

PRODUÇÃO E ENSAIOS DE VIGAS DE BETÃO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO

WHITE PAPER

CONTEÚDOS

1	Resumo	5
2	Introdução	6
3	Produção de vigas	8
3.1	Amostras	8
3.2	Produção de betão na central de betão pronto	9
3.3	Produção de betão em laboratório	10
3.4	Enchimento e compactação dos moldes de vigas	11
3.5	Cura e armazenamento	12
4	Ensaio	14
4.1	Informações gerais	14
4.2	Preparação de amostras	14
4.3	Dispositivos de ensaio	16
4.4	Desempenho dos ensaios	18
5	Avaliação	20
5.1	Ensaio em 3 pontos	20
5.2	Classificação dos resultados do ensaio em 3 pontos (EN 14651), de acordo com FIB MODEL CODE 2010 21	23
5.3	Classificação dos resultados do ensaio em 3 pontos (EN 14651), de acordo com DIN EN 14845-2 22	24
5.4	Classes de desempenho de acordo com a diretriz para betão reforçado com fibras de aço do Comité Alemão para o Betão Reforçado – ensaio em 4 pontos	25
6	Conclusão	30
7	Referências	31
8	Links úteis	33
9	Contactos	34

1 RESUMO

A tabela seguinte resume os parâmetros mais importantes para a produção e ensaio de vigas de betão reforçado com fibras de aço:

Parâmetro	Ensaio em 3 pontos	Ensaio em 4 pontos
Norma/Diretriz	EN 14651 [1]	DAfStb Guideline “Steel fibre reinforced concrete” [2]
Dimensões da amostra	150 mm · 150 mm · [550 mm to 700 mm]	150 mm · 150 mm · 700 mm
Comprimento da fibra	≤ 60 mm	35 mm* to 60 mm* (Deve ser pelo menos 1,5 vezes a dimensão máx. dos inertes)
Granulometria máxima	32 mm	16 mm – seixo rolado 22 mm – inertes britados
Número mínimo de vigas	12 ²⁾ (14) ³⁾	6 (7) ³⁾
Entalhe	Largura: 5 mm, altura da viga no entalhe = 125 ± 1 mm	–
Ensaio	Abertura de fissura (CMOD) ou deflexão	Deflexão
Comprimento do Span	500 mm	600 mm
Velocidade do ensaio	CMOD até 0,1 mm: 0,05 mm/min (gravação com ≥ 5 Hz) CMOD maior que 0,1 mm: 0,2 mm/min (gravação com ≥ 1 Hz)	Deflexão até 0,75 mm: 0,10 mm/min Deflexão de 0,75 mm: 0,30 mm/min
Outros	O ensaio deve ser concluído quando o valor de CMOD não for inferior a 4 mm.	As cargas e as deformações devem ser registadas até 3,5 mm, com incrementos de 0,01 mm.
Avaliação	Abertura de fissura (deflexão): f _{R1} (CMOD = 0,5 mm (0,47 mm)) – estado limite de serviço (ELS) f _{R2} (CMOD = 1,5 mm (0,47 mm)) f _{R3} (CMOD = 2,5 mm (2,17 mm)) – estado limite último (ELU) f _{R4} (CMOD = 3,5 mm (3,02 mm))	Classes desempenho: L1 (0,5 mm deflexão) – estado limite de serviço (ELS) L2 (3,5 mm deflexão) – estado limite último (ELU)

¹⁾ No caso de um valor nominal mais elevado da granulometria máxima, são necessárias considerações separadas relativamente às dimensões das amostras

²⁾ De acordo com EN 14845-2 [3].

³⁾ Recomendação baseada na experiência da KrampeHarex.

* Valor usual de acordo com o folheto 614 do Comentário da DAfStb sobre a Diretriz da DAfStb “Betão Reforçado com Fibras de Aço” [4].

No âmbito deste livro branco, as explicações de várias normas, recomendações, códigos de prática e directrizes para ensaios de vigas com foco na EN 14651 e na directriz “Betão Reforçado com Fibras de Aço” do Comité Alemão para o Betão Reforçado (DAfStb), pretendem fornecer uma visão geral das regras a seguir e dos vários passos a considerar na produção e ensaio de vigas feitas de betão reforçado com fibras de aço.

O desempenho das fibras de aço de acordo com a norma EN 14889-1 no betão é determinado pela resistência à flexão residual (pós-fissuração). A determinação da resistência à flexão do betão com fibras de aço é efectuada em amostras fabricadas separadamente.

The performance of steel fibres according to EN 14889-1 in concrete is determined by the residual (post-cracking) flexural strength. The determination of the flexural strength of concrete with steel fibres is carried out on separately manufactured samples.

A nível internacional, o ensaio de flexão em 3 pontos, de acordo com a norma EN 14651 [1], é predominantemente utilizado. Na Alemanha, é (ainda) utilizado o ensaio de flexão em 4 pontos de acordo com a directriz DAfStb “Steel Fiber Reinforced Concrete”, que também é parcialmente utilizado em outros países europeus.

O ensaio de flexão em 3 pontos, de acordo com a norma EN 14651 [1], é um ensaio especificamente desenvolvido para caracterizar o betão reforçado com fibras de aço e para obter parâmetros de projeto. Este método de ensaio destina-se a fibras de aço com um comprimento máximo de 60 mm e uma granulometria máxima de 32 mm. A aplicação do método também pode ser utilizada para uma combinação de fibras de aço e para uma combinação de fibras de aço com outras fibras. No entanto, este livro branco trata exclusivamente da produção e do ensaio de vigas de betão reforçado com fibras de aço.

A vantagem deste ensaio, de acordo com a norma EN 14651 [1], é que a resistência está relacionada com CMODs específicos e os índices de resistência podem ser utilizados diretamente no projeto para o estado limite correspondente. O comportamento à tração do betão reforçado com fibras de aço é avaliado com base na resistência residual à tração por flexão, que se baseia na curva carga-abertura de fendas ou na curva carga-deflexão obtida pela aplicação de uma carga central numa viga entalhada simplesmente apoiada.

Os resultados dos ensaios são expressos em Limite de Proporcionalidade (LOP) e resistência residual à tração por flexão. A classificação dos resultados do ensaio de flexão em 3 pontos de acordo com a norma EN 14651 [1] é possível de acordo com o FIB MODEL CODE 2010 [6], considerando o RILEM TC 162-TDF: „Test and design methods for steel fibre reinforced concrete“ [7].

A directriz “Betão armado com fibras de aço” do DAfStb [2], que descreve o ensaio de flexão em 4 pontos, é um documento introduzido pelas autoridades de construção na

Alemanha que regula as propriedades e aplicações do material de construção “betão armado com fibras de aço” que não são abrangidas pela norma DIN EN 1992-1-1 [8] em conjunto com DIN EN 1992-1-1/NA [9] (Eurocódigo 2), DIN EN 206-1 [10] em conjunto com DIN 1045-2 [11] e DIN EN 13670 [12] em conjunto com a DIN 1045-3 [13] ou com as directrizes “Estruturas de betão impermeáveis à água” [14] ou com as directrizes DAfStb “Construção em betão para o manuseamento de substâncias poluentes da água” [14] ou “Estruturas de betão impermeáveis à água” [15].

As directrizes da DAfStb “Estruturas de betão como barreira contra a penetração de substâncias perigosas para a água” [14] e “Estruturas de betão impermeáveis à água (WU Guideline) [15] já incluem a utilização de betão reforçado com fibras de aço. Com base na directriz DAfStb “Steel fibre reinforced concrete” [2], é possível classificar o betão reforçado com fibras de aço em classes de desempenho com base na resistência à flexão pós-fissuração determinada no ensaio de flexão em 4 pontos.

“The explanations in this White Paper mainly refer to DIN EN 14651 as well as the guideline “Steel Fibre Reinforced Concrete” in combination with booklet 614 “Explanations of the Steel Fibre Reinforced Concrete Guideline”.

A classe de desempenho L1, que é utilizada para pequenas deformações, representa o estado limite de serviço (ELS), e a classe de desempenho L2 para deformações maiores representa o estado limite último (ELU).

As explicações neste livro branco referem-se principalmente à norma DIN EN 14651 [1] e à directriz “Betão reforçado com fibras de aço” [2] em combinação com o folheto 614 “Explicações da Directriz para o Betão Reforçado com Fibras de Aço” [4].

3.1 Amostras

As amostras (vigas) devem ter uma secção transversal de 150 mm x 150 mm tanto para o ensaio de flexão em 3 pontos como para o ensaio de flexão em 4 pontos. O comprimento das vigas para o ensaio de flexão em 3 pontos pode ser entre 550 mm e 700 mm. Na prática, é frequentemente utilizado um comprimento de 550 mm. No ensaio de flexão em 4 pontos, é prescrito um comprimento de 700 mm.

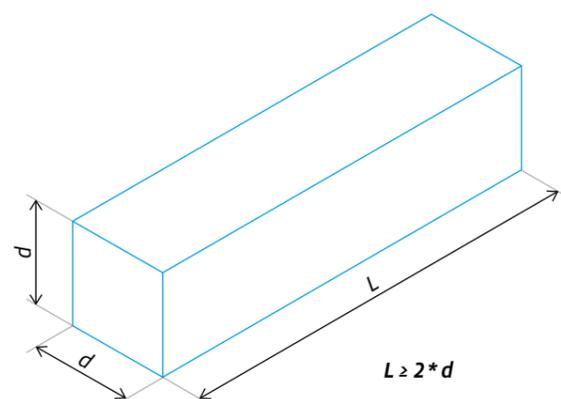


Figura 1: Dimensões nominais do prisma (viga) com base na norma DIN EN 12390-1 [16]

De acordo com a norma DIN EN 12390-1 [16], devem ser observadas as seguintes tolerâncias para as amostras a fabricar:

- Para faces moldadas, um desvio máximo admissível de 1 % da dimensão nominal d (ver Figura 1).
- O valor limite do desvio admissível do lado de enchimento em relação à superfície de base moldada é de 1,5 % da dimensão nominal.
- A esquadria das superfícies laterais em relação à superfície de base é limitada a um máximo de 0,5 mm.
- As superfícies em contacto com os suportes durante o ensaio de flexão não devem apresentar um desvio superior a 0,3 mm em termos de planimetria.

As tolerâncias de esquadria e de altura são apresentadas graficamente na Figura 2.

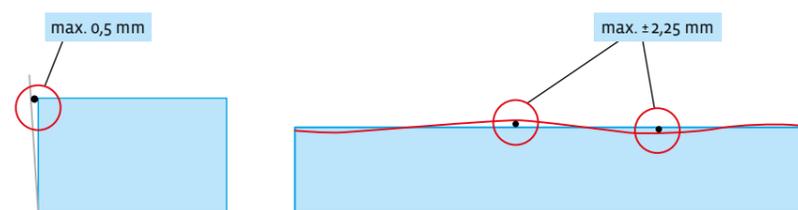


Figura 2: Tolerâncias para a esquadria (topo) e tolerâncias para a altura (lado do enchimento à superfície da base moldada) de acordo com a norma DIN EN 12390-1 [16].

3.1.1 Ensaio em 3 pontos

Para o ensaio de flexão em 3 pontos de acordo com a norma EN 14651 [1], doze vigas entalhadas devem ser ensaiadas de acordo com a norma EN 14845-2 [3]. As fibras devem ser colocadas num betão de referência de acordo com a norma EN 14845-1 [17].

For the 3-point bending test according to EN 14651, twelve notched beams are to be tested in accordance with EN 14845-2.

Para as vigas com dimensões de 150 mm x 150 mm x 550 (até 700 mm), a granulometria máxima dos agregados pode ser até 32 mm e/ou o comprimento das fibras de aço não pode exceder 60 mm.

3.1.2 Ensaio em 4 pontos

O ensaio de resistência à tração por flexão após fissuração, de acordo com o Anexo O, para classificação do betão numa classe de desempenho e para verificação da classe de desempenho, deve ser realizado com um tampão ('buffer'), mas não deve ser realizado com mais do que o valor mínimo do teor de fibras de aço $m_{f,min}$. A aplicação correcta do tampão ('buffer') é descrita no folheto "Dosagem de fibras de aço para a produção de espécimes para o ensaio inicial para determinar a classe de desempenho" [18].

At least 6 beams are used for the 4-point bending test.

São utilizadas pelo menos 6 vigas para o ensaio de flexão em 4 pontos. As dimensões e as tolerâncias são descritas em pormenor na secção 3.1. A granulometria máxima dos agregados utilizados para as dimensões das vigas de 150 mm x 150 mm

não deve exceder 16 mm para um seixo rolado e 22 mm para inertes britados. Se se pretender ensaiar um valor nominal mais elevado da granulometria máxima, devem ser feitas considerações separadas relativamente às dimensões dos provetes. O comprimento mínimo das fibras de aço deve ser, pelo menos, 1,5 vezes a dimensão máxima dos inertes. Para a produção (cf. secção 3.3.2), devem ser consideradas as especificações da norma DIN EN 12390-2 [20]. A composição do betão, incluindo o tipo e a quantidade de fibras, é determinada pelo fabricante do betão reforçado com fibras de aço.

3.2 Produção de betão em centrais de betão pronto

Para a produção na central de betão pronto, deve ser planeado um horizonte temporal de aproximadamente 2 horas. Tal como nos ensaios de laboratório, deve ser utilizada uma formulação de betão adequada para fibras de aço.

Para a produção de betão reforçado com fibras de aço, um camião betoneira deve se apresentar com um tambor limpo durante um período de cerca de 1,5 horas. Não deve haver água e/ou resíduos de aditivos para betão no tambor do camião betoneira.

Além disso, deve garantir-se que não foi entregue betão com introdutor de ar no dia da betonagem da produção dos provetes com o camião betoneira a utilizar.

A fibra é adicionada no camião betoneira e não através da central de mistura - exceção: caso esteja disponível uma central de betão com dosagem (totalmente) automática para fibras. O tempo de mistura deve ser de pelo menos 5 minutos para garantir uma distribuição homogénea das fibras.

Para encher os moldes das vigas (ver secção 3.4), deve assegurar-se que a mesa vibratória está direita e alinhada sobre uma base rígida.

O betão deve ser colocado do camião betoneira num carrinho de mão e retirado do bordo com uma pá adequada (ver secção 3.4). Deve evitar-se o picar do betão para não influenciar a distribuição das fibras.

3.3 Produção de betão em laboratório

3.3.1 Ensaio em 3 pontos

Para misturar o betão, deve ser utilizada uma misturadora adequada (horizontal). Os agregados grossos, a areia e o cimento são adicionados ao misturador por esta ordem e misturados durante 60 segundos. De seguida, é adicionada a água de amassadura e o tempo de mistura é de 60 segundos. Por fim, são adicionadas as fibras. O tempo de mistura é de 270 segundos para garantir que todas as fibras são separadas e distribuídas homogeneamente. Finalmente, deve ser feita uma inspeção visual da distribuição das fibras.

3.3.2 Ensaio em 4 pontos

Para uma distribuição homogénea das fibras, recomenda-se a seguinte sequência de mistura, de acordo com [2], para garantir uma distribuição homogénea das fibras:

- Adicionar os agregados ao misturador obrigatório e misturar durante pelo menos 30 segundos.
- Em seguida, adiciona-se o cimento e o aditivo para betão e mistura-se durante mais 30 segundos.
- Adiciona-se água e aditivos de betão liquefeitos durante um tempo de mistura mínimo de 30 segundos.

- Para garantir uma adição uniforme de fibras de aço soltas, deve ser utilizada uma calha para evitar a formação de bolas durante um novo tempo mínimo de mistura de 60 segundos. Posteriormente, deve ser respeitado um tempo de mistura de, pelo menos, 90 segundos. É importante verificar se todas as fibras estão distribuídas de forma homogénea. No caso de fibras aglutinadas, deve ser tomado um cuidado adicional para garantir que as fibras sejam soltas.

Caso contrário, o tempo de mistura deve ser prolongado. No caso de um misturador com pás fixas, recomenda-se o levantamento regular para evitar a acumulação de fibras. É sempre necessária uma inspeção visual do processo de mistura.

3.4 Enchimento e compactação dos moldes de vigas

3.4.1 Informações gerais

Deve garantir-se que a marcação das vigas é clara e permanente até ao ensaio.

Os moldes devem ser verificados antes do enchimento para garantir que o agente desmoldante foi aplicado e que todos os parafusos existentes estão apertados.

3.4.2 Ensaio em 3 pontos

Salvo indicação em contrário, os provetes devem ser fabricados e curados em conformidade com as normas EN 12350-1 [19] e EN 12390-2 [20].

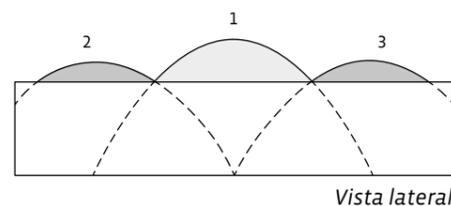
O procedimento de enchimento dos moldes é mostrado na Figura 3. O tamanho da porção 1 deve ser o dobro do tamanho da porção 2 ou 3. É importante utilizar uma pá larga e grande (não uma pá pequena como uma colher de pedreiro). Os moldes devem ser enchidos até cerca de 90 % da altura do provete antes da compactação. Durante a compactação, o betão deve ser enchido e alisado. Os moldes devem ser enchidos e nivelados com um vibrador externo durante a compactação. O tempo de compactação/vibração depende da consistência do betão reforçado com fibras de aço. No caso de betão muito rígido, é vantajoso o equipamento com dois motores que possam fornecer toda a energia como energia vertical (mesa vibratória de alta frequência com 6000 – 9000 rpm). A área útil deve ser de, pelo menos, 400 mm – 600 mm. No caso do betão auto-adensável com fibras de aço, o molde é enchido e acabado sem compactação. A sequência de enchimento é análoga à do ensaio de flexão em 4 pontos (cf. Figura 3, secção 3.4.3).

3.4.3 Ensaio em 4 pontos

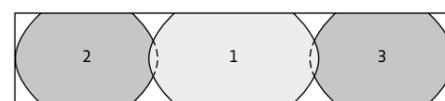
Ao encher o molde da viga, deve assegurar-se que o betão reforçado com fibras de aço é enchido rapidamente e que não ocorrem orientações anormais das fibras. De modo a influenciar o menos possível a distribuição das fibras, deve ser utilizada uma pá de amostragem plana para o enchimento. De acordo com [4], recomenda-se a

sequência de enchimento apresentada na Figura 3 – começando no centro do molde da viga.

Ensured that the steel fibre reinforced concrete is filled quickly and that no unusual fibre orientations occur.



Vista lateral



Vista de cima

Figura 3: Sequência de enchimento do molde da viga para os ensaios de flexão em 4 pontos [21] a partir de [4].

Para compactar o betão reforçado com fibras de aço no molde da viga, só é permitida a utilização de um vibrador externo - mesa vibratória de tamanho suficiente. Para as classes de consistência F3 e F4, um tempo de vibração de 30 segundos é normalmente suficiente para assegurar a compactação completa do betão. Se forem utilizados betões da classe de consistência F6, é permitida a compactação manual por picagem.

3.5 Cura e armazenamento pós-tratamento

3.5.1 Ensaio em 3 pontos

Os provetes são curados de acordo com a norma EN 12390-2 [20]. Devem permanecer nos moldes durante pelo menos 16 horas, mas não mais de 3 dias, protegidos do impacto, da vibração e da secagem a uma temperatura de 20 ± 5 °C.

Depois de retirados do molde, os provetes são rodados 90° e, em seguida, serrados ao longo da largura do provete a meio do vão (o entalhe é serrado no lado direito ou esquerdo do provete, e não em cima ou em baixo). A largura do entalhe não deve exceder 5 mm (ver secção 4.2.1, figura 4, canto inferior esquerdo).

As amostras devem ser deixadas a curar, pelo menos, 3 dias depois de serem serradas até 3 horas antes do ensaio, debaixo de água a uma temperatura de 20 ± 2 °C ou numa câmara climática a 20 ± 2 °C e com uma humidade relativa de pelo menos 95 %. Devem ser feitas verificações regulares para assegurar que as superfícies das amostras na câmara estão constantemente húmidas.

Deve evitar-se a perda de humidade durante o transporte (para o laboratório). As amostras devem ser transportadas em sacos de plástico selados contendo água.

3.5.2 Ensaio em 4 pontos

After stripping, the specimens must be conditioned at about 100% humidity. Optionally, storage can be in foil, in water or in a climatic room with a relative humidity ≥ 95 %.

Após a conclusão do processo de compactação, o lado de enchimento aberto do molde deve ser coberto com folha de alumínio e as amostras devem ser armazenadas na sala climática. Normalmente, os moldes cobertos com a folha de alumínio são armazenados durante 2 dias na sala climática. Se forem utilizados cimentos de resistência precoce, o armazenamento durante 24 horas é suficiente. Após a remoção dos moldes,

as amostras devem ser condicionadas a cerca de 100 % de humidade. Podem ser armazenados em papel de alumínio, em água ou numa sala climática com uma humidade relativa ≥ 95 %. As amostras devem ser armazenadas a (20 ± 5) °C até à data de ensaio especificada - normalmente 28 dias. Se as amostras forem armazenadas em folha de alumínio, deve assegurar-se que são seladas, por exemplo, com fita adesiva, de modo a evitar a libertação de água.

4.1 Informações gerais

Antes de iniciar os ensaios, deve saber-se que laboratório e método serão utilizados para fornecer informações e conselhos adicionais e para compreender melhor os resultados dos ensaios.

4.2 Preparação das amostras

4.2.1 Ensaio em 3 pontos

O ensaio deve ser efectuado após 28 dias.

Existem dois métodos:

- No primeiro método, o curso de abertura da fenda (ou entalhe) é medido colocando um transdutor de deslocamento ao longo do eixo longitudinal no centro da largura do provete dentro do entalhe, de modo a que a distância y entre a parte inferior da amostra e a linha em que a medição é feita seja de 5 mm ou menos (ver Figura 4, em cima).
- No segundo método, a deflexão é medida fixando um transdutor de deslocamento à parte inferior da amostra, que deve ser fixada a uma estrutura rígida no centro da altura do componente na amostra acima dos suportes. Um lado da estrutura deve ser fixado à amostra com um dispositivo de deslizamento e o outro com um dispositivo de inclinação. Uma vez que o transdutor de deslocamento é para medir a deflexão, uma placa fina pode ser fixada numa extremidade a meio da largura sobre a abertura do entalhe no ponto de medição (ver Figura 4, em baixo).

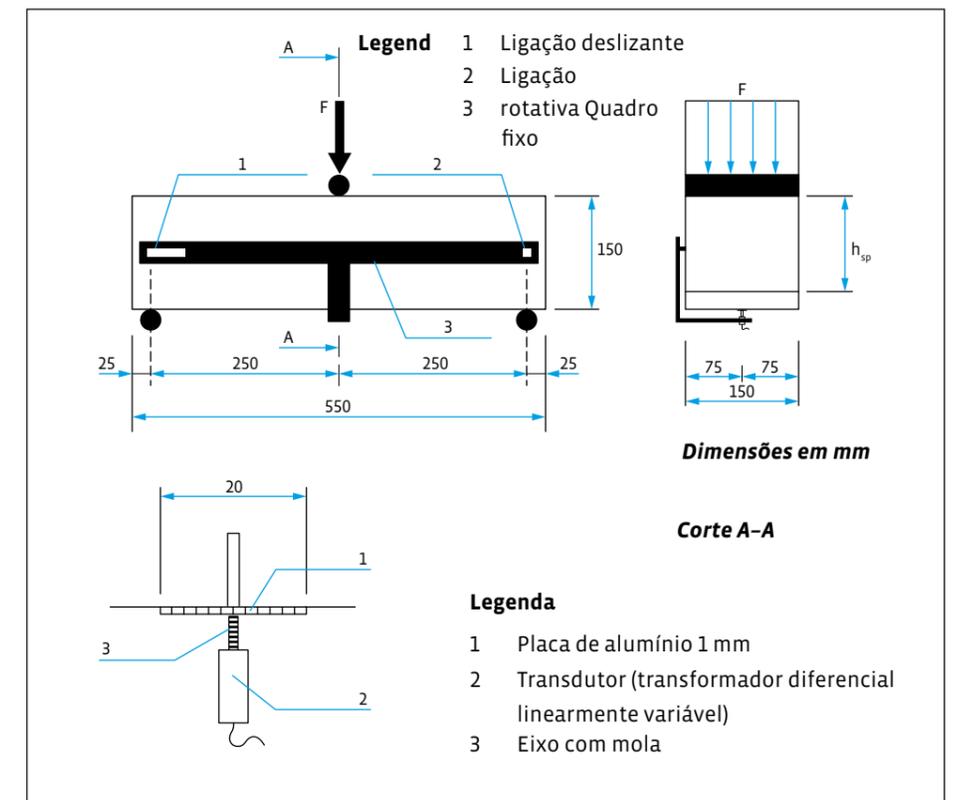
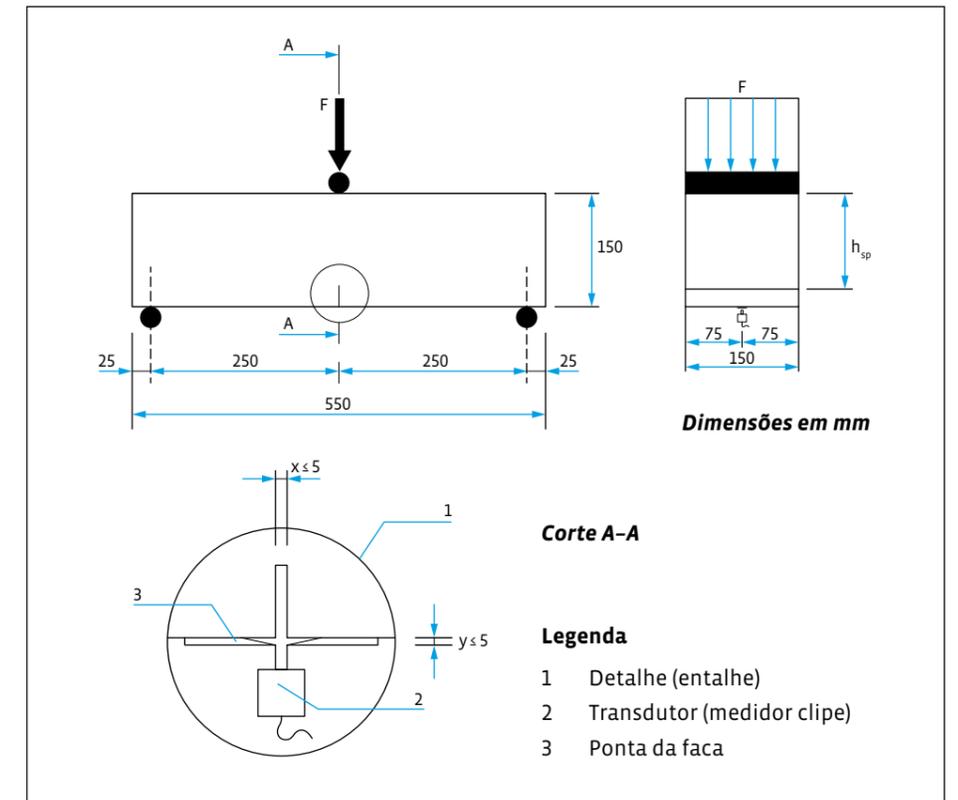


Figura 4: Disposição típica para medir o CMOD (em cima) e a deflexão (em baixo) [1]

4.2.2 Ensaio em 4 pontos

As amostras são testadas aos 28 dias de idade, salvo indicação em contrário. Para aplicações especiais, pode ser necessário efetuar o ensaio depois dos 28 dias.

A amostra pode ser retirada da folha de alumínio, da água ou da câmara climática no máximo 24 horas antes de testar a resistência à flexão e o comportamento pós-fissuração. As especificações da norma DIN EN 12390-5:2009-07 [22], secções 5 e 6.1, devem ser observadas. O lado de enchimento da viga é sempre uma superfície lateral do provete para garantir que apenas as faces moldadas estão em contacto com os rolos de suporte.

Além disso, a densidade aparente da viga deve ser determinada de acordo com a norma DIN EN 12390-7 [23] como parte da preparação do ensaio.

Posteriormente, os dispositivos para a aquisição dos valores medidos são fixados à amostra. A Figura 5 mostra o dispositivo de medição.

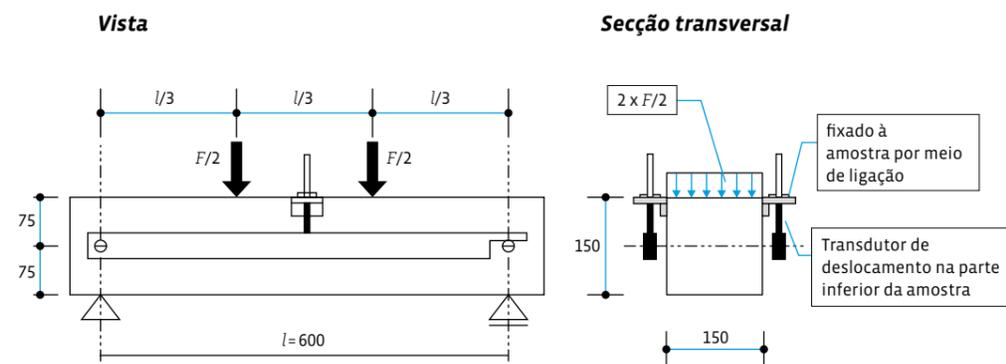


Figura 5: Dispositivo de medição para determinar as resistências à tração pós-fissuração (dimensões em mm) para o ensaio de flexão em 4 pontos [2].

4.3 Dispositivos de ensaio

4.3.1 Informações gerais

A amostra deve ser montada no centro da máquina de ensaio com o eixo longitudinal da amostra perpendicular ao eixo longitudinal dos rolos superior e inferior.

Todas as superfícies de aplicação da carga devem ser limpas e quaisquer detritos soltos ou outros materiais estranhos devem ser removidos das superfícies da amostra em contacto com os rolos.

Antes de realizar cada ensaio de flexão, determina-se o vão médio de apoio da amostra a partir de duas medições da distância entre os eixos dos rolos de apoio de ambos os lados da amostra, utilizando uma régua com uma aproximação de 1 mm.

A carga só deve ser aplicada quando o rolo de carga e os rolos de apoio estiverem em contacto uniforme com a amostra.

4.3.2 Ensaio em 3 pontos

A rigidez da estrutura de carga é o fator crítico para a obtenção de resultados imparciais. Esta rigidez é essencial para detetar a primeira fissura na curva de deformação

The stiffness of the loading frame is the critical factor in obtaining unbiased results.

e, em última análise, para descrever a resistência dos componentes. A máquina de ensaio deve estar em conformidade com a Classe 1, de acordo com a norma EN 12390-4 [24], e permitir a realização de ensaios controlados por deslocamento (variação constante do deslocamento (CMOD ou deflexão)). Com concepções de pórticos mais fracas, a

primeira fissura será incorretamente mapeada, invalidando os resultados do ensaio. A rigidez da estrutura de ensaio deve ser de pelo menos 2,8 MN/mm e a velocidade de controlo de pelo menos 5 kHz.

O dispositivo de aplicação da carga da máquina de ensaio à amostra deve ser constituído por dois rolos de suporte e um rolo de aplicação da carga. Todos os rolos devem ser feitos de aço e ter uma secção transversal circular com um diâmetro de pelo menos 30 mm \pm 1 mm. Devem ser pelo menos 10 mm mais compridos do que a largura da amostra. Dois dos rolos, incluindo o superior, devem poder rodar livremente em torno do seu eixo longitudinal e devem poder ser inclinados no plano perpendicular ao eixo longitudinal da amostra. O comprimento do vão deve ser de 500 mm.

4.3.3 Ensaio em 4 pontos

O ensaio de flexão em 4 pontos deve ser efectuado numa máquina de ensaio controlada por deslocamento (classe de qualidade 1 de acordo com a norma DIN 51220 [25]) com uma rigidez da máquina suficientemente elevada, um tempo de reacção suficientemente curto e uma frequência de medição suficientemente elevada para garantir que se evita uma queda descontrolada na curva carga-deflexão após a ultrapassagem da carga de fendilhação. Se for utilizada uma máquina de ensaio ou um dispositivo de ensaio demasiado macio, ocorrerá uma sobrestimação das resistências à tração por flexão após fendilhação. Este é particularmente o caso

para a deformação de 0,5 mm (L1). Devido ao salto comparativamente grande entre os pontos de deformação na carga máxima e o início da gama de tensões de flexão pós-fissuração, as cargas resultantes são sobrestimadas em até duas classes de desempenho.

O comprimento do vão l deve ser de 600 mm. O apoio e a aplicação de carga sem restrições devem ser assegurados, uma vez que, caso contrário, pode formar-se um arco de compressão, o que também leva a uma sobrestimação da classe de desempenho. Para este efeito, pelo menos um suporte deve assegurar o movimento livre do provete na direção horizontal. O mesmo se aplica aos dois pontos de aplicação de carga.

4.4 Desempenho dos ensaios

4.4.1 Ensaio em 3 pontos

Ao realizar o ensaio com controlo da abertura da fenda (CMOD), a máquina deve ser controlada com uma velocidade constante de abertura da fenda (CMOD) de 0,05 mm/min até uma abertura de fenda CMOD de 0,1 mm. A partir de CMOD de 0,1 mm, o CMOD pode aumentar a uma velocidade de 0,2 mm/min.

A frequência de registo da carga e do CMOD associado deve ser igual ou superior a 5 Hz nos primeiros dois minutos do ensaio e igual ou superior a 1 Hz nos minutos seguintes.

O ensaio deve ser efectuado, pelo menos, até um valor de CMOD de 4 mm e não deve ser terminado antes desse momento.

Se o valor mais baixo da carga entre CMODFL e CMOD = 0,5 mm for inferior a 30 % da carga associada ao valor de CMOD = 0,5 mm, o procedimento de ensaio deve ser examinado quanto a descontinuidades.

Se o controlo do aumento da velocidade da máquina de ensaio for efectuado através da deflexão, aplica-se o procedimento de ensaio descrito para a abertura de fendas (CMOD). Deve garantir-se que os parâmetros relativos ao CMOD constantes do quadro 1, secção 5.1, sejam convertidos em parâmetros relativos à deformação.

Se, durante o ensaio, ocorrerem fissuras fora da indentação, os ensaios devem ser classificados como inválidos e rejeitados.

4.4.2 Ensaio em 4 pontos

A velocidade de deflexão deve ser limitada a 0,10 mm/min durante o ensaio, até uma deflexão central de 0,75 mm. É proibido o controlo da máquina de ensaio através do curso do pistão. Se a deformação for superior a 0,75 mm, é permitido um aumento gradual da taxa de deformação até um máximo de 0,30 mm/min. As cargas e as deformações associadas devem ser medidas e registadas graficamente até uma deformação da amostra de 3,5 mm em incrementos de 0,01 mm.

Se a formação inicial de fissuras ocorrer com uma deflexão significativamente superior a aprox. 0,1 mm, a disposição do ensaio deve ser verificada. A causa pode ser, por exemplo, transdutores de deslocamento montados incorretamente ou a medição da deformação com dispositivos ópticos colocados externamente. Como resultado, as deformações nos apoios, por exemplo, são incorretamente avaliadas como deformações. Neste caso, a posição dos transdutores de deslocamento deve ser verificada. Para outras possíveis fontes de erro durante a execução do ensaio e o seu tratamento durante a avaliação, consultar os capítulos 3.2 e 3.4 em [26].

5.1 Ensaio em 3 pontos

Na avaliação de acordo com a norma 14651 [1], o Limite de Proporcionalidade (LOP) é determinado:

$$f_{ct,L}^f = \frac{3 \cdot F_L \cdot l}{2 \cdot b \cdot h_{sp}^2} \quad (1)$$

- $f_{ct,L}^f$ Limite de Proporcionalidade [N/mm²]
- F_L Carga correspondente ao Limite de Proporcionalidade [N]
- l Comprimento do vão [mm]
- b Largura da amostra
- h_{sp} Distância entre a ponta da indentação e a parte superior da amostra [mm]

Para determinar a carga F_L pertencente ao limite de proporcionalidade, é traçada uma linha paralela ao eixo de carga do CMOD de carga ou da curva de deflexão de carga a uma distância de 0,05 mm. F_L s5 representa a carga máxima no intervalo de 0 a 0,05 mm e é calculada com uma aproximação de 0,1 N/mm².

A Figura 6 seguinte mostra exemplos da determinação correcta de F_L .

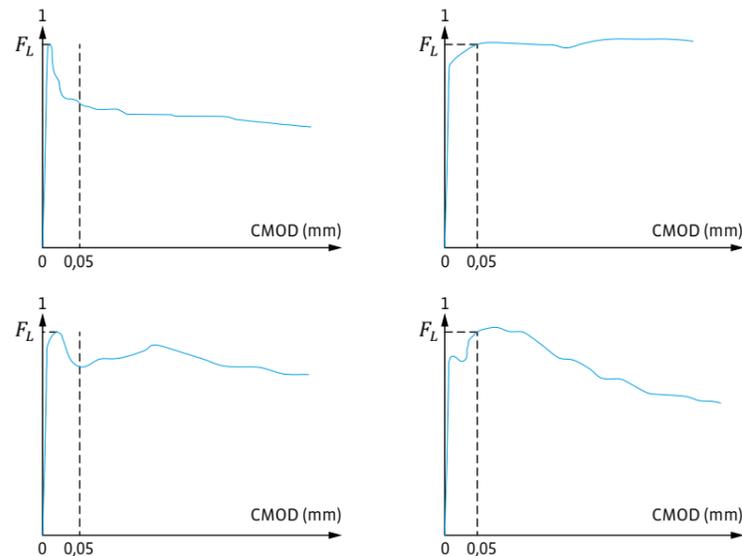


Figura 6: Diagramas de carga CMOD e FL [1]

Para além do limite de proporcionalidade, $f_{ct,L}^f$ resistência residual à tração por flexão $f_{R,j}$ (ver figura 7) é também determinada arredondando para 0,1 N/mm²:

$$f_{R,j} = \frac{3 \cdot F_j \cdot l}{2 \cdot b \cdot h_{sp}^2} \quad (2)$$

- $f_{R,j}$ Resistência residual à tração por flexão [N/mm²] pertencente ao CMOD = CMODj ou $\delta = \delta_j$ (j = 1, 2, 3, 4)
- F_j Carga [N] associada ao CMOD = CMODj ou $\delta = \delta_j$ (j = 1, 2, 3, 4) (cf. Figura 7)
- l Comprimento do vão [mm]
- b Largura da amostra [mm]
- h_{sp} Distância entre a ponta da indentação e a parte superior da amostra [mm]

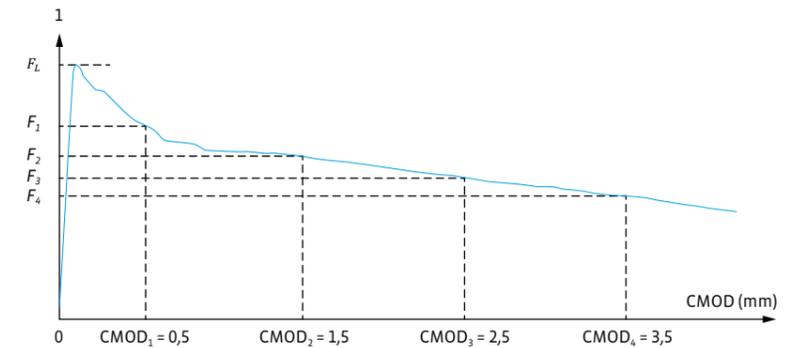


Figura 7: Diagramas carga-CMOD e F_j (j = 1, 2, 3, 4) [1]

O rácio entre o CMOD e a deflexão pode ser calculado de acordo com a seguinte equação:

$$\delta = 0,85 \cdot CMOD + 0,04 \quad (3)$$

δ : deflexão [mm]

CMOD: valor de CMOD [mm] quando a distância y entre o fundo do provete e a linha em que é medido é igual a o.

Se a distância y for medida na parte inferior do provete, o valor de CMOD pode ser estimado a partir do CMODy medido através da seguinte equação:

$$CMOD = CMOD_y \cdot \frac{h}{h+y} \quad (4)$$

h: Altura total da amostra

Para traduzir o diagrama carga-CMOD das Figuras 6 e 7 em diagramas carga-deflexão, recomenda-se deslocar o eixo CMOD utilizando os valores δ do Quadro 1.

Tabela 1: Relação entre CMOD e δ [1].

CMOD [mm]	δ [mm]
0,05	0,08
0,1	0,13
0,2	0,21
0,5	0,47
1,5	1,32
2,5	2,17
3,5	3,02
4,0	3,44

De acordo com as explicações em [7], a relação de conversão entre a resistência à tração por flexão residual “caraterística” $f_{R,j}$ a resistência à tração por flexão residual “média” $f_{R,jk}$ pode ser representada de acordo com a seguinte fórmula:

$$f_{Rjk} = f_{Rm,j} - k_x \cdot s_p \quad (5)$$

f_{Rjk} : Resistência residual caraterística à tração por flexão [N/mm²] associada ao CMOD = CMOD_j ou $\delta = \delta_j$ (j = 1, 2, 3, 4)

$f_{Rm,j}$: Resistência média residual à tração por flexão [N/mm²] associada ao CMOD = CMOD_j ou $\delta = \delta_j$ (j = 1, 2, 3, 4)

s_p : Desvio padrão [N/mm²]:

$$s_p = \sqrt{\frac{\sum (f_{Rm,j} - f_{R,j})^2}{(n - 1)}}$$

n: Número de amostras

k_x : Fator de fratura em função do número de amostras (ver Tabela 2)

No quadro 2, $k_{x_{desconhecido}}$ significa que o coeficiente de variação da população é desconhecido - em vez do desvio-padrão da população, utiliza-se o desvio-padrão da amostra de controlo.

Tabela 2: Fator de fratura k_x [7]

n	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	∞
$k_{x_{conhecido}}$	2,31	2,01	1,89	1,83	1,80	1,77	1,74	1,72	1,68	1,67	1,64
$k_{x_{desconhecido}}$	-	-	3,37	2,63	2,33	2,18	2,00	1,92	1,76	1,73	1,64

Classificação dos resultados

5.2 do ensaio de flexão em 3 pontos (EN 14651) de acordo com o FIB MODEL CODE 2010

O procedimento de ensaio de acordo com a norma EN 14651 [1] foi adoptado do Código Modelo 2010 [6].

The post-cracking flexural tensile strength is classified first by the strength interval of f_{R1k} and second by the f_{R3k}/f_{R1k} ratio. The number represents the f_{R1k} class, while the letter represents the ratio of f_{R3k}/f_{R1k} .

As resistências à tração por flexão residual características após a fendilhação, que são de importância central de acordo com o Código Modelo FIB, são:

- f_{R1k} (CMOD = 0,5 mm) para o dimensionamento do estado limite de serviço (ELS)
- f_{R3k} (CMOD = 2,5 mm) para a verificação do estado limite último (ELU)

A resistência à tração por flexão pós-fissuração é classificada em primeiro lugar pelo intervalo de resistência de f_{R1k} e em segundo lugar pelo rácio f_{R3k}/f_{R1k} . O número representa a classe f_{R1k} , enquanto a letra representa o rácio f_{R3k}/f_{R1k} .

O intervalo de resistência para f_{R1k} é definido da seguinte forma:

- 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0 [N/mm²].

O rácio f_{R3k}/f_{R1k} é representado pelas letras a, b, c, d e e que correspondem aos seguintes intervalos:

- „a“ für $0,5 \leq f_{R3k}/f_{R1k} < 0,7$
- „b“ für $0,7 \leq f_{R3k}/f_{R1k} < 0,9$
- „c“ für $0,9 \leq f_{R3k}/f_{R1k} < 1,1$
- „d“ für $1,1 \leq f_{R3k}/f_{R1k} < 1,3$
- „e“ für $1,3 \leq f_{R3k}/f_{R1k}$

Exemplo: “Betão reforçado com fibras de aço C50/60 - 5.0c”.

- Resistência característica à compressão no cilindro ($f_{ck,cyl}$) = 50 N/mm² ou no tubo ($f_{ck,cube}$) = 60 N/mm²
- Resistência residual à tração por flexão com CMOD = 0,5 mm, $f_{R3k} = 5,0$ N/mm²
- Resistência residual à tração por flexão a CMOD = 2,5 mm, $f_{R3k} = 4,5$ ($0,9 \cdot f_{R1k}$) a 5,5 N/mm² ($0,9 \cdot f_{R1k}$)
- Note-se que f_{R1k} está num intervalo de 5,0 e 5,9 N/mm², pelo que também f_{R3k} pode variar de 4,5 a 5,5 N/mm² para $f_{R1k} = 5,0$ N/mm² e até 5,31 a 6,49 N/mm² para $f_{R1k} = 5,9$ N/mm² pode variar
- Alle Festigkeitswerte sind immer charakteristische Werte nach statistischer Auswertung.

Todos os valores de resistência são sempre valores característicos após avaliação estatística:

- $f_{R3k}/f_{LK} > 0,4$ e
- $f_{R3k}/f_{R1k} > 0,5$

Aqui, f_{LK} é o valor característico do limite de proporcionalidade (LOP, cf. secções 2 e 5.1), que corresponde à carga máxima a aplicar (ou ao valor mais elevado no intervalo 0 - 0,05 mm) determinado nos ensaios de vigas de acordo com a norma EN 14651 [1].

Classificação dos resultados

5.3 do ensaio de flexão em 3 pontos (EN 14651) de acordo com a DIN EN 14845-2

De acordo com a norma DIN EN 14845-2 [3], deve ser determinada a quantidade de fibras com a qual são cumpridos os dois requisitos seguintes:

- Resistência residual à tração por flexão com um alargamento da fenda (CMOD) de 0,5 mm (correspondente a uma deformação central de 0,47 mm): $\geq 1,5$ MPa
- Resistência residual à tração por flexão com um alargamento da fenda (CMOD) de 3,5 mm (correspondente a uma deformação central de 3,02 mm): $\geq 1,0$ MPa

Para determinar o desempenho médio das 12 vigas, os valores anómalos devem ser detectados utilizando o ensaio de Grubb descrito na norma ISO 5725-2:1994 [27] para uma probabilidade de 5%. Todos os resultados não representativos que se situem fora deste limite devem ser excluídos.

5.4 Classes de desempenho de acordo com a diretriz relativa ao betão reforçado com fibras de aço do Comité Alemão do Betão Armado - Ensaio de flexão em 4 pontos

No ensaio de flexão em 4 pontos de acordo com [2], como se mostra na Figura 8, nos pontos de deformação $L1 = 0,5$ mm (classe de desempenho 1 (L1) - estado limite de utilização) e $L2 = 3,5$ mm (classe de desempenho 2 (L2) - estado limite último), as resistências à tração por flexão pós-fendilhação são determinadas a partir da curva carga-deflexão do ensaio.

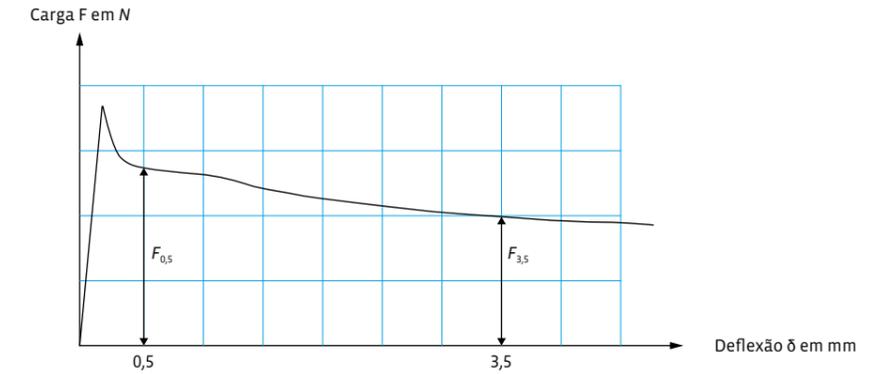


Figura 8: Relação carga-deflexão para determinar as resistências à tração por flexão após fendilhação [2]

A partir de uma série de ensaios constituída por, pelo menos, 6 vigas, as resistências médias à tração por flexão pós-fendilhação da série de ensaios para L1 e L2 são calculadas do seguinte modo

$$f_{cfm,L1}^f = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{F_{0,5,i} \cdot l}{b_i \cdot h_i^2} \quad \text{em N/mm}^2 \quad (6)$$

$$f_{cfm,L2}^f = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{F_{3,5,i} \cdot l}{b_i \cdot h_i^2} \quad \text{em N/mm}^2 \quad (7)$$

l, b, h Comprimento do vão, largura e altura da amostra em mm;

Index i número de viga.

Os valores característicos da resistência à tração por flexão pós-fissuração $f_{cfk,Li}^f$ para a classificação do betão reforçado com fibras de aço nas classes de desempenho L1 e L2 são determinados de acordo com esta fórmula:

$$f_{cfk,Li}^f = e^{(L f_{cfm,Li}^f - k_s \cdot L_s)} \leq 0,51 \cdot f_{cfm,Li}^f \quad \text{em N/mm}^2 \quad (8)$$

$L f_{cfm,Li}^f$ Valor médio dos resultados dos ensaios individuais logaritizados $f_{cfi,Li,i}^f$ em N/mm²

$$L f_{cfm,Li}^f = \frac{1}{n} \cdot \sum \ln(f_{cfi,Li,i}^f)$$

L_s Desvio padrão dos resultados logaritmizados dos ensaios individuais da série;

$$L_s = \sqrt{\frac{\sum (L f_{cfm, Li}^f - \ln(f_{cfi, Li}^f))^2}{n-1}}$$

k_s Fator fractil para desvio-padrão desconhecido para o quantil de 5% com um nível de confiança de 75%, de acordo com o Quadro 3.

Quadro 3: Fator de fratura k_s [2]

Nr. De amostras	Fator de fratura k_s
6	2,336
9	2,141
12	2,048
15	1,991
20	1,932
25	1,895
100	1,760
∞	1,645

NOTA: Não é permitida uma modificação da equação 8 a coeficientes de variação inferiores, uma vez que os valores de κ_c^f (cf. Parte 1, Secção R.3.6.3 em [2]) foram calibrados para o pré-fator 0.51..

Para a curva carga-deflexão, deve haver uma progressão monotónica entre $\delta_{L1} = 0,5$ mm e $\delta_{L2} = 3,5$ mm. Se este não for o caso, tomar o valor mais baixo da resistência à tração por flexão pós-fendilhação ($F'_{3,5}$) entre $\delta_{L1} = 0,5$ mm e $\delta_{L2} = 3,5$ mm para $\delta_{L2} = 3,5$ mm e inseri-lo na Equação 7. O procedimento pode ser visto na Figura 9.

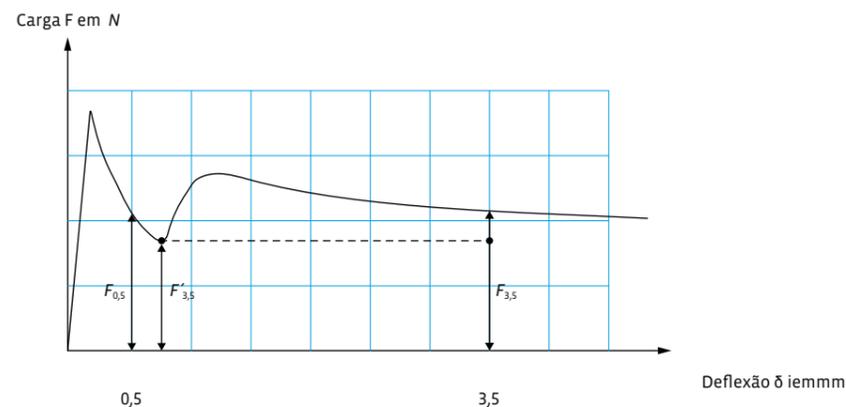


Figura 9: Avaliação da relação carga-deflexão para curvas divergentes [2]

A tabela seguinte pode ser utilizada para derivar a classe de desempenho com base nos valores característicos determinados da resistência à tração pós-fissuração $f_{cfik, L1}^f$ ou $f_{cfik, L2}^f$. Em cada caso, selecionar a classe de desempenho que seja inferior ou igual à resistência à tração por flexão pós-fissuração característica calculada $f_{cfik, L1}^f$ ou $f_{cfik, L2}^f$.

Exemplo:

Para $f_{cfik, L1}^f = 1.21$ N/mm², a classe de desempenho L1 é 1,2.

Para $f_{cfik, L2}^f = 0.89$ N/mm², a classe de desempenho L2 é 0,6.

Como já foi explicado, os valores característicos das resistências à tração por flexão pós-fissuração $f_{cfik, Li}^f$ são obtidos como valores fractais de 5% das resistências médias à tração por flexão pós-fissuração. Estes valores fractais são utilizados para classificar o betão reforçado com fibras de aço nas classes de desempenho de acordo com o Quadro 4. Normalmente, o valor da classe de desempenho L1 é maior do que o valor correspondente da classe de desempenho L2. De acordo com o Quadro 4, a gama de classes de desempenho compreende as resistências à tração pós-fissuração características $f_{cfik, Li}^f$ entre 0,4 e 3,0 N/mm².

Tabela 4: Classes de desempenho L1 e L2 para betão reforçado com fibras de aço com os correspondentes valores básicos das resistências à tração pós-fissuração centrada [2].

Coluna	1	2	3	4	5
	Valores de base da resistência à tração por flexão centrada pós-fratura f_{cto} em N/mm ²				
	Deformação 1		Deformação 2		
Linha	L1	$f_{cto, L1}^f$	L2	$f_{cto, L2}^f$	$f_{cto, u}^f$
1	0	< 0,16	0	-	-
2	0,4 ^a	0,16	0,4 ^a	0,10	0,15
3	0,6	0,24	0,6	0,15	0,22
4	0,9	0,36	0,9	0,23	0,33
5	1,2	0,48	1,2	0,30	0,44
6	1,5	0,60	1,5	0,38	0,56
7	1,8	0,72	1,8	0,45	0,67
8	2,1	0,84	2,1	0,53	0,78
9	2,4	0,96	2,4	0,60	0,89
10	2,7 ^b	1,08	2,7 ^b	0,68	1,00
11	3,0 ^b	1,20	3,0 ^b	0,75	1,11

^a Apenas para componentes estruturais com uma grande área de superfície (b > 5%).

^b Para o betão reforçado com fibras de aço destas classes de desempenho, é necessária uma prova de usabilidade.

Exemplo de acordo com [2]:

“C30/37 – L1,2/0,9 – XC1 – WO”

Em que

- C30/37 classe de resistência à compressão do betão de acordo com a norma DIN EN 206-1 em conjunto com a DIN 1045-2
- Resistência característica à compressão no cilindro ($f_{ck,cyl}$) = 30 N/mm² ou no cubo ($f_{ck,cube}$) = 37 N/mm²
- Classe de desempenho L1: 1.2 (estado limite de utilização)
- Resistência característica à tração por flexão após fissuração $f_{cf1k,L1}^f \geq 1,2$ N/mm²
- Classe de desempenho L2: 0,9 (estado limite último)
- Resistência característica à tração por flexão após fissuração $f_{cf1k,L2}^f \geq 0,9$ N/mm²
- Todos os valores de resistência são sempre valores característicos após avaliação estatística.
- XC1: classe de exposição
- WO: classe de humidade

NOTA: A classe de desempenho L1 é normalmente maior ou igual à classe de desempenho L2.

A diretriz [2] permite a interpolação linear para a determinação dos resultados dos ensaios iniciais se forem observadas as seguintes condições e o procedimento indicado. Por um lado, é permitida uma interpolação relativa ao teor de fibras de aço para a mesma classe de resistência e, por outro lado, uma interpolação relativa às resistências do betão para o mesmo teor de fibras.

Interpolation with respect to the steel fibre content at the same strength class and interpolation with respect to the concrete strengths at the same fibre content is made possible.

Ao **interpoliar o teor de fibras de aço para a mesma classe de resistência**, os betões reforçados com fibras de aço, que apenas podem diferir por uma diferença no teor de fibras de, no máximo, 20 kg/m³, devem ter sido ensaiados de acordo com o procedimento e as condições de enquadramento apresentados no contexto do presente Livro Branco (ver também o Anexo O da diretriz DAfStb [2]).

Se for este o caso, é permitido determinar a resistência média à tração por flexão pós-fissuração por interpolação linear para outros betões entre os dois teores de fibras testados. Apenas podem existir variações nas composições do betão no teor

de plastificante ou superplastificante. A diretriz permite que, para o cálculo dos valores característicos - a base de cálculo é a equação 8 - se utilizem desvios-padrão interpolados para simplificar. Não é permitida a interpolação considerando a classe de desempenho Lo e/ou uma classe de desempenho superior a L2,4.

Além disso, a interpolação da classe de resistência à compressão do betão é possível com o mesmo teor de fibras. O pré-requisito para tal é que dois betões com os mesmos constituintes tenham sido ensaiados de acordo com o Anexo O da diretriz “Steel Fibre Reinforced Concrete”[2]. Um betão tem uma classe de resistência à compressão baixa (por exemplo, C20/25) e o outro betão tem uma resistência à compressão mais elevada (por exemplo, C35/45). Para as classes intermédias de resistência à compressão do betão, pode ser efectuada linearmente uma interpolação da resistência média à tração por flexão pós-fendilhação proporcional ao rácio das resistências médias à tração f_{ctm} dos respectivos betões de acordo com a norma DIN EN 1992-1-1 [8, 9].

Os betões com materiais de base idênticos devem satisfazer os seguintes requisitos:

- Agregados da mesma origem geológica;
- O mesmo tipo de cimento e a mesma classe de resistência do cimento;
- Aditivo do mesmo tipo;
- Adjuvantes do mesmo tipo.

6. CONCLUSÃO

O desempenho das fibras de aço no betão, de acordo com a norma EN 14889-1 [5], é determinado pela resistência à flexão residual (pós-fissuração). A determinação da resistência à flexão do betão com fibras de aço é realizada em amostras fabricadas separadamente.

“
for the bending tests – regardless of whether for the 3- or 4-point bending test – are manufactured according to the specifications.”

Anível internacional, é predominantemente utilizado o ensaio de flexão em 3 pontos de acordo com a norma EN 14651 [1]. Na Alemanha, é (ainda) utilizado o ensaio de flexão em 4 pontos de acordo com a diretriz DAfStb “Steel Fibre Reinforced Concrete” [2], que também é parcialmente utilizado em outros países europeus.

A utilização fiável e económica do betão reforçado com fibras de aço só é possível se os provetes para os ensaios de flexão - independentemente de se tratar do ensaio de flexão em 3 ou 4 pontos - forem fabricados e ensaiados de acordo com as especificações. Além disso, a avaliação e interpretação correctas dos resultados dos ensaios são de importância fundamental e central. Resultados reproduzíveis e comparáveis são essenciais para a correcta avaliação e classificação do desempenho do betão reforçado com fibras de aço. Seguindo as explicações deste livro branco, podem ser evitados erros comuns na produção, ensaio e classificação do betão reforçado com fibras de aço.

7. REFERÊNCIAS

- [1] DIN EN 14651:2007-12 Test method for metallic fibre concrete - Measuring the flexural tensile strength (limit or proportionality (LOP), residual); German version EN 14651:2005+A1:2007
- [2] DAfStb STAHLFASERBETON:2021-06: Steel fibre concrete supplements and amendments to DIN EN 1992-1-1 in conjunction with DIN EN 1992-1-1/NA, DIN EN 206-1 in conjunction with DIN 1045-2 and DIN EN 13670 in conjunction with DIN 1045-3 – Part 1: Design and construction – Part 2: Specification, performance, production and conformity – Part 3: Execution of structures
- [3] DIN EN 14845-2:2006-11 Test methods for fibres in concrete - Part 2: Effect on concrete; German version EN 14845-2:2006
- [4] DAfStb-Heft 614:2015-11: Commentary on the DAfStb Guideline “Steel Fibre Reinforced Concrete”
- [5] DIN EN 14889-1:2006-11: Fibres for concrete - Part 1: Steel fibres - Definitions, specifications and conformity; German version EN 14889-1:2006
- [6] fib – federation internationale du beton: Model Code for Concrete Structures 2010. Ernst & Sohn, 2013, ISBN/EAN: 9783433604083
- [7] RILEM TC 162-TDF: Test and design methods for steel fibre reinforced concrete VH-design method Final Recommendation. Materials and, Vol. 36, Oktober 2003, pp. 560-567
- [8] DIN EN 1992-1-1:2011-01: Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings; German version EN 1992-1-1:2004 + AC:2010
- [9] DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04: National Annex - Nationally determined parameters - Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings
- [10] DIN EN 206-1:2001-07: Concrete – Part 1: Specification, performance, production and conformity; German version EN 206-1:2000 (withdrawn)
- [11] DIN 1045-2:2008-08: Concrete, reinforced and prestressed concrete structures - Part 2: Concrete - Specification, properties, production and conformity - Application rules for DIN EN 206-1 (withdrawn)
- [12] DIN EN 13670:2011-03: Execution of concrete structures; German version EN 13670:2009
- [13] DIN 1045-3:2012-03 Concrete, reinforced and prestressed concrete structures - Part 3: Execution of structures – Application rules for DIN EN 13670 (withdrawn) DIN 1045-3:2012-03 Concrete, reinforced and prestressed concrete structures - Part 3: Execution of structures - Application rules for DIN EN 13670 (withdrawn)
- [14] DAfStb water-endangering substances :2011-03, BUMWS:2011-03: DAfStb Guideline – Concrete construction when handling water-endangering substances (BUMWS) – Part 1: Principles, design and construction of uncoated concrete buildings – Part 2: Construction materials and effects of water-endangering substances – Part 3: Repair – Annex A: Test procedures (normative) – Annex B: Explanatory notes (informative)
- [15] DAfStb Water Impermeable STRUCTURES:2017-12: WU GUIDELINE:2017-12 DAfStb Guideline – Water Impermeable Structures made of Concrete (WU Guideline)
- [16] DIN EN 12390-1:2021-09 Testing hardened concrete – Part 1: Shape, dimensions and other requirements for specimens and moulds; German version EN 12390-1:2021
- [17] DIN EN 14845-1:2007-09 Test methods for fibres in concrete – Part 1: Reference concretes; German version EN 14845-1:2007
- [18] Association Steel Fibre Technology (AST): Merkblatt Dosierung von Stahlfasern zur Herstellung von Probekörpern für die Erstprüfung zur Ermittlung der Leistungsklasse, Oktober 2022

7. REFERÊNCIAS

- [19] DIN EN 12350-1:2019-09 Testing fresh concrete – Part 1: Sampling and common apparatus; German version EN 12350-1:2019
- [20] DIN EN 12390-2:2019-10 Testing hardened concrete – Part 2: Making and curing specimens for strength tests; German version EN 12390-2:2019
- [21] Helm, M.: Stahlfaserbeton in der Praxis, Verlag Bau & Technik, 2013
- [22] DIN EN 12390-5:2009-07 Testing hardened concrete – Part 5: Flexural strength of test specimens; German version EN 12390-5:2019
- [23] DIN EN 12390-7:2021-01 Testing hardened concrete – Part 7: Density of hardened concrete; German version EN 12390-7:2019 + AC:2020
- [24] DIN EN 12390-4:2020-04 Testing hardened concrete – Part 4: Compressive strength - Specification for testing machines; German version EN 12390-4:2019
- [25] DIN 51220:2022-10 Materials testing machines – General requirements, calibration and verification of materials testing machines
- [26] Vitt, G.; Schulz, M.; Nell, W.: Herstellung und Prüfung von Biegebalken nach DAfStb-Richtlinie Stahlfaserbeton. Beton- und Stahlbetonbau (2009), Volume 104, Issue 8, pp. 543 - 549
- [27] ISO 5725-2:1994 Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method (withdrawn)

8. LINKS ÚTEIS



DECLARAÇÃO AMBIENTAL DE PRODUTO (EPD)

[Online Link](#)



FOLHETOS FIBRAS E ENGENHARIA

[Online Link](#)



WHITEPAPER “BETÃO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO E SINTÉTICAS NA ALEMANHA”

[Online Link](#)



ARTIGOS ESPECIALIZADOS

[Online Link](#)



REFERÊNCIAS

[Online Link](#)

Further information, from the data sheet to the certificate, can be found in the download area on our website: <https://www.krampeharex.com/en/fibres/downloads>

9. CONTACTOS



KrampeHarex GmbH & Co. KG

Pferdekamp 6-8
D-59075 Hamm
Germany
Phone +49 (0) 2381 977 977
Fax +49 (0) 2381 977 955
info@krampeharex.com

