

MINISTÉRIO DO EQUIPAMENTO, DO PLANEAMENTO
E DA ADMINISTRAÇÃO DO TERRITÓRIO
LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE EDIFÍCIOS
NÚCLEO DE PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO

Procº 082/11/10795

**AVALIAÇÃO DAS FLECHAS ADMISSÍVEIS
DE ELEMENTOS DE BETÃO ARMADO
DE SUPORTE DE PAREDES DE ALVENARIA**

Nota Técnica nº 22/99-NPC

Lisboa, Maio de 1999

Trabalho realizado no âmbito do Plano de Investigação Programada 1996-99

AVALIAÇÃO DAS FLECHAS ADMISSÍVEIS DE ELEMENTOS DE BETÃO ARMADO DE SUPORTE DE PAREDES DE ALVENARIA

NOTA INTRODUTÓRIA

O texto que constitui esta Nota Técnica serve de base para uma Palestra (realizada em 17 de Maio/99) sobre o tema do comportamento das alvenarias sob deformações do suporte, para a qual foi convidado o autor, no âmbito de colaboração na disciplina “Materiais e Tecnologias de Paredes e Pavimentos”, do Mestrado em Construção de Edifícios, do ano lectivo de 1998/99, na FEUP, Universidade do Porto. Nesta Nota Técnica aborda-se o tema das flechas admissíveis de elementos de betão armado de suporte de paredes de alvenaria. São analisados os aspectos característicos do comportamento das paredes de alvenaria e dos seus elementos de suporte. Analisam-se algumas questões relacionadas com a fendilhação de paredes de alvenaria e devidas essencialmente a situações de deformabilidade excessiva dos seus suportes. São feitas considerações sobre a limitação das flechas do suporte e analisadas algumas das recomendações constantes da regulamentação nacional e internacional

**AVALIAÇÃO DAS FLECHAS ADMISSÍVEIS DE ELEMENTOS DE BETÃO
ARMADO DE SUPORTE DE PAREDES DE ALVENARIA**

ÍNDICE DO TEXTO

	Pág.
1 - Generalidades	1
2- Limitação das deformações dos elementos de suporte	2
3- Recomendações gerais para a melhoria do comportamento	7

AVALIAÇÃO DAS FLECHAS ADMISSÍVEIS DE ELEMENTOS DE BETÃO ARMADO DE SUPORTE DE PAREDES DE ALVENARIA

1- Generalidades

Os elementos de construção de edifícios com estrutura de betão armado e, em particular, os elementos estruturais horizontais (lajes maciças e aligeiradas e vigas), sofrem deformações devido a diversas acções internas e externas a que estão sujeitos. Estes elementos induzem, por seu turno, deformações apreciáveis em paredes de alvenaria de preenchimento confinantes. A estas deformações adicionam-se as deformações internas que ocorrem, eventualmente, nas próprias paredes, e que usualmente se relacionam com as variações dimensionais devidas ao efeito da temperatura e da humidade.

No que se refere aos casos, mais frequentemente observados nos edifícios, de deformações impostas, destacam-se os que se relacionam com assentamentos diferenciais da fundação, com a deformação por flexão excessiva de pavimentos e vigas e com o efeito das variações térmicas [1], [6], [11], [12], [13].

O dimensionamento das estruturas em relação aos estados limites últimos tem vindo a possibilitar a escolha de elementos mais esbeltos, por aligeiramento da secção (diminuição da altura), ou seja a diminuição dos custos iniciais da construção. Julga-se, contudo, conveniente considerar devidamente os custos de conservação resultantes de anomalias eventualmente ocorrentes durante o período de utilização da construção e relacionadas frequentemente com a deformação excessiva dos suportes associada à fendilhação das paredes de alvenaria .

Uma das vias para diminuir a ocorrência de fenómenos de fendilhação nas paredes de alvenaria associada à deformação dos suportes consiste em definir determinados valores limites para a deformação dos elementos de suporte, e que deverão servir de referência no estudo do comportamento e na concepção dos seus elementos da construção confinantes. Afigura-se que, para além da limitação das deformações dos suportes, se torna conveniente adoptar, simultaneamente, disposições construtivas que permitam evitar a fendilhação das paredes, ou pelo menos minorar os seus efeitos, mediante, por exemplo, o confinamento das situações de fendilhação a zonas do edifício onde se possa considerar menos inconveniente a sua ocorrência.

2 – Limitação das deformações dos elementos de suporte

Encontram-se disponíveis variados documentos com carácter normativo, produzidos por países europeus ou por organizações internacionais, que impõem valores limites para a flecha relativa a/l_i de elementos estruturais de suporte, assim como para a relação l_i/h (a designando a flecha, l_i o vão equivalente e h a altura da secção) de forma a ser dispensável a verificação do estado limite de deformação, através do cálculo das flechas, rotações ou deslocamentos. Refira-se que o cálculo do valor da flecha do suporte de betão armado faz intervir diversas variáveis relacionadas com as propriedades dos materiais, designadamente o valor da tensão de rotura por tracção, o módulo de elasticidade e o coeficiente de fluência .

A regulamentação nacional, em particular o Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-esforçado (REBAP) [10] define que, em relação aos estados limites de deformação, a verificação da segurança poderá limitar-se, nos casos correntes de vigas e de lajes, à consideração de um estado limite definido por uma flecha igual a 1/400 do vão de elementos horizontais (artº 72º) para combinações frequentes de acções (RSA art. 12º, [9]); refere ainda que, nos casos em que a deformação do elemento afecte paredes divisórias, e a menos que a fendilhação seja contrariada por medidas adequadas, aquela flecha não deve ser tomada com valor superior a 15 mm. Contudo, está implícito no referido artigo que os valores limites das flechas a considerar em correspondência com as combinações de acções adequadas, com vista à verificação do estado limite de deformação, dependem do tipo de estrutura e das condições de utilização, devendo ser, portanto, convenientemente estabelecidos caso a caso, ou seja, a relação flecha/vão poderá ser, eventualmente, superior ou inferior a 1/400 (admite-se que possa ser escolhido entre os valores extremos de 1/800 e 1/250)

Por outro lado, o REBAP refere, no comentário ao seu artigo 11º, a inviabilidade de uma definição exhaustiva dos estados limites de deformação a considerar no dimensionamento, dado que estes dependem do tipo da estrutura e das condições da sua utilização. Fazendo apelo à norma ISO 4356 [8], o REBAP admite a possibilidade dos parâmetros condicionantes não serem apenas as flechas, mas, igualmente, as rotações ou os deslocamentos horizontais. Recomenda ainda que no projecto de estruturas se julgue convenientemente o problema para cada caso concreto, estabelecendo as limitações adequadas atendendo à finalidade da obra e tendo em conta os condicionamentos especiais que porventura lhe tenham sido especificados.

Este regulamento considera, no entanto, que a verificação da segurança atrás referida fica satisfeita, desde que sejam cumpridos os limites da relação entre o "vão equivalente" l_i ($l_i = \alpha.l$, l – vão; α - coeficiente dependente das condições de ligação do elemento de betão) e a altura dos elementos de suporte, prescritos nos seus artigos 89º (vigas), 102º (lajes maciças) e 113º (lajes aligeiradas). Assim, de acordo com o comentário ao art. 89º, as regras estabelecidas nesse artigo resultam da aplicação de hipóteses simplificadas para o cálculo de deformações (ver expressão seguinte) e considerando, em 89.1 (vigas) e 102.2a (lajes), uma relação flecha-vão $a/l_i = 1/400$ e, em 89.3 (vigas) e 102.2 b (lajes), uma flecha máxima de 15 mm (casos em que a deformação do elemento afecte paredes divisórias), valores estes que são preconizados, para os casos correntes, no art. 72.2 ; para outros valores limites fixados para a flecha relativa ou absoluta obter-se-ão outras condições para a relação l_i/h . Assim, os valores desta relação poderão ser obtidos de acordo com a expressão geral seguinte:

$$\frac{l_i}{h} = k \cdot \eta \cdot \left(\frac{a}{l_i} \right) \quad (1)$$

sendo: $k = 8000$ (vigas) ; $k = 12000$ (lajes) ;

e $\eta = 1,4$ (A235); $\eta = 1,0$ (A400) ; $\eta = 0,8$ (A400)

Substituindo l_i/h por $(\alpha.l)/(d \cdot \gamma)$, sendo l o vão e d a altura efectiva do elemento, e apresentando γ valores típicos entre 1,02 e 1,15 no caso de vigas e entre 1,05 e 1,30 no caso de lajes, e particularizando para casos em que o aço utilizado seja A400 ($\eta = 1,0$) e em que a deformação do elemento de betão (viga ou laje) afecte paredes divisórias (casos para os quais a flecha a não deve ser tomada com valor superior a 15 mm), obtém-se:

$$\frac{l}{d} = \left(\frac{k \cdot \eta \cdot \gamma}{\alpha} \right) \left(\frac{a}{l_i} \right) = \left(\frac{k \cdot \eta \cdot \gamma \cdot a}{\alpha} \right) \left(\frac{1}{l_i} \right) = \lambda \left(\frac{1}{l_i} \right) \quad (2)$$

sendo:

$$\lambda = \left(\frac{k \cdot \eta \cdot \gamma \cdot a}{\alpha} \right) = \left(\frac{k \cdot \gamma \cdot a}{\alpha} \right) ; \quad \lambda = \left(\frac{120 \cdot \gamma}{\alpha} \right) \text{ (vigas) } ; \quad \lambda = \left(\frac{180 \cdot \gamma}{\alpha} \right) \text{ (lajes) } \quad (3)$$

Saliente-se que o CEB-FIP [3] preconiza, no caso de simples verificações de cálculo das deformações (7.5.2.3), uma relação limite (a/l_i) igual a $1/300$.

Por outro lado, o Eurocódigo 2 (EC2: Betão - em fase de projecto) aborda o estado limite de deformação de forma de certo modo análoga ao REBAP. Assim, sugere um valor indicativo de $1/500$ para o cálculo do valor da relação flecha/vão, ocorrente após a construção de

elementos, tais como paredes divisórias, que devido às suas características possam estar sujeitos a danificações. Sugere ainda, no caso em que se pretenda evitar deficiências de aspecto ou na utilização dos elementos estruturais, um valor limite para a/l_i de 1/250, referido a acções quase-permanentes, [5] - ver 4.4.3.1, P(5),(6). De forma semelhante ao REBAP, estabelece que a verificação da segurança em relação à deformação fica satisfeita desde que sejam cumpridos os limites fixados para a relação entre o "vão efectivo ou equivalente" l_{eff} e a altura efectiva dos elementos de betão armado.

Todavia, deve-se salientar que o valor indicativo do EC2 de 1/500, de certo modo em correspondência com o valor de 1/400 do REBAP, se refere à flecha após a construção de elementos, tais como paredes divisórias, enquanto que este último se refere à flecha preconizada no REBAP para combinações frequentes de acções.

Anota-se que, no EC2, as limitações impostas à relação vão/altura dos elementos atrás referidas não diferenciam de forma marcada as vigas das lajes, ao contrário do que se verifica no REBAP, onde o próprio cálculo das flechas, que está na base da definição das limitações correspondentes, as diferencia claramente. Em contrapartida estabelece-se no EC2 uma distinção entre a situação do betão fortemente e ligeiramente tensionado, considerando-se, convencionalmente, que se atinge uma e outra situação, quando a percentagem de armadura é respectivamente da ordem de 1,5% e 0,5%. Admite-se, na determinação do limite máximo da relação vão/altura dos elementos, uma transição gradual entre as duas situações, mediante uma interpolação dos resultados, agravando-se esse limite à medida que o elemento fica mais tensionado.

No quadro 1 apresentam-se em paralelo os valores preconizados no REBAP e no EC2 para os limites máximos da relação vão/altura (l/d) dos elementos de suporte de paredes de alvenaria (para vãos superiores a 7 m, onde, aliás, os casos de deformação excessiva dos suportes se colocam com especial acuidade), associados a uma relação altura efectiva/altura total (d/h) com valores práticos entre 0,87 e 0,98 no caso de vigas e entre 0,78 e 0,94 no caso de lajes. Constata-se que os valores do REBAP, com excepção das lajes armadas nas duas direcções (vãos superiores a 8,5 m), se enquadram na faixa de valores correspondentes do EC2, sendo, em geral, os extremos inferiores dessa faixa de valores relativamente próximos entre si, enquanto que os extremos superiores diferem apreciavelmente. No EC2, os casos de valores extremos relativos a elementos com o betão respectivo levemente tensionado traduzem-se

aparentemente numa situação de menor penalização, quando comparada com a dos correspondentes valores extremos do REBAP relativos a vigas baixas ($d=0,87.h$) ou lajes delgadas ($d=0,77.h$).

Quadro 1 – Limites máximos da relação vão/altura efectiva (l/d) de vigas e lajes de suporte de paredes divisórias (no caso de utilização de varões de Aço A400) de acordo com o REBAP (art. 89 e 102) e Eurocódigo 2 (4.4.3.1 – e para vãos efectivos superiores a 7 m e elementos sem esforço axial aplicado)

	Vigas				Lajes maciças, aligeiradas e fungiformes							
	REBAP		Eurocódigo 2 (4)		Armada numa direcção				Armada em duas direcções			
	d = 0,98h	d = 0,87h	Betão fort. tens.	Betão lev. tens.	REBAP		Eurocódigo 2 (4)		REBAP		Eurocódigo 2 (4)	
					d = 0,94h	d = 0,77h	Betão fort. tens.	Betão lev. tens.	d = 0,94h	d = 0,77h	Betão fort. tens.	Betão lev. tens.
Simplemente apoiada	122/l _i	138/l _i	126/l _i	175/l _i	127,2/l _i	156/l _i	126/l _i	175/l _i	182/l _i	223/l _i	126/l _i	175/l _i
Duplamente encastrada	204/l _i	230/l _i	175/l _i	245/l _i	212/l _i	260/l _i	-	-	254/l _i	312/l _i	175/l _i	245/l _i
Apoiada numa extremidade (ou bordo) e encastrada na outra	153/l _i	173/l _i	-	-	159/l _i	195/l _i	-	-	-	-	-	-
Em consola (sem rotação no apoio)	51/l _i	58/l _i	49/l _i	70/l _i	53/l _i	65/l _i	49/l _i	70/l _i	-	-	49/l _i	70/l _i
Tramos intermédios de vigas ou lajes contínuas (1), (3)	204/l _i	230/l _i	175/l _i	245/l _i	212/l _i	260/l _i	175/l _i	245/l _i	-	-	175/l _i	245/l _i
Tramos extremos de vigas ou lajes contínuas (1), (3)	153/l _i	173/l _i	161/l _i	224/l _i	159/l _i	195/l _i	161/l _i	224/l _i	-	-	161/l _i	224/l _i
Lajes fungiformes (5)									212/l _i	260/l _i	179/l _i	257/l _i

(1) Vigas ou lajes contínuas cujos vãos não difiram significativamente ($l_{min} \geq 0,8 \cdot l_{max}$ - REBAP, art. n° 89);

(2) Os valores foram determinados supondo que a tensão nas armaduras é de 250 MPa, para uma carga de serviço numa secção fendilhada do meio vão de uma viga ou laje ou na zona de suporte de uma consola (cerca de $f_{yk} = 400$ MPa, ou seja um aço A400);

(3) Lajes armadas numa direcção ou armadas em duas direcções e contínuas segundo o maior vão (EC 2);

(4) Nos casos em que se conheça a percentagem de armadura do elemento, poderão ser interpolados valores intermédios entre as situações do betão ligeiramente tensionado e do betão fortemente tensionado, admitindo para estas armaduras uma percentagem, respectivamente, de $\rho = 0,5\%$ e de $\rho = 1,5\%$ (sendo $\rho = A_s/bd$; A_s - Área de armadura; b - largura do elemento; d - altura efectiva);

(5) válido apenas para vãos superiores a 8,5 m;

(6) a gama de valores da relação d/h , com extremos, no caso das vigas, entre 0,87.h (vigas baixas) e 0,98.h (vigas altas) e no caso de lajes, entre 0,77.h (lajes delgadas) e 0,94.h (lajes espessas), corresponde a recobrimentos com valores extremos respectivamente da ordem de 0,012.h e 0,08.h para vigas (ambiente mod. agressivo) e de 0,04.h e 0,15.h para lajes (ambiente pouco agressivo), admitindo um betão da classe igual ou inferior a B40, e armadura inferior longitudinal com diâmetro máximo igual ao valor do recobrimento;

Por outro lado, o Eurocódigo 6 (EC6: alvenarias - em fase de projecto) preconiza, no caso de paredes de alvenaria assentes sobre elementos estruturais de suporte (n° 4.4.9), que as tensões excessivas geradas pela interacção entre os elementos (parede e viga) devem ser contrariadas através da implementação de adequadas disposições construtivas [4]. Com base nos valores das características mecânicas, recomendados no EC 6 para as diferentes combinações entre os diversos tipos de blocos e de argamassas das juntas, pretendeu-se estimar valores de referência (faixa de valores da relação extremos superior e inferior) para a relação (f_b/l) entre a flecha de fendilhação f_b , ocorrente após a construção das paredes, e o vão respectivo (flecha f_b não

inclui a parcela da flecha inicial da viga antes da colocação da parede), apresentando-se os resultados no quadro 2.

Quadro 2 – Valores de referência para a relação entre a flecha de fendilhação ocorrente após a construção das paredes e o vão expressos para dois valores típicos da relação vão/altura das paredes de alvenaria

Tipo de Bloco de alvenaria	Valores de referência para a relação flecha de fendilhação ocorrente após a construção das paredes / vão											
	Grupo-tipo dos blocos (3)	Mód. Elast. da alven. $E_{c,inf}$	Classe da argamassa das juntas (EC6)									
			M1 a M2		M2,5 a M9		M10 a M20					
			Coesão inicial f_{vk0}	Flecha de fis./vão da parede f_b/l	Coesão inicial f_{vk0}	Flecha de fis./vão da parede f_b/l	Coesão inicial f_{vk0}	Flecha de fis./vão da parede f_b/l	Res. ao corte lim. f_{vk} (Mpa)	Res. ao corte lim. f_{vk} (Mpa)		
Res. ao corte lim. f_{vk} (Mpa)	Res. ao corte lim. f_{vk} (Mpa)	Res. ao corte lim. f_{vk} (Mpa)									Res. ao corte lim. f_{vk} (Mpa)	
$E_{c,up}$ (Mpa)	f_{vk} (Mpa)	L/H=1,5	L/H=3,5	L/H=1,5	L/H=3,5	L/H=1,5	L/H=3,5	L/H=1,5	L/H=3,5			
Blocos cerâmicos	Grupo 1	4745	0,1	1/12155	1/24655	0,2	1/18175	1/36870	0,3	1/21610	1/43845	
		8440	1,2	1/7900	1/16020	1,5	1/11810	1/23965	1,7	1/14050	1/28500	
	Grupo 2a	3865	0,1	1/9895	1/20075	0,2	1/14800	1/30020	0,3	1/17600	1/35700	
		6875	1,0	1/6430	1/13050	1,2	1/9620	1/19515	1,4	1/11440	1/23205	
	Grupo 2b	3515	0,1	1/8995	1/18250	0,15	1/13450	1/27290	0,2	1/16000	1/32455	
		6250	1,0	1/5845	1/11860	1,2	1/8745	1/17740	1,4	1/10400	1/21095	
	Grupo 3	2810	0,1	1/7195	1/14600	0,2	1/10760	1/21830	0,3	1/12800	1/25965	
		5000	-	1/4680	1/9490	-	1/6995	1/17740	-	1/8320	1/16875	
	Blocos de betão de inertes correntes	Grupo 1	4745	0,1	1/12155	1/24655	0,15	1/18175	1/36870	0,2	1/21610	1/43845
			8440	1,2	1/7900	1/16020	1,5	1/11810	1/23965	1,7	1/14050	1/28500
		Grupo 2a	3865	0,1	1/9895	1/20075	0,15	1/14800	1/30020	0,2	1/17600	1/35700
			6875	1,0	1/6430	1/13050	1,2	1/9620	1/19515	1,4	1/11440	1/23205
Grupo 2b		3515	0,1	1/8995	1/18250	0,15	1/13450	1/27290	0,2	1/16000	1/32455	
		6250	1,0	1/5845	1/11860	1,2	1/8745	1/17740	1,4	1/10400	1/21095	
Blocos de betão celular autoclavado	Grupo 1	3600	0,1	1/9215	1/18700	0,2	1/13780	1/27960	0,3	1/16390	1/21095	
		6400	1,2	1/5990	1/12150	1,5	1/8960	1/18170	1,7	1/10650	1/13710	
	Grupo 2a	2740	0,1	1/7015	1/14235	0,15	1/10490	1/21285	0,2	1/12480	1/23205	
		4875	1,0	1/4560	1/9250	1,2	1/6820	1/13835	1,4	1/8110	1/15085	
Grupo 2b	2285	0,1	1/5845	1/11860	0,15	1/8745	1/17740	0,2	1/10400	1/21095		
	4060	1,0	1/3800	1/7710	1,2	1/5685	1/11530	1,4	1/7660	1/13710		
Blocos de argila expandida	Grupo 1	4745	0,1	1/12155	1/24655	0,15	1/18175	1/36870	0,2	1/21610	1/43845	
		8440	1,2	1/7900	1/16020	1,5	1/11810	1/23965	1,7	1/14050	1/28500	
	Grupo 2a	3865	0,1	1/9895	1/20075	0,15	1/14800	1/30020	0,2	1/17600	1/35700	
		6875	1,0	1/6430	1/13050	1,2	1/9620	1/19515	1,4	1/11440	1/23205	
	Grupo 2b	3515	0,1	1/8995	1/18250	0,15	1/13450	1/27290	0,2	1/16000	1/32455	
		6250	1,0	1/5845	1/11860	1,2	1/8745	1/17740	1,4	1/10400	1/21095	
Blocos de pedra	Grupo 1	2740	0,1	1/10795	1/21900	0,15	1/16140	1/32750	-	-	-	
		4875	1,0	1/7015	1/14235	1,0	1/10490	1/21285	-	-	-	
Blocos silico-calcários	Grupo 1	3085	0,1	1/7900	1/16020	0,2	1/11810	1/23965	0,3	1/14048	1/28500	
		5490	1,2	1/5135	1/10420	1,5	1/7680	1/15580	1,7	1/9130	1/18500	
	Grupo 2a	2510	0,1	1/6430	1/13050	0,15	1/9620	1/19515	0,2	1/11440	1/23205	
		4470	1,0	1/4180	1/8480	1,2	1/6250	1/12680	1,4	1/7435	1/15085	
	Grupo 2b	2285	0,1	1/5845	1/11860	0,15	1/8745	1/17740	0,2	1/10400	1/21095	
		4060	1,0	1/3800	1/7710	1,2	1/5685	1/11530	1,4	1/7660	1/13710	

(1) f_{vk0} – coesão ou seja a resistência ao corte da junta bloco-argamassa para uma tensão de compressão nula determinada com base na EN 1052-3 ou 1052-4 ou com base no quadro 3-4 do EC6; a resistência ao corte limite f_{vk} é dada pelo mesmo quadro 3-4 (EC6, 3.6.3-3);

(2) – adopta-se, no cálculo das deformações a longo prazo, um módulo de elasticidade reduzido de 60% (EC6, 3.8.2-4);

(3) – classificação de grupo de acordo com o EC6, 3.1.1-6: grupo 1- blocos maciços ou com percentagem de furação vertical inferior a 25% e respeitando certas condições; grupo 2a - blocos com percentagem de furação vertical superior a 25% e inferior a 45%(tijolos) ou 55% (bl. de betão); grupo 2b - blocos com percentagem de furação vertical superior a 45% e inferior a 55% (tijolos) ou 60% (bl. de betão); grupo 3- blocos com percentagem de furação horizontal inferior a 70% e respeitando certas condições;

(4) – escolheram-se dois valores representativos da relação entre o comprimento L e a altura H das paredes (L/H=1,5 e L/H=3,5); refira-se que estes mesmos valores de L/H serviram de valores de referência na ISO 4356 [8] para a avaliação do comportamento de paredes face a deformações impostas;

(5)- o valor inferior e superior do módulo de elasticidade em compressão E_c (sendo $E_c = k \cdot f_{ck}$; $k=650$ ou $k=1000$, ver EC2, 3.8.2) da alvenaria corresponde, respectivamente, ao caso da utilização nas juntas da alvenaria de uma argamassa M1 a M2 e de uma argamassa M10 a M20, utilizando na sua determinação, por simplificação, um valor de f_{ck} igual a $f_{vk}/0,065$;

(6) os valores f_b/l foram determinados através de um modelo de análise simplificado que consistiu no cálculo da flecha de uma viga elástica simplesmente apoiada e sujeita a carga central (formulação de Timoshenko) utilizando um valor de extensão de tracção crítica [11] igual a $f_{vk0}/1,33$ (extremo superior) e $f_{vk0}/2$ (extremo inferior) , e admitindo, por aproximação, um módulo de elasticidade em tracção E_t igual a cerca de $E_c/3$ e reduzido de 60% , atendendo a que se trata de cálculo de deformações a longo prazo (ver EC6, 3.8.2)

Pela análise dos resultados do quadro 2 pode-se inferir que os valores de referência para a relação flecha/vão (f_v/l) conduzem a limitações mais severas à medida que se aumenta a relação vão/altura (L/H) da parede, bem como nos casos em que se aumenta a classe de resistência da argamassa das juntas. Tal severidade também se acentua com a diminuição da percentagem de furação dos blocos. Convém referir que estes valores apenas devem ser encarados a título indicativo. Com efeito, a avaliação das deformações dos elementos de suporte que conduzem à fendilhação das paredes de alvenaria passa, para cada caso específico, pelo conhecimento tão aproximado quanto possível da capacidade de deformação, condições de execução e ligação à estrutura das paredes de alvenaria, e pela consideração dos resultados da experiência de observação do comportamento de edifícios.

Por fim, no que se refere a disposições normativas existentes noutros países europeus, destacam-se as recomendações do CSTC [7] para os valores admissíveis das deformações, nos casos de anomalias em elementos não-estruturais adjacentes a elementos sujeitos a deformações ou então suportados por esses elementos. Nessas recomendações, consideram-se diversas fases de carregamento a que o elemento de suporte é sujeito: peso próprio; peso próprio e outras cargas permanentes; peso próprio, outras cargas permanentes e cargas variáveis.

3 - Recomendações gerais para a melhoria do comportamento

Uma das questões práticas a resolver será a de estabelecer, para cada tipo de utilização e de acções de conservação previstas para o edifício ao longo da sua vida útil, o nível de fendilhação que pode ser considerado admissível para um determinado tipo de acabamento da parede.

Em paralelo pode-se preconizar a limitação da referida fendilhação com base na adopção de medidas, quer na fase construtiva, quer no âmbito das acções de conservação, essencialmente com vista a aumentar a capacidade das paredes de absorção dos movimentos impostos [12]. As linhas de orientação para a implementação dessas medidas norteiam-se pelos seguintes princípios básicos: dessolidarização das paredes em relação aos suportes superior e inferior;

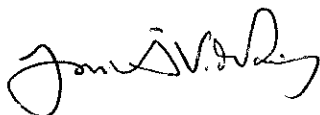
colocação de armaduras nas juntas argamassadas das paredes; criação de juntas de movimento na parede.

Por outro lado, em edifícios de médio e grande porte com estrutura reticulada e cujas malhas estruturais se encontram preenchidas com paredes de alvenaria sobrepostas, os pavimentos ou vigas, não sendo absolutamente rígidos, podem induzir nas paredes dos primeiros andares deformações significativamente superiores às que se registam nos pavimentos ou vigas mais elevados. Para minorar estas deformações excessivas, para além da possibilidade de escolha de elementos de suporte mais rígidos, poderá optar-se por outras medidas tais como: a desfasagem adequada entre o momento da descofragem do suporte e a construção das paredes; o estudo da ordem de construção das paredes dos diferentes pisos, de forma a que os pisos inferiores não sejam demasiado solicitados; a construção das paredes só após a retirada dos prumos de descofragem dos suportes [12].

Lisboa e Laboratório Nacional de Engenharia Civil, em Maio de 1999

VISTO

O Chefe do Departamento
de Edifícios



José Vasconcelos Paiva

AUTORIA



José Luis Miranda Dias
Doutor em Engenharia Civil,
Investigador Auxiliar

MD/

BIBLIOGRAFIA

- [1] - COMITE EURO-INTERNATIONAL DU BETON (CEB) - *Manuel C.E.B. sur les déformations, deuxième partie: Pathologie des excès de deformation.* (project), Bruxelles, CEB, Juin, 1973.
- [2] - COMITE EURO-INTERNATIONAL DU BETON (CEB) - *Manuel de calcul: Fissuration et déformations.* Bulletin d'information n° 143, Paris, CEB, 1981.
- [3] - COMITE EURO-INTERNATIONAL DU BETON (CEB) - *CEB-FIP Model code .* (Final draft), Paris, CEB, 1990.
- [4] - COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES (CEC) - *Eurocode n°6: Common unified rules for masonry structures.* CEN TC/250/SC6, June 1995.
- [5] - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN) - *Eurocode n°2: Design of concrete structures.* Part 1 (european standard), Brussels, CEN, 1991.
- [6] - CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION (CSTC) - *La fissuration des maçonneries.* Note d'information technique n° 65, Bruxells, CSTC, Mars, 1967.
- [7] - CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION (CSTC) - *Deformations admissibles dans le bâtiment.* Note d'information technique n° 132, Bruxells, CSTC, Septembre, 1980.
- [8] - ORGANIZATION INTERNATIONAL DE NORMALIZATION (ISO) - *Bases du calcul des constructions - Déformations des bâtiments à l'état limite d'utilisation.* Norme ISO 4356, Genève, ISO, 1977.
- [9] - PORTUGAL (Leis, decretos-leis, etc) - *Regulamentos de solicitações em Edifícios e Pontes (RSA).* Decreto-lei n° 235/83, de 31 de Maio de 1983, Lisboa, Imprensa Nacional-Casa da Moeda, EP, 1983.
- [10] - PORTUGAL (Leis, decretos-leis, etc) - *Regulamentos de estruturas de betão armado e pré-esforçado (REBAP).* Decreto-lei n° 349- C/83, de 30 de Julho de 1985, Lisboa, Imprensa Nacional-Casa da Moeda, EP, 1985.
- [11] – BURLAND, J. B. , WROTH, C. P. – *Settlements of buildings and associated damge.* Proc. Conf. On Settlements of structures, p. 611-654, Cambridge, 1974.
- [12] – PFEFFERMAN, O – *Fissuration des cloisons en maçonnerie due à une deformation excessive du suport. Étude experimentale.* CSTC-Révue n° 3, Bruxells, Mai-Juin 1969
- [13] – MIRANDA DIAS, J. L. – *Comportamento conjunto das paredes de alvenaria de blocos de betão leve e dos seus elementos estruturais de suporte – Tese de Doutoramento, IST.* LNEC, Julho de 1997