

Análise estatística das características geométricas do perfil nervurado dos varões A500NR SD



Ana S. Louro¹



Manuel Pipa¹

RESUMO

A caracterização do perfil nervurado das armaduras utilizadas é, actualmente, a maneira mais simples de medir o desempenho das armaduras em termos de aderência, nomeadamente através da definição da área relativa das nervuras transversais (f_R). Por outro lado, é sabido que é fundamental conhecer as condições de aderência para quantificar de forma correcta o deslizamento que efectivamente ocorre na interface entre o betão e a armadura.

Este fenómeno reveste-se de especial interesse nas zonas de ligação viga-pilar sujeitas à acção sísmica, uma vez que existe um acréscimo de rotação que está associado ao deslizamento que ocorre entre as armaduras que atravessam a ligação e o betão envolvente.

Neste contexto considera-se fundamental descrever o fenómeno da perda de aderência com a maior exactidão possível, para que seja possível obter estimativas realistas do comportamento das estruturas. Este tipo de abordagem enquadra-se no chamado *Performance-Based Earthquake Engineering* (PBEE), uma vez que nas filosofias mais recentes relativas ao dimensionamento sísmico de estruturas, se admite que se devem considerar explicitamente múltiplos objectivos de desempenho para as estruturas sendo necessário um conhecimento muito mais detalhado dos fenómenos e das características dos materiais.

Na presente comunicação apresenta-se a análise estatística das características geométricas do perfil nervurado dos varões do tipo A500NR SD, realizada com base nos resultados dos ensaios de medições de nervuras executados pelo Laboratório de Ensaios de Produtos Metálicos do LNEC. A análise é feita em função das diversas grandezas que permitem quantificar a área relativa das nervuras transversais e dos diâmetros ensaiados, sendo também feita uma comparação sistemática com os valores de referência.

PALAVRAS-CHAVE

Aderência, varões nervurados, perfil nervurado, área relativa das nervuras

1. 1 Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Estruturas, Núcleo de Comportamento de Estruturas, Av. do Brasil, n.º 101, 1700-066 LISBOA.

1. INTRODUÇÃO

A aderência entre o aço e o betão desempenha um papel fundamental nas estruturas de betão armado, na medida em que garante o adequado funcionamento da interface betão - armadura. No entanto, o deslizamento associado ao fenómeno da aderência é muitas vezes negligenciado, considerando-se que existe uma ligação perfeita entre as armaduras e o betão nas inúmeras análises numéricas não-lineares de estruturas de betão armado que são feitas.

Trabalhos como o de *Suchart Limkatanyu e Enrico Spacone* [1] demonstram a elevada importância da adequada quantificação do deslizamento que efectivamente ocorre na interface entre o betão e a armadura. A discussão feita pelos autores é baseada em análises realizadas utilizando modelos numéricos que são computacionalmente simples e que conseguem representar as características mais relevantes dos elementos de betão armado quando sujeitos a acções estáticas e dinâmicas. Através da modelação de dois casos práticos com e sem introdução de deslizamento por perda de aderência, o estudo mostra como as análises que incluem deslizamento associado à perda de aderência apresentam uma melhor correlação com os resultados experimentais em relação às análises que assumem uma ligação perfeita.

A justificação dos resultados obtidos está associada ao facto de que, quando se considera a hipótese de uma ligação perfeita entre a armadura e o betão, a rigidez da estrutura é sobrestimada assim como a energia dissipada durante a imposição de cargas cíclicas e, portanto, para a mesma acção, obtêm-se menores deslocamentos. No entanto, os ensaios experimentais demonstram que, nas zonas de ligação viga-pilar existe um acréscimo de rotação que está associado ao deslizamento que ocorre entre as armaduras que atravessam a ligação e o betão envolvente. Assim, sob a acção de cargas cíclicas, há uma degradação gradual da aderência que aumenta a flexibilidade e, conseqüentemente, os deslocamentos. Portanto, o desenvolvimento de metodologias que permitam descrever o fenómeno da perda de aderência com a maior exactidão possível é uma mais valia para a obtenção de estimativas mais realistas do desempenho das estruturas.

Este tipo de abordagem enquadra-se também no chamado *Performance-Based Earthquake Engineering* (PBEE), uma vez que nas filosofias mais recentes [2] relativas ao dimensionamento sísmico de estruturas, se admite que se devem considerar explicitamente múltiplos objectivos de desempenho para as estruturas. Ou seja, este tipo de análises exige um conhecimento muito mais realista dos fenómenos, das características dos materiais e dos níveis de dano aceitáveis para cada nível da acção sísmica.

Tendo em consideração que actualmente a forma mais rápida e eficaz de avaliar o desempenho das armaduras em termos de aderência consiste na avaliação do seu perfil nervurado, este trabalho apresenta uma sistematização dos resultados obtidos para os varões do tipo A500NR SD, que se julga que possa vir a ser útil no âmbito das novas estratégias de avaliação do desempenho sísmico e não só de estruturas existentes [3].

2. ENQUADRAMENTO NORMATIVO

A utilização em Portugal dos varões de aço para armaduras de betão armado (armaduras ordinárias) continua a ser regulada pelo REBAP [4]. Este Regulamento especifica os tipos de armaduras usadas e as principais características de cada tipo de armadura, estipulando a obrigatoriedade da sua prévia classificação pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Com a evolução entretanto registada ao nível da normalização internacional, nas classificações de armaduras pelo LNEC, para além das características especificadas pelo REBAP [4], passaram a ser também verificadas outras, designadamente a soldabilidade, as características de aderência e as marcas de identificação. Além disso, satisfazendo o Eurocódigo 2 [5] e o Eurocódigo 8 [6], os varões passaram a ser também caracterizados em termos da sua ductilidade.

Tendo em vista a harmonização das exigências dos diferentes tipos de produtos, publicaram-se Especificações LNEC para cada um dos tipos de armaduras a classificar, as quais passaram também a servir como documentos de referência para a certificação destes produtos. Nestas Especificações são referidas, entre outras, as exigências em termos de geometria das nervuras e tipos de perfil.

Posteriormente com a publicação do Eurocódigo 8 [6], que prevê a utilização em zonas sísmicas de um tipo de aço com características especiais de ductilidade, veio evidenciar-se a necessidade da existência de Especificações para contemplar os referidos aços. A participação do LNEC em diversos estudos no âmbito de projectos de investigação europeus que visavam a caracterização do comportamento das armaduras sob acções cíclicas alternadas com vista à sua aplicação em estruturas sismo-resistentes e um estudo mais específico aplicado a armaduras dos tipos A400NR e A500NR de ductilidade especial produzidas em Portugal permitiu publicar as Especificações relativas a varões do tipo A400 NR e A500NR de ductilidade especial [7].

No que diz respeito às exigências em termos de aderência, actualmente apenas existe em Portugal e na Europa a distinção entre armaduras lisas e nervuradas, não sendo aceitável a utilização em estruturas de betão armado de armaduras que não sejam nervuradas, ou seja que apresentem boas características de aderência. Para tal, é necessário garantir que as armaduras empregues respeitam os limites definidos na especificação LNEC E460 [7], uma vez que os limites previstos no Eurocódigo 2 [5] são menos exigentes, conforme se pode ver no Quadro 1.

Quadro 1. Valores de referência da área relativa das nervuras transversais (f_R).

d [mm]	Especificação LNEC	Eurocódigo 2
6	0,039	0,035
8	0,045	0,040
10	0,052	0,040
12	0,056	0,040
16	0,056	0,056
20	0,056	0,056
25	0,056	0,056
32	0,056	0,056

3. PERFIL NERVURADO DOS VARÕES DO TIPO A500NR SD

Tipicamente os varões do tipo A500NR SD apresentam um perfil constituído por duas séries de nervuras transversais com afastamentos iguais e a mesma disposição nos dois lados do varão, conforme mostra a Figura 1. Em geral, apresentam também duas nervuras longitudinais contínuas diametralmente opostas.

A forma mais expedita de avaliar as condições de aderência das armaduras consiste em proceder à determinação da área relativa das nervuras transversais (f_R) que, de acordo com o previsto nas Especificações LNEC [7], envolve a medição dos seguintes parâmetros:

- Altura das nervuras transversais (a);
- Afastamento das nervuras transversais (c);
- Perímetro sem nervuras transversais ($\sum f_i$).

A altura das nervuras transversais (a) representa a distância entre o ponto mais alto da nervura transversal e a superfície do núcleo do varão, medida na perpendicular ao eixo do varão. O afastamento das nervuras transversais (c) é obtido através da medição da distância entre os planos perpendiculares ao eixo do varão que passam pelos pontos homólogos de duas nervuras consecutivas. O comprimento, medido na projecção do varão sobre um plano perpendicular ao eixo, dos arcos da

*Análise estatística das características geométricas
do perfil nervurado dos varões A500NR SD*

circunferência do núcleo em que não existem nervuras transversais representa o perímetro sem nervuras transversais (Σf_i). A determinação destes três parâmetros é feita de acordo com o disposto na secção 10 da norma EN ISO 15630-1:2002 [8].

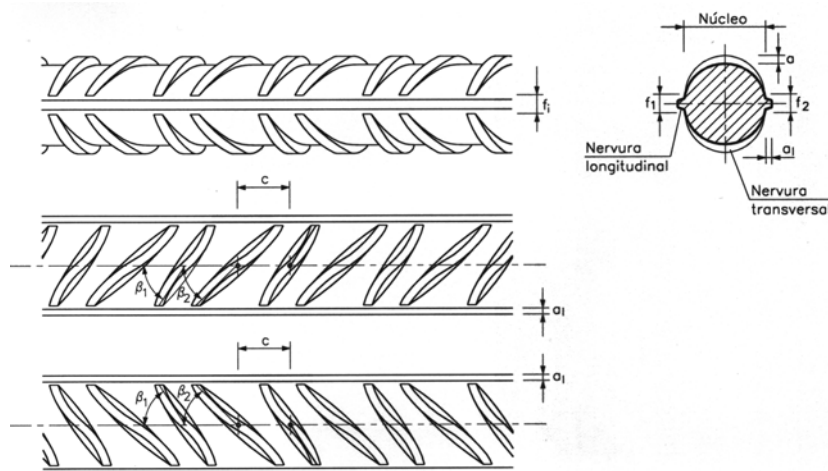


Figura 1. Perfil nervurado de um varão A500NR SD.

A quantificação da área relativa das nervuras transversais (f_R) é depois obtida por recurso à aplicação da chamada Fórmula da Parábola que se apresenta na Eq. (1), onde ϕ representa o diâmetro nominal do varão em causa :

$$f_R = \frac{2 \times a}{3 \times \pi \times \phi \times c} \times (\pi \times \phi - \Sigma f_i) \quad (1)$$

4. ORIGEM DOS RESULTADOS DO ESTUDO

O Laboratório de Ensaios de Produtos Metálicos do LNEC colabora desde o fim dos anos 90 com a CERTIF – Associação para a Certificação de Produtos na realização dos ensaios de verificação das características dos produtos a certificar, de acordo com os procedimentos de certificação vigentes para o efeito. No que diz respeito aos ensaios de medição da geometria das nervuras, a sua realização é obrigatória e, de acordo com os procedimentos em questão, são caracterizados 10 provetes do mesmo diâmetro provenientes de um mesmo vazamento.

Os resultados analisados neste estudo são provenientes das acções de certificação obrigatória do produto desenvolvidas entre 2002 e 2009 e as amostras ensaiadas pertencem a 15 fabricantes diferentes cujos países de origem se apresentam no Quadro 2. No período em apreço foram realizados 2670 ensaios distribuídos por diâmetro conforme se indica no Quadro 3.

Quadro 2. Países de origem dos fabricantes das amostras ensaiadas.

<i>País</i>	<i>N.º de fabricantes</i>
Portugal	2
Espanha	9
Polónia	2
Turquia	2

Quadro 3. Dimensão das amostras ensaiadas.

<i>Diâmetro [mm]</i>	<i>N.º de provetes</i>
6	50
8	420
10	430
12	330
16	490
20	310
25	490
32	150

5. RESULTADOS OBTIDOS

5.1 Resumos estatísticos

Com vista à elaboração de uma análise mais aprofundada dos parâmetros que intervêm na caracterização da aderência das armaduras determinou-se a média, o desvio padrão, o coeficiente de variação e os valores máximos e mínimos obtidos para cada uma das grandezas que intervêm na quantificação da área relativa das nervuras transversais, uma vez que é esta a grandeza que permite, à luz dos códigos vigentes, aferir as características de aderência das armaduras.

Relativamente aos resultados que se seguem, importa salientar que os mesmos dizem respeito a processos de certificação de produto, pelo que a existência de alguns resultados fora do especificado pode ser considerado como aceitável se for cumprido o limite imposto para a área relativa das nervuras transversais. Por outro lado, constata-se que os valores médios estão sempre substancialmente acima dos valores de referência e que o desvio padrão, como seria de esperar, aumenta à medida que aumenta o diâmetro ensaiado, uma vez que os valores medidos são maiores.

No que diz respeito ao coeficiente de variação, os resultados obtidos para as diversas grandezas demonstram que o mesmo depende consideravelmente do n.º de provetes ensaiado, na medida em que este valor é quase sempre mais elevado para os diâmetros em que existem menos resultados disponíveis. Importa ainda destacar a grande homogeneidade dos resultados obtidos para o afastamento das nervuras transversais que é fruto da metodologia prevista na norma de ensaio para a determinação desta grandeza, uma vez que está preconizada a medição de pelo menos 10 nervuras em cada face do varão com vista à obtenção do respectivo valor médio. Em relação ao perímetro sem nervuras transversais, a norma prevê apenas a realização de três medições numa grandeza que é altamente dependente da localização do início e fim da nervura transversal escolhida pelo operador.

Quadro 4. Resumo estatístico dos resultados obtidos para a altura das nervuras transversais.

<i>Diâmetro</i>	<i>Valor Mín. Especificado</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>Coeficiente de Variação</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]		[mm]	[mm]
6	0,39	0,44	0,085	0,19	0,31	0,61
8	0,52	0,66	0,086	0,13	0,46	0,98
10	0,65	0,82	0,112	0,14	0,63	1,10
12	0,78	0,94	0,103	0,11	0,77	1,19
16	1,04	1,35	0,158	0,12	0,98	1,68
20	1,30	1,55	0,138	0,09	0,93	1,95
25	1,63	1,94	0,180	0,09	1,47	2,36
32	2,08	2,47	0,340	0,14	2,00	3,07

Quadro 5. Resumo estatístico dos resultados obtidos para o afastamento das nervuras transversais.

<i>Diâmetro</i>	<i>Valor Especificado</i>		<i>Média</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>Coeficiente de Variação</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
[mm]	[mm]		[mm]	[mm]		[mm]	[mm]
6	5,0	±	4,2	0,21	0,05	3,9	4,5
8	5,7	20%	5,8	0,56	0,10	5,2	7,2
10	6,5		6,7	0,37	0,06	5,8	7,5
12	7,2		7,5	0,38	0,05	6,6	8,1
16	9,6	±	10,1	0,42	0,04	8,5	11,0
20	12,0	15%	12,9	0,70	0,05	10,8	14,6
25	15,0		15,6	0,78	0,05	13,8	16,9
32	19,2		19,7	1,35	0,07	16,8	21,5

*Análise estatística das características geométricas
do perfil nervurado dos varões A500NR SD*

Quadro 6. Resumo estatístico dos resultados obtidos para o perímetro sem nervuras transversais.

<i>Diâmetro</i> [mm]	<i>Valor Max.</i> <i>Especificado</i> [mm]	<i>Média</i> [mm]	<i>Desvio</i> <i>Padrão</i> [mm]	<i>Coefficiente</i> <i>de Variação</i>	<i>Mínimo</i> [mm]	<i>Máximo</i> [mm]
6	3,8	1,9	0,27	0,14	1,4	2,5
8	5,0	2,9	0,55	0,19	2,1	4,6
10	6,3	3,9	0,85	0,22	2,3	6,2
12	7,5	4,3	0,80	0,19	2,6	7,6
16	10,1	4,8	0,83	0,17	3,2	8,2
20	12,6	6,4	1,25	0,20	4,0	11,6
25	15,7	7,0	1,70	0,24	2,9	13,6
32	20,1	10,0	1,78	0,18	7,3	13,8

Quadro 7. Resumo estatístico dos resultados obtidos, para a área relativa das nervuras transversais.

<i>Diâmetro</i> [mm]	<i>Valor Mín.</i> <i>Especificado</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio</i> <i>Padrão</i>	<i>Coefficiente</i> <i>de Variação</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
6	0,039	0,063	0,0120	0,19	0,042	0,082
8	0,045	0,068	0,0082	0,12	0,043	0,094
10	0,052	0,071	0,0118	0,17	0,051	0,100
12	0,056	0,074	0,0085	0,11	0,056	0,096
16	0,056	0,081	0,0104	0,13	0,049	0,100
20	0,056	0,072	0,0076	0,11	0,045	0,094
25	0,056	0,075	0,0105	0,14	0,046	0,104
32	0,056	0,076	0,0144	0,19	0,058	0,106

5.2 Comparação entre os valores médios e de referência

No Quadro 8 apresenta-se a comparação entre os valores médios obtidos por diâmetro para a altura e área relativa das nervuras transversais com os respectivos valores de referência. Centrando a análise na área relativa das nervuras transversais constata-se que para os diâmetros mais pequenos (6 e 8 mm) os resultados obtidos estão 56% acima do especificado, havendo uma redução para um valor médio de 35% acima do especificado para os restantes diâmetros.

Quadro 8. Relação entre o valor médio e o limite especificado por diâmetro.

<i>Diâmetro</i> [mm]	$a_{méd.} / a_{esp.}$	$f_{R\ méd.} / f_{R\ esp.}$
6	1,14	1,61
8	1,28	1,51
10	1,26	1,37
12	1,20	1,32
16	1,30	1,44
20	1,19	1,29
25	1,19	1,34
32	1,19	1,36

5.3 Coeficiente de correlação

Com o objectivo de perceber se há algum parâmetro cuja influência é preponderante nas características de aderência globais, nomeadamente na área relativa das nervuras transversais determinou-se o coeficiente de correlação de Pearson (r) entre a altura, o afastamento e o perímetro sem nervuras transversais em relação à área relativa das nervuras transversais.

Este coeficiente de correlação é uma medida do grau de relação linear entre duas variáveis quantitativas, pelo que quanto mais próximo estiver de 1 ou -1, mais forte é a associação linear entre

as duas variáveis. Assim, os resultados que se apresentam no Quadro 9 e na Figura 2 demonstram que a altura das nervuras transversais é efectivamente o parâmetro que maior influência tem na aderência global das armaduras.

Quadro 9. Coeficiente de correlação obtido para cada um dos parâmetros (a, c, Σf_i) em relação à área relativa das nervuras transversais (f_R).

Diâmetro [mm]	$r^2 (a/f_R)$	$r^2 (c/f_R)$	$r^2 (\Sigma f_i / f_R)$
6	0,92	0,26	0,67
8	0,43	0,13	0,25
10	0,88	0,37	0,00
12	0,86	0,02	0,07
16	0,88	0,08	0,00
20	0,74	0,41	0,05
25	0,78	0,38	0,06
32	0,93	0,76	0,25
<i>Média</i>	<i>0,80</i>	<i>0,30</i>	<i>0,17</i>

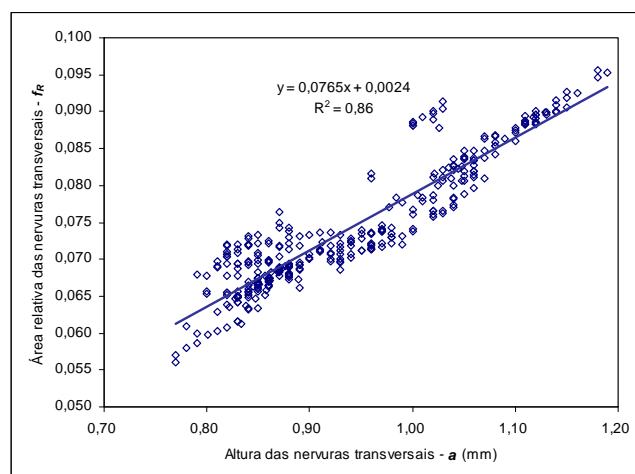


Figura 2. Varões de 12 mm - correlação entre a altura e a área relativa das nervuras transversais.

5.4 Histogramas e ajuste normal

A distribuição dos resultados obtidos por classes permite uma análise mais pormenorizada dos resultados obtidos para avaliar se os mesmos se ajustam ou não a uma distribuição normal. Assim e após a análise de bibliografia especializada [9], [10] optou-se por construir os histogramas com 10 classes diferentes, uma vez que se tentou ajustar os diversos critérios propostos para o efeito ao n.º de resultados disponíveis por diâmetro ensaiado. Simultaneamente procedeu-se à elaboração de uma curva considerando que a produção teria uma distribuição normal. Porém, os resultados obtidos revelam que a recomendação de distribuição normal feita pela EN 10080 [11] para as características mecânicas não é aquela que melhor se ajusta à variação das características geométricas das armaduras para os diferentes diâmetros. Nas figuras seguintes evidenciam-se os resultados obtidos para os varões de 10, 16 e 32 mm, sendo que o modelo normal apenas se ajusta bem à produção de 16 mm (Figura 4). Nos restantes casos, o histograma elaborado sugere a existência de duas distribuições normais, como se pode verificar através da análise da Figura 3 e da Figura 5.

*Análise estatística das características geométricas
do perfil nervurado dos varões A500NR SD*

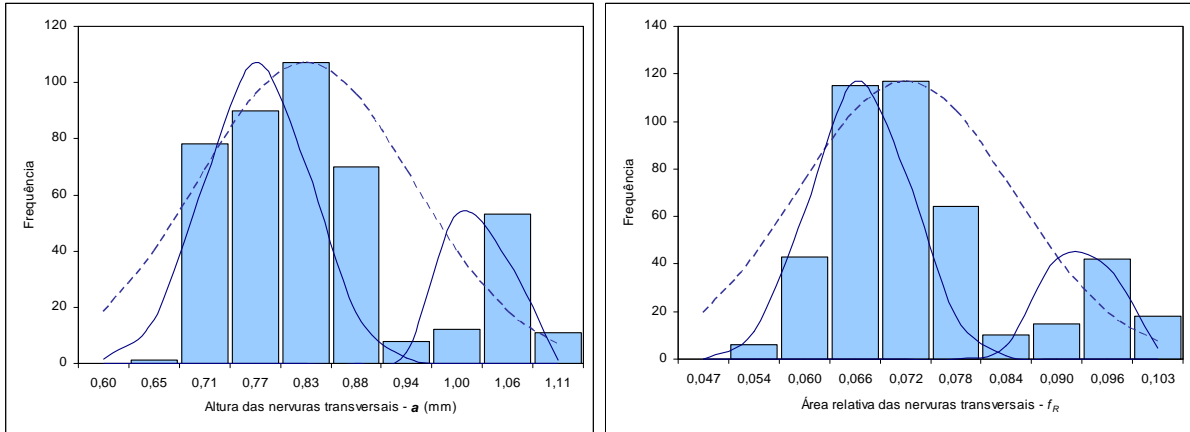


Figura 3. Varões de 10 mm - histograma para a altura e a área relativa das nervuras transversais.

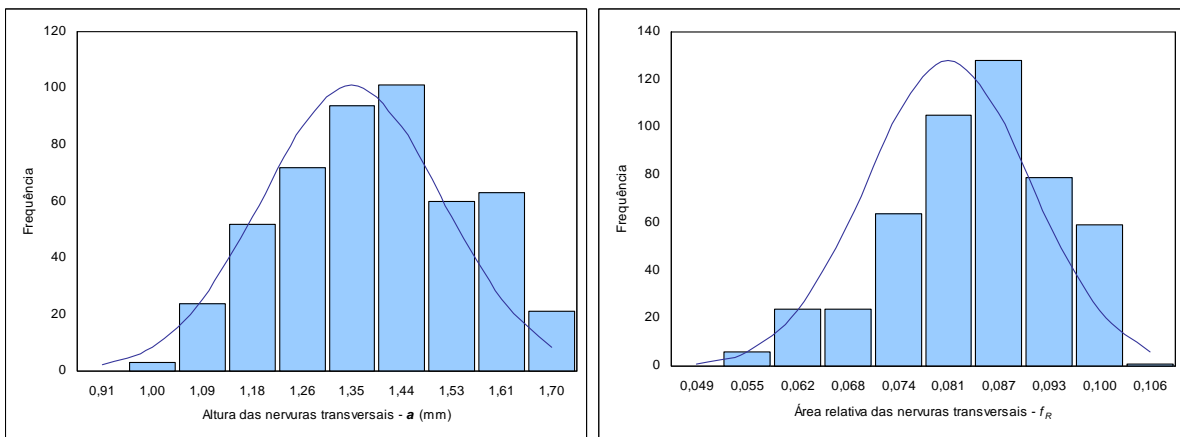


Figura 4. Varões de 16 mm - histograma para a altura e a área relativa das nervuras transversais.

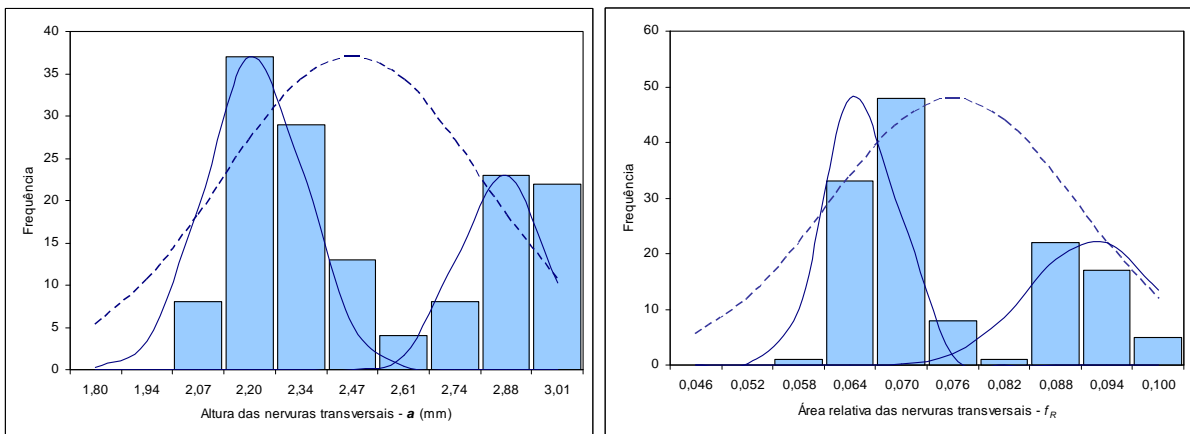


Figura 5. Varões de 32 mm - histograma para a altura e a área relativa das nervuras transversais.

A existência de duas “categorias” distintas de material ($<f_R$ e $>f_R$) pode eventualmente permitir reduzir comprimentos de amarração ou seleccionar material com melhores características de aderência com vista a uma utilização preferencial em zonas sujeitas a uma maior degradação de aderência como sejam as ligações viga-pilar ou pilar-fundação em estruturas de betão armado inseridas em zonas sísmicas. No quadro seguinte sistematizam-se os parâmetros estatísticos das distribuições consideradas.

Quadro 10. Parâmetros estatísticos das distribuições normais associadas às duas categorias de material consideradas.

Diâmetro	a [mm]	a [mm]	f_R	f_R
[mm]	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
10 ($<f_R$)	0,77	0,060	0,066	0,006
10 ($>f_R$)	1,02	0,033	0,093	0,004
32 ($<f_R$)	2,22	0,129	0,065	0,004
32 ($>f_R$)	2,87	0,114	0,092	0,007

A existência de armaduras com maior área relativa das nervuras transversais já foi alvo de diversos trabalhos, um dos quais [12] evidencia que, a uma maior área relativa das nervuras, estão associados menores deslizamentos em regime cíclico e, por isso considera que estudos mais aprofundados podem permitir concluir que os varões com maior área relativa das nervuras são mais adequados para melhorar o comportamento de elementos de betão armado, em especial nas zonas mais afectadas pela degradação da aderência como sejam as zonas de ligação. Um outro estudo [13] apresenta recomendações para a adequada utilização de armaduras com maior área relativa das nervuras transversais, apontando uma redução na ordem dos 13 a 16% para os comprimentos de amarração e sobreposição em zonas adequadamente confinadas por armadura transversal.

5.5 Evolução das características do perfil nervurado

A análise das características principais do perfil nervurado ao longo dos anos em que este produto tem sido controlado, nomeadamente através da altura e da área relativa das nervuras transversais permite concluir que existe a tendência para um ligeiro incremento global destas grandezas. Este incremento conduz obviamente a uma melhoria das condições de aderência do material existente no mercado, sendo de suspeitar que esta tendência esteja associada a um maior e melhor controlo de qualidade bem como a uma melhoria dos meios tecnológicos disponíveis para desenrolar os varões de menor diâmetro, o que consequentemente origina um menor esmagamento das nervuras transversais no decorrer do processo.

A título exemplificativo sistematizam-se nas figuras seguintes os resultados obtidos, para três diâmetros diferentes, um por cada gama da produção normal: baixa (8 mm), média (16 mm) e alta (25 mm).

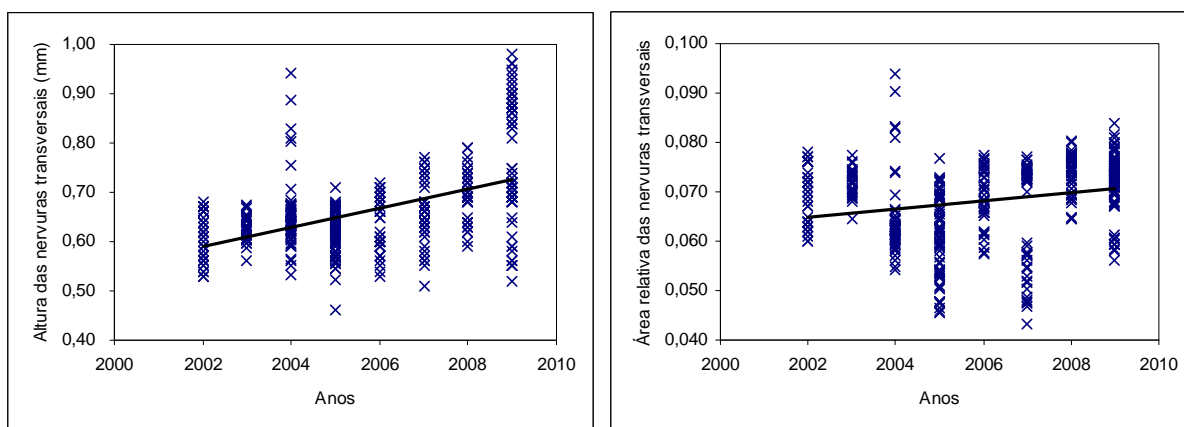


Figura 6. Varões de 8 mm - evolução da altura e da área relativa das nervuras transversais.

Análise estatística das características geométricas
do perfil nervurado dos varões A500NR SD

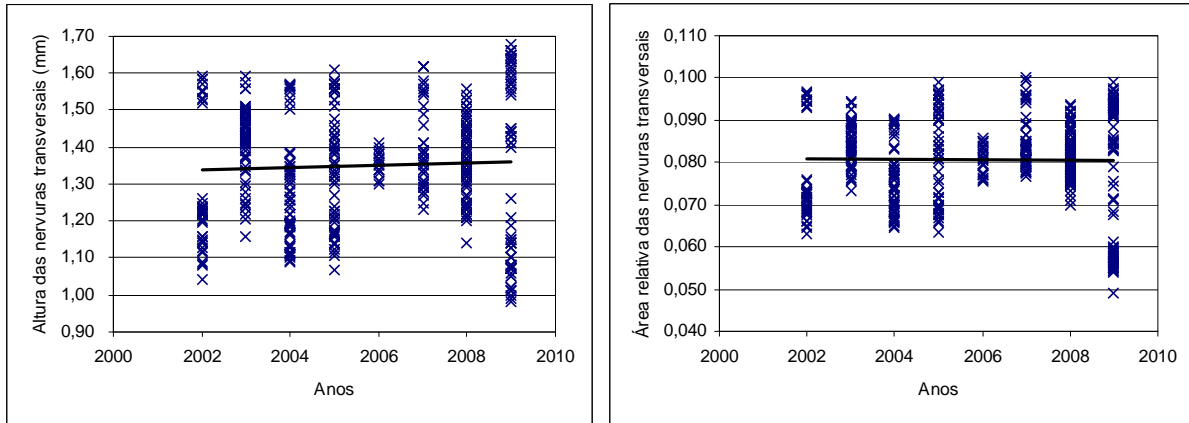


Figura 7. Varões de 16 mm - evolução da altura e da área relativa das nervuras transversais.

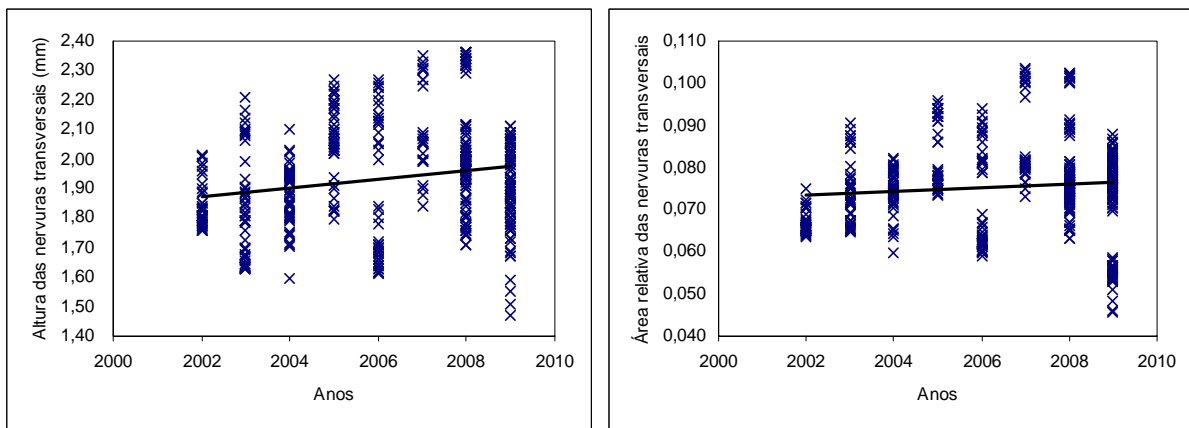


Figura 8. Varões de 25 mm - evolução da altura e da área relativa das nervuras transversais.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o presente trabalho tentou-se dar uma contribuição para a caracterização da aderência das armaduras utilizadas em Portugal nos últimos anos. Refira-se que esta caracterização é extensível, pelo menos, ao mercado europeu, visto que no mercado português existem armaduras provenientes da grande maioria dos fabricantes europeus e o perfil nervurado adoptado é hoje, muito uniforme.

Dado que as novas estratégias de avaliação do desempenho das estruturas existentes exigem um conhecimento detalhado das características dos materiais, considera-se relevante começar a sistematizar toda a informação relativa aos materiais cujas propriedades afectam significativamente o comportamento global das estruturas, para que no futuro seja relativamente simples obter todos os dados necessários à utilização de uma metodologia como a proposta por *Cosenza et al.* [3] e que se apresenta na Figura 9.

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que na maior parte dos diâmetros existem duas “categorias” de material, uma com valores da área relativa das nervuras transversais mais próximos dos valores de referência e uma outra com valores mais elevados.

Sendo expectável que o desempenho dos elementos estruturais, em especial em termos de resistência às acções cíclicas, melhore com a utilização destes materiais, considera-se útil realizar estudos mais aprofundados para avaliar se efectivamente existe ou não benefício na sua selecção.

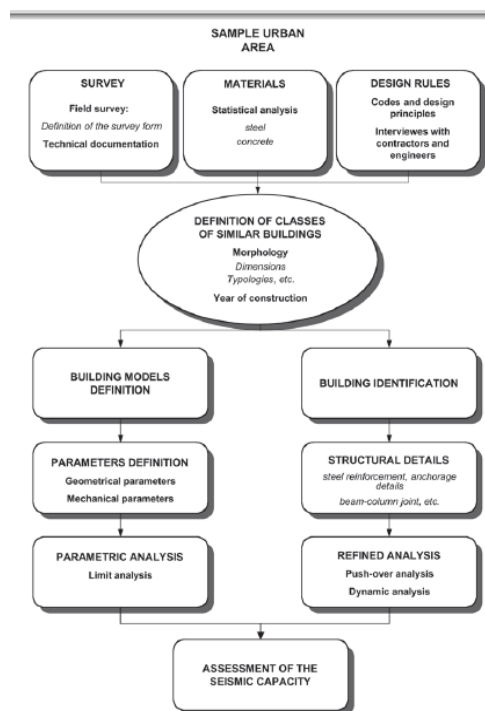


Figura 9. Fluxograma com a estratégia de avaliação proposta por *Cosenza et al.* [3].

Bibliografia

- [1] LIMKATANYU, S.; SPACONE E.; “Effects of reinforcement slippage on the non-linear response under cyclic loadings of RC frame structures”; *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*; Volume 32; Issue 15; p. 2407 – 2424; 2003.
- [2] KRAWINKLER, Helmut; “Progress and Challenges in Performance-based Earthquake Engineering”; *International Seminar on Seismic Engineering for Tomorrow - In Honor of Professor Hiroshi Akiyama*; Tokyo; Japan; November 1999.
- [3] COSENZA, E.; MANFREDI, G.; VERDERAME, G. M.; “A new strategy for the seismic assessment of existing RC buildings”; *Annals of Geophysics*, Vol. 45, N. 6, December 2002.
- [4] REBAP - Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-esforçado, Decreto-Lei nº 349-C/83, de 30 de Julho.
- [5] EN 1992 - 1-1: 2004 – Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings.
- [6] EN 1998 - 1: 2004 - Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings.
- [7] Especificação LNEC E 460-2008: Varões de aço A500 NR de ductilidade especial para armaduras de betão armado. Características, ensaios e marcação.
- [8] EN ISO 15630-1:2002 - Steel for the reinforcement and prestressing of concrete - Test methods - Part 1: Reinforcing bars, wire rod and wire.
- [9] BENJAMIN, Jack; CORNELL C. A.; “Probability, Statistics, and Decisions for Civil Engineers”; McGraw-Hill, Inc.; 1970; 684 p.; ISBN 0-07-004549-6.

*Análise estatística das características geométricas
do perfil nervurado dos varões A500NR SD*

- [10] HIRAI, Yasuhisa; “Some Remarks on Class Interval of Histograms”; Okayama University, Faculty of Education Research Collection Catalog; 82 (1); p. 113-117; 1989; ISSN 0471-4008.
- [11] EN 10080:2005 - Steel for the reinforcement of concrete - Weldable reinforcing steel - General.
- [12] ZUO, J.; DARWIN, D.; “Bond Slip of High Relative Area Bars Under Cyclic Loading”; ACI Structural Journal; 2000; 97-S37; 331–334.
- [13] DARWIN, D., ZUO, J., THOLEN, M.L., IDUN, E.K.; “Development Length Criteria for Conventional and High Relative Rib Area Reinforcing Bars”; ACI Structural Journal; 1996; 93-S32; 347–359.