estudo conjunto de adesão e atrito, o diagrama (Fig. 5.b)) aproxima-se do diagrama do estudo do atrito. No entanto, observa-se um acréscimo da resistência ao longo de todo o diagrama, resultante da quebra das ligações de adesão. Essa quebra origina um acréscimo de rugosidade na interface, potenciando o mecanismo de encaixe de superfícies e consequentemente, contribuindo para o aumento dos coeficientes de atrito estático, $\mu_{R,desc}$, e dinâmico, $\mu_{R,pat}$ (Quadro 3). A este fenómeno deu-se o nome de “contribuição indirecta da adesão”. Repare-se que a soma directa das duas contribuições não faz sentido, uma vez que as ligações por adesão são quebradas para deslizamentos muito reduzidos, inferiores ao nível de deslizamento $s_{R,desc}$, que o mecanismo de atrito necessita para ser mobilizado.

Relativamente às preparações da superfície, a aplicação do jacto de água volta a garantir os melhores resultados, salientando-se novamente a menor adequabilidade dos métodos de percussão.

Quadro 3. Valores obtidos para o estudo do atrito (atr) e da adesão + atrito (aat)

PS	$S_{R,atr,desc}$ (mm)	$\mu_{R,atr,desc}$ (-)	$\mu_{R,atr,pat}$ (-)	$S_{R,aat,desc}$ (mm)	$\mu_{R,aat,desc}$ (-)	$\mu_{R,aat,pat}$ (-)
PS1	0.180	0.67	0.60	0.133	2.04	0.98
PS2	0.309	1.34	0.87	0.056	2.72	1.00
PS3	0.819	1.50	1.00	0.110	2.70	1.31
PS4	0.080	2.00	1.10	0.131	3.40	1.50

3.3 Mecanismo de Costura e Mecanismo conjunto Adesão + Atrito + Costura

Tal como no estudo do atrito, também no estudo do efeito de costura se verifica a existência de resistências de pico que parecem resultar da mobilização do atrito estático (Fig. 6.a)). No entanto, essa fase da ligação é, neste caso, menos rígida do que no caso do mecanismo de atrito, provavelmente devido à reduzida mobilização de tensões de compressão associadas à armadura de costura para baixos deslizamentos e devido a uma distribuição não uniforme da tensão de compressão na interface.

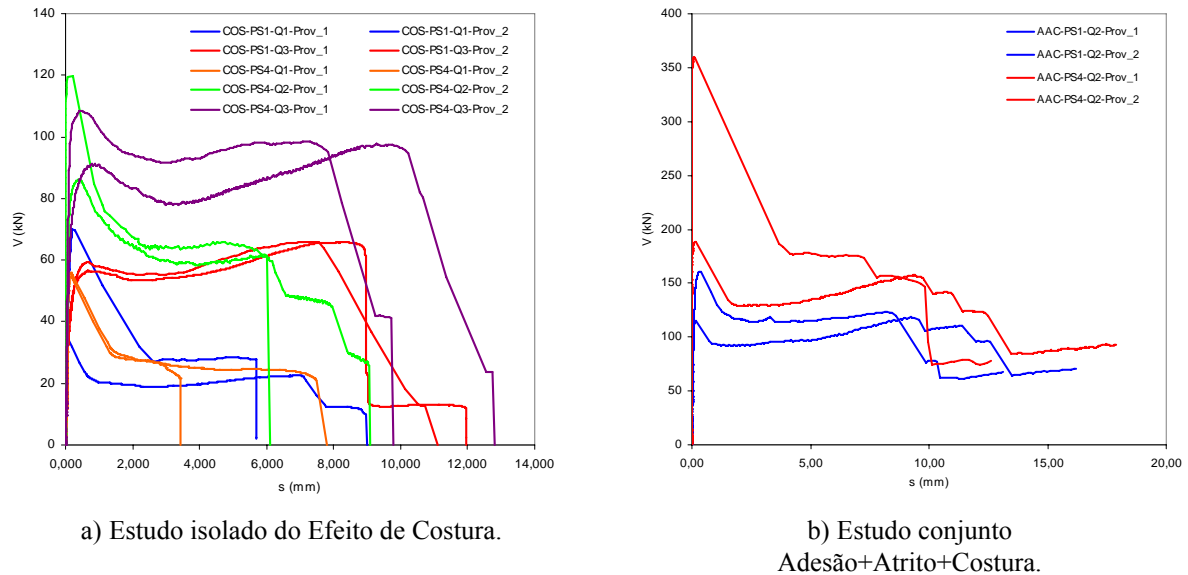


Figura 6. Diagramas carga-deslizamento.

Constata-se também que a mobilização total do mecanismo de costura apenas é possível a partir de determinados valores de deslizamento na interface, embora nesse caso os resultados conduzirem a coeficientes de atrito $\mu_{R,pat}$ semelhantes aos obtidos no caso do estudo do atrito isolado (Quadro 4).

Quadro 4. Valores obtidos para o estudo do efeito de costura (cos).

PS	$S_{R,cos,desc}$ (mm)	$\mu_{R,cos,desc}$ (-)	$\mu_{R,cos,pat}$ (-)
PS1-Q1	0.143	1,80	0.88
PS1-Q3	0.662	0,67	0.74
PS4-Q1	0.151	1,92	0.74
PS4-Q2	0.307	1,80	1.07
PS4-Q3	0.662	1,16	1.10

No caso da acção conjunta dos três mecanismos, o diagrama carga-deslizamento obtido (Fig. 6.b)) apresenta três fases distintas: uma primeira fase correspondente ao descolamento das duas partes de

cada provete; uma segunda fase, correspondente a um patamar de deslizamento com mobilização dos mecanismos de atrito por acção externa e costura; e uma terceira fase, correspondente a um patamar de deslizamento com mobilização do mecanismo de atrito por acção externa. Em geral, este diagrama é semelhante ao diagrama tipo do estudo conjunto dos mecanismos de adesão e atrito, mas com a diferença de o patamar após o descolamento dos provetes resultar dos mecanismo de atrito e costura, e de existir um segundo patamar, após a rotura da armadura de costura, onde o mecanismo mobilizado é o atrito.

Relativamente aos valores de pico (deslizamento $s_{R,desc}$ e coeficiente de atrito $\mu_{R,desc}$), verifica-se que os resultados obtidos (Quadro 5) apenas são ultrapassados pelos resultados do estudo conjunto da adesão e atrito, devido ao facto da compressão transversal sobre a interface nesse caso ser efectiva desde o início da ligação, ao contrário dos casos onde parte da compressão é providenciada pela armadura transversal.

Quadro 5. Valores obtidos para o estudo conjunto da adesão, atrito e efeito de costura (aac).

<i>PS</i>	$s_{R,aac,desc}$ (mm)	$\mu_{R,aac,desc}$ (-)	$\mu_{R,aac,pat1}$ (-)	$\mu_{R,aac,pat2}$ (-)
PS1-Q2	0.248	1.42	1.23	1.60
PS4-Q2	0.096	2.81	1.71	2.05

Quanto à adicionabilidade dos três mecanismos estudados, deve referir-se que a adesão apenas poderá ser considerada através da contribuição indirecta sobre os coeficientes de atrito. Relativamente aos outros mecanismos (atrito e costura), verifica-se que a sua soma é válida na zona do patamar após o descolamento das partes ($\mu_{R,pat1}$), e os resultados parecem indicar coeficientes de atrito não muito diferentes dos obtidos no estudo conjunto dos mecanismos de adesão e atrito, confirmando a contribuição indirecta da adesão. No entanto, a máxima capacidade da ligação apenas poderá ocorrer para um determinado nível de deslizamento, ou seja, após a mobilização total do mecanismo de costura.

3.3 Comparação dos resultados com o dimensionamento segundo o Eurocódigo 2

Conforme ficou demonstrado ao longo da discussão dos resultados, cada um dos mecanismos, actuando isolada ou conjuntamente, apresenta um comportamento diferenciado para deslizamentos reduzidos ou para deslizamentos elevados: a adesão apenas poderá ser mobilizada para deslizamentos reduzidos, mas poderá ter um contributo indirecto sobre os restantes mecanismos, para deslizamentos elevados; o atrito e o efeito de costura apresentam comportamentos diferentes para deslizamentos reduzidos ou elevados, sendo que o efeito de costura é de difícil contabilização para deslizamentos reduzidos.

Esta constatação tem consequências ao nível da regulamentação. A independência da expressão de dimensionamento do Eurocódigo 2, anteriormente apresentada, do deslizamento ao longo da interface, e a inclusão de uma parcela relativa ao efeito de costura na determinação da resistência, confirma que a regulamentação se encontra orientada para casos onde é expectável a ocorrência de um nível de deslizamento elevado, passível de mobilizar o efeito de costura. Esta ilação não implica que o dimensionamento de acordo com estas expressões para casos em que tal não aconteça seja contra a segurança; apenas salienta que as expressões não são as mais adequadas para o dimensionamento de casos onde o deslizamento esperado é reduzido, por não representarem os fenómenos envolvidos.

Também importante é perceber a natureza da primeira parcela das expressões (parcela de adesão vs coesão): a ausência de informação sobre a adicionabilidade dessa parcela parece indicar que se trata de um artifício, a que se deu o nome de coesão por analogia com as leis de atrito em solos coerentes, para permitir a adopção de coeficientes de atrito mais próximos dos reais. Assim sendo, o regulamento apenas considera o mecanismo de adesão através da sua contribuição indirecta sobre os coeficientes de atrito. Aliás, avaliando a expressão verifica-se desde logo a modelação do atrito através de uma

relação proporcional entre a tensão tangencial e a tensão normal, seja esta devida à acção de armadura de costura ou de uma tensão externa. Provavelmente, esta opção deveu-se à simplicidade de interpretação dos mecanismos, mas não tem em conta, pelo menos directamente, a importância da qualidade do betão;

Na Fig. 7, apresenta-se a comparação entre os resultados obtidos nos ensaios dos estudos conjuntos dos mecanismos e os valores dados pela aplicação da expressão do Eurocódigo 2, considerando valores médios para as propriedades mecânicas dos materiais.

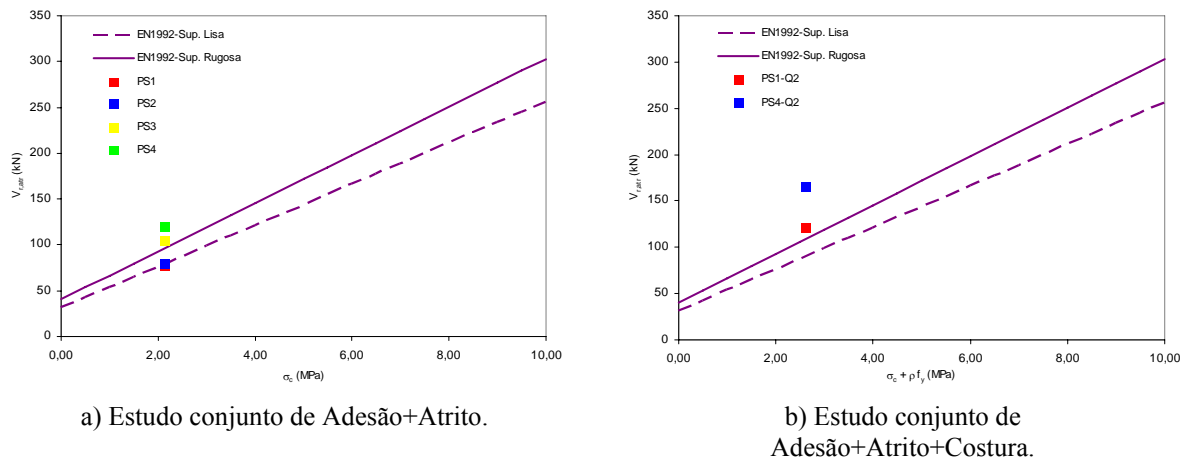


Figura 7. Comparação entre os resultados dos ensaios e a expressão do Eurocódigo 2.

No caso primeiro caso (adesão+atrito), verifica-se que o Eurocódigo 2 fornece, ainda que ligeiramente, valores contra a segurança para a superfície lisa (PS1); o mesmo acontece no caso de superfícies rugosas obtidas pela aplicação do martelo de agulhas (PS2). No segundo caso (adesão+atrito+costura), verifica-se que fornece valores conservativos. Refira-se ainda que, apesar de em alguns dos casos analisados se verificar que a regulamentação fornece valores ligeiramente conservativos, permanece a ideia que o Eurocódigo 2 encontra-se dirigido para outras aplicações que não o reforço estrutural, onde as preparações de superfícies são aplicadas sobre o betão endurecido, e muitas vezes em betões que podem apresentar sinais de deterioração.

Perante estas conclusões, sugere-se que, para peças onde o nível de deslizamento esperado não seja significativo, a solução de dimensionamento deverá passar pela contribuição dos mecanismos de adesão (indirectamente) e atrito por acção externa. No entanto, tratando-se de uma ligação com carácter frágil, deverá ser afectada de coeficientes de segurança superiores, de forma a garantir um nível de segurança aceitável. Esta situação de dimensionamento é particularmente importante em casos de reforço de estruturas, onde a colocação de armaduras de reforço é geralmente um procedimento complexo.

No caso de peças onde seja admissível a ocorrência de um nível de deslizamento elevado, a solução de dimensionamento deverá passar pela contribuição dos mecanismos de atrito por acção exterior e pelo efeito de costura, podendo também considerar-se o efeito indirecto da adesão sobre os coeficientes de atrito. Este tipo de ligação deverá ser o adoptado sempre que possível devido ao seu carácter dúctil, sobretudo em zonas onde a regulamentação obriga ao dimensionamento a acções dinâmicas.

Por fim, refira-se que ao nível da regulamentação, tão importante como o tipo de superfície, é a prescrição do método de preparação de superfície a utilizar, garantindo-se desse modo a não utilização de métodos com efeitos adversos.

AGRADECIMENTOS

Por fim, os autores manifestam o seu agradecimento à empresa UNIBETÃO pela cedência do betão, à empresa TECOR pela realização dos trabalhos de preparação de superfície por aplicação do Jacto de Água de Alta Pressão, e ao Laboratório de Estruturas e Resistência dos Materiais do Instituto Superior Técnico pela mão de obra disponibilizada para a realização dos modelos e execução dos ensaios.

REFERÊNCIAS

- [1] MENDES, M.L. – Caracterização da Ligação entre Betões de Idades Diferentes. Lisboa. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2007. 212 p. Tese de Mestrado.
- [2] WALRAVEN, J.C. - Fundamental Analysis of Aggregate Interlock. Journal of the Structural Division, vol. 107, nº ST11, ASCE. (November), pp. 2245-2270.
- [3] CEB-FIP MC 90: 1993, CEB-FIP Model Code 1990 – Design Code. London: Thomas Telford Services Ltd.
- [4] EN 1992-1-1: 2004, Eurocode 2: Design of Concrete Structures – Part 1.1: General Rules and Rules for Buildings. CEN.
- [5] NP EN 12390: 2003, Ensaios de Betão Endurecido. Lisboa: IPQ.
- [6] NP EN 10002: 1990, Materiais metálicos. Ensaio de tracção. Lisboa: IPQ.