

Estruturas de concreto

Parte 2

5. Dosagem do concreto

5.1 A dosagem experimental

A dosagem do concreto é função das exigências da obra: resistência característica assumida no cálculo estrutural, maior ou menor esbeltez das peças, concreto aparente ou revestido, densidade de armaduras, agressividade do meio etc.

Para as obras correntes, o estudo de dosagem é quase sempre função da resistência à compressão do concreto. Em casos especiais, contudo, este estudo poderá ser balizado pela resistência à abrasão, durabilidade etc.

Em qualquer caso, as propriedades do concreto serão preponderantemente influenciadas pela relação água/cimento. O excesso de água, acima da relação água/cimento ideal, diminui a compacidade do concreto, diminui sua resistência mecânica e aumenta a retração de secagem, induzindo a formação de fissuras. Aumenta também a permeabilidade do concreto, diminuindo sua durabilidade. Dessa forma, os estudos de dosagem experimental quase sempre partem da relação água/cimento ideal, existindo diversos métodos de dosagem (vide artigo sobre Método IPT na edição nº 4 da *Téchne*).

Com a busca de maior compacidade dos concretos, tanto para atingir maior resistência mecânica como para garantir a maior durabilidade das peças, vem-se recorrendo ao emprego de adições ativas (cinzas volantes, microsilica etc.), o que aumenta a responsabilidade dos estudos de dosagem. Nessa situação, recomenda-se que os estudos de dosagem sejam efetuados em laboratórios tecnológicos qualificados.

5.2 Dosagem empírica ou não experimental

Em obras de pequena responsabilidade, pode-se assumir a execução de um traço de concreto sem verificação experimental, com base em “tabelas de traços”, experiência de obras anteriores e tradição de uso dos materiais. Tal procedimento, denominado “dosagem empírica do concreto”, pode ser adotado em casos excepcionais, desde que cumpridas algumas exigências da NBR-12655, entre elas:

- só se permite a dosagem empírica para concretos da classe C.10 ($f_{ck} = 10 \text{ MPa}$ aos 28 dias);
- o consumo mínimo de cimento deve ser de 350 kg/m^3 , em condições de pequenas obras ou 300 kg/m^3 em condições especiais de execução do concreto (ver NBR-12655, item 5.5.2).

Em todos os casos deve ser feito um ajuste experimental da proporção de argamassa no concreto fresco, para o adequado preenchimento dos vazios da brita.

6. Execução

A execução da estrutura deve ser antecedida por uma enorme série de providências, destacando-se entre elas:

- planejamento técnico, econômico e gerencial da obra (equipamentos adequados, como central de concreto, guias, elevadores, andaimes; cronogramas físico-financeiros; controle de custos; equipes bem treinadas; pré-qualificação de fornecedores, considerando-se capacidade de fornecimento e qualidade dos produtos);
- comprovação da qualidade do projeto da estrutura (limitação de fissuras nos componentes fletidos; compatibilidade das deformações

estruturais com as deformações admitidas por alvenarias, pisos, detalhes de ligação da estrutura com alvenaria, caixilhos; compatibilidade com dutos e tubos das instalações; dimensionamento adequado de fôrmas e cimbramentos; planos de concretagem; previsão de dispositivos para que as estruturas não se desloquem das armaduras durante a concretagem; especificação e quantificação corretas de materiais);

- implantação adequada do canteiro de obras (layout funcional; previsão de equipamentos; armazenagem correta dos materiais; alojamentos compatíveis; pista para eventual concretagem de componentes pré-moldados);

- definição de sistema de acompanhamento e controle tecnológico, incluindo recebimento de materiais; locação topográfica de fundações, pilares, cortinas; controle da execução de fôrmas, armaduras; controle geométrico da estrutura.

6.1 Fôrmas e escoramentos

As fôrmas e escoramentos são estruturas provisórias indispensáveis para a moldagem do concreto. Como estruturas, devem ser adequadamente dimensionais e construídas, recorrendo-se até mesmo a fundações provisórias no caso de cimbramentos apoiados sobre solos moles ou colapsíveis; acidentes sérios têm ocorrido, inclusive com perda de vidas, devido a falhas nas fôrmas e escoramentos. Fôrmas, cimbramentos e travamentos mal dimensionados levam ao desbitolamento das peças, incorreções de prumo e nível, desperdício de materiais e horas trabalhadas (enchimentos de lajes, engrossamento de paredes) sobrecarga da estrutura e das fundações e encarecimento da obra.

O setor de fôrmas metálicas pré-fabricadas tem desenvolvido uma série de inovações (fôrmas deslizantes, fôrma túnel, “fôrmas voadeiras”, entre outras), cuja adoção depende essencialmente de um estudo da relação custo/benefício. Caso se opte por fôrmas de madeira, é essencial considerar sua durabilidade e reaproveitamento que deve ser o maior possível. Deve-se prever que o umedecimento e a secagem, o pregar e despregar e a aderência do concreto à fôrma são os principais agentes de envelhecimento. Assim, convém impermeabilizar a superfície (podem-se usar chapas compensadas com várias qualidades de impermeabilização) e empregar agentes desmoldantes existentes no mercado. Os topos das fôrmas, normalmente não impermeabilizados, são pontos de início de deterioração; podem ser impermeabilizados com tintas ou impregnados com óleo ou graxa. Os desmoldantes devem ser removíveis do concreto para não prejudicar a aderência de eventual revestimento ou a estética do concreto, quando aparente.

As fôrmas podem ser montadas com o uso de diversos tipos de fixação. Vale a pena planejar e pesquisar diferentes processos de fixação, para racionalização e reaproveitamento das fôrmas, sem desperdício ou danos nas fases de desforma e remontagem. Uma simples preocupação ao arrancar pregos pode ser decisiva no reaproveitamento de uma chapa de custo expressivo.

6.2 Armaduras

O projeto da estrutura de concreto armado pressupõe que as armaduras estejam em posições bem definidas, além de as barras apresentarem as dimensões previstas e a resistência especificada. As ferragens são preparadas em bancadas de trabalho. No caso de vigas e pilares de dimensões correntes, são feitas “gaiolas” com ferragens longitudinais e estribos devidamente amarrados colocadas dentro

das fôrmas. Essa colocação requer o uso dos espaçadores para garantir a existência da camada de cobrimento da armadura pelo concreto, prevenindo a corrosão do aço.

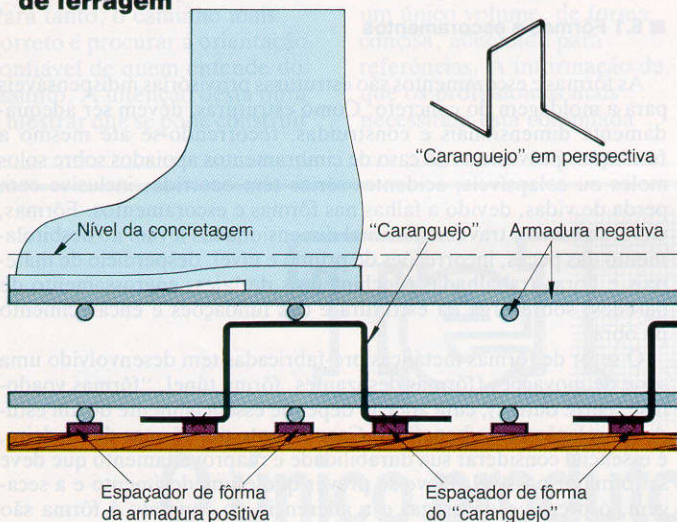
Atenção: A inadequação ou a falta de espaçadores tem dado prejuízos extremamente maiores que seus custos em tempo de mão-de-obra, ou recuperação de estruturas.

Há espaçadores de diversos tipos — as mais eficientes são as pastilhas de argamassa com relação água/cimento igual ou inferior à do concreto. Essas são amarradas à armadura por meio de arames embutidos na argamassa por ocasião da moldagem das pastilhas. Pastilhas de plástico são comuns no mercado, mas não aderem bem ao concreto, podendo permitir acesso de agentes agressivos à armadura.

Atenção: A utilização indiscriminada de acelerador de pega (cloreto de cálcio) na moldagem de pastilhas em argamassa tem iniciado importantes processos de corrosão de armaduras nas estruturas.

Os espaçadores de fôrma, trabalhando em conjunto com os “caranguejos” ou espaçadores de ferragens, são úteis para garantir a reação a esforços de abaixamento das armaduras (caso típico das armaduras negativas de lajes).

Emprego de “caranguejos” ou espaçadores de ferragem



6.3 Preparo do concreto

Se o concreto é fabricado na obra, com base no traço estabelecido, o construtor deve medir os materiais e misturá-los adequadamente.

a) Medição dos materiais

As quantidades de materiais para efetuar a mistura podem ser medidas como segue:

- cimento: sempre em massa, usando ou não o saco de cimento como unidade valendo 50 quilos;
- agregados em massa (balanças) ou volume (caixas ou latas indeformáveis de medidas conhecidas); os volumes devem ser corrigidos segundo o inchamento observado, e a massa deve levar em conta a quantidade de água presente no agregado;
- água: em volume ou massa;
- aditivos: em volume ou massa;
- adições: em massa, preferivelmente.

Atenção: As medidas em massa poderão resultar num concreto com menor consumo de cimento devido à menor variabilidade esperada. Avalie essa opção criteriosamente.

b) Mistura dos materiais (amassamento)

As betoneiras mais empregadas em obras são as de eixo inclinado. Existem outros tipos com mistura geralmente mais intensa, que deverão ser empregados no caso de concretos de abatimento muito baixo. Sempre se deve verificar experimentalmente o tempo mínimo de homogeneização da mistura, com todas as peculiaridades, e respeitá-lo daí para diante. Massadas mais volumosas ou mais secas necessitam maior tempo de mistura: mudanças na qualidade dos materiais (fornecimentos) também podem alterar o tempo mínimo.

A ordem de colocação dos materiais na betoneira de eixo inclinado deve ser: agregados e cerca de 80% da água, cimento e o restante da água.

6.4 Transporte

A preocupação fundamental no transporte é evitar a segregação dos materiais, a tendência de assentamento dos agregados graúdos e a subida dos miúdos e da água, conhecida como exsudação. No caso de pequenas obras correntes onde se utilizam “jericas” ou carrinhos de mão, estes devem percorrer pistas adequadas evitando solavancos, como pode ocorrer em passarelas de madeira. Devem ter pneus com câmara de ar, não muito cheios. Na construção de edifícios altos, as guias com caçambas adequadas têm-se mostrado eficientes para o transporte vertical. Observa-se atualmente tendência cada vez maior do emprego de concreto bombeado, que requer maior cuidado na dosagem (concreto mais argamassado, com maior consumo de cimento e com aditivos fluidificantes) e no lançamento do concreto (fôrmas mais rígidas, equipes suficientemente dimensionadas etc.).

6.5 Lançamento

O lançamento deve ser precedido de uma limpeza das fôrmas (principalmente nos pés de pilares) e por prévia aplicação do desmoldante ou saturação das fôrmas, conforme o caso. Quedas livres de alturas superiores a 2 m, por exemplo, devem ser proibidas; os locais de concretagem devem ter calhas, tremonhas, “janelas” de concretagem nas fôrmas ou outros artifícios que permitam a chegada do concreto num fluxo razoavelmente suave, evitando a segregação.

Junta de concretagem, sempre que inevitáveis, deverão ser inseridas nos locais previstos no cálculo estrutural, escovando-se levemente e removendo-se com água a argamassa presente no local da junta — deixando aflorar os agregados graúdos —, após o início de hidratação do cimento. Na retomada da concretagem, a junta deve ser saturada com água, recobrando em seguida os agregados expostos com nata de cimento e lançando posteriormente concreto um pouco mais argamassado.

6.6 Adensamento

O concreto é um material tixotrópico — a coesão pode ser minimizada quando é vibrado, fazendo com que o material se comporte quase como um líquido. Pode ocorrer a segregação dos sólidos mais graúdos. Por isso, deve-se limitar o tempo de vibração pelo “sinal” dado pelo aparecimento de brilho de água na superfície, indicando início de exsudação. Utilizam-se normalmente vibradores de agulha, de imersão.

Ao vibrar as camadas, cuidado para não atingir as camadas inferiores já adensadas, pois estas poderão segregar. É possível perceber o raio de ação do vibrador ao utilizá-lo. O vibrador deve ser mergulhado verticalmente no concreto — até o material apresentar brilho na superfície — é então retirado (não bruscamente) e mergulhado à distância de dois raios de ação em relação ao mergulho anterior. A operação é repetida até cobrir toda a superfície livre da fôrma.

Não se deve vibrar as ferragens para efetuar o adensamento. Cuidado, pois os operários não especializados têm uma tendência a fazê-lo.

6.7 Cura

O concreto endurece devido a uma reação química que ocorre entre o cimento e a água, denominada hidratação do cimento. A

cura é o procedimento para que a hidratação aconteça. A evaporação da água, além de atrapalhar a hidratação, provocará prematuramente a retração por secagem, fenômeno físico que só deve ocorrer quando o concreto for suficientemente resistente.

Enquanto o concreto ainda estiver nas fôrmas, as superfícies livres devem ser mantidas úmidas. Não basta molhá-las periodicamente com uma mangueira; é preciso haver um meio físico que retenha água sobre a superfície — sacos umedecidos, uma camada de areia úmida, são exemplos de meios cuja condição de umidade é visualmente controlável.

Existem no mercado agentes de cura que formam uma película sobre o concreto, impedindo ou atrapalhando a evaporação, particularmente úteis na cura de superfícies verticais. Quanto maior o período de cura úmida, melhor. Em situações práticas, deve-se manter a cura úmida, de preferência durante o tempo de cimbramento, ou pelo menos durante duas semanas, em condições normais de temperatura. A cura pode ser acelerada pela ação da temperatura (cura térmica, cura a vapor etc.), recurso importante nas concretagens realizadas no inverno.

6.8 Desforma e descimbramento

Pode-se efetuar a desforma em duas fases. Na primeira, com o concreto apenas permitindo a retirada dos moldes laterais de vigas, mas sendo mantido o cimbramento; e a última etapa onde se retiram os fundos das fôrmas e o cimbramento. Evidentemente a desforma só pode ser feita quando o concreto tiver resistência suficiente aos esforços. O projetista da obra fornecerá os valores de resistência requeridos, além da sequência ideal para desforma e descimbramento. Nas vigas biapoiadas, por exemplo, o descimbramento parte sempre do tramo central, caminhando em direção aos apoios. Ensaios não-destrutivos feitos na própria estrutura podem dar indicações valiosas a baixo custo nessa fase (esclerometria ou ultra-som, por exemplo, com base em estudo experimental específico prévio).

7. Controle da qualidade da estrutura

O controle da qualidade da estrutura envolve desde o controle de locação das peças até a inspeção para recebimento dos componentes concretados. São obrigatórios controles intermediários das fôrmas, escoramentos, disposições construtivas das armaduras, além de preparo, lançamento e adensamento do concreto. Do ponto de vista genérico, este controle pode ser visualizado através de um fluxograma ao lado.

7.1 Controle da qualidade das fôrmas e cimbramentos

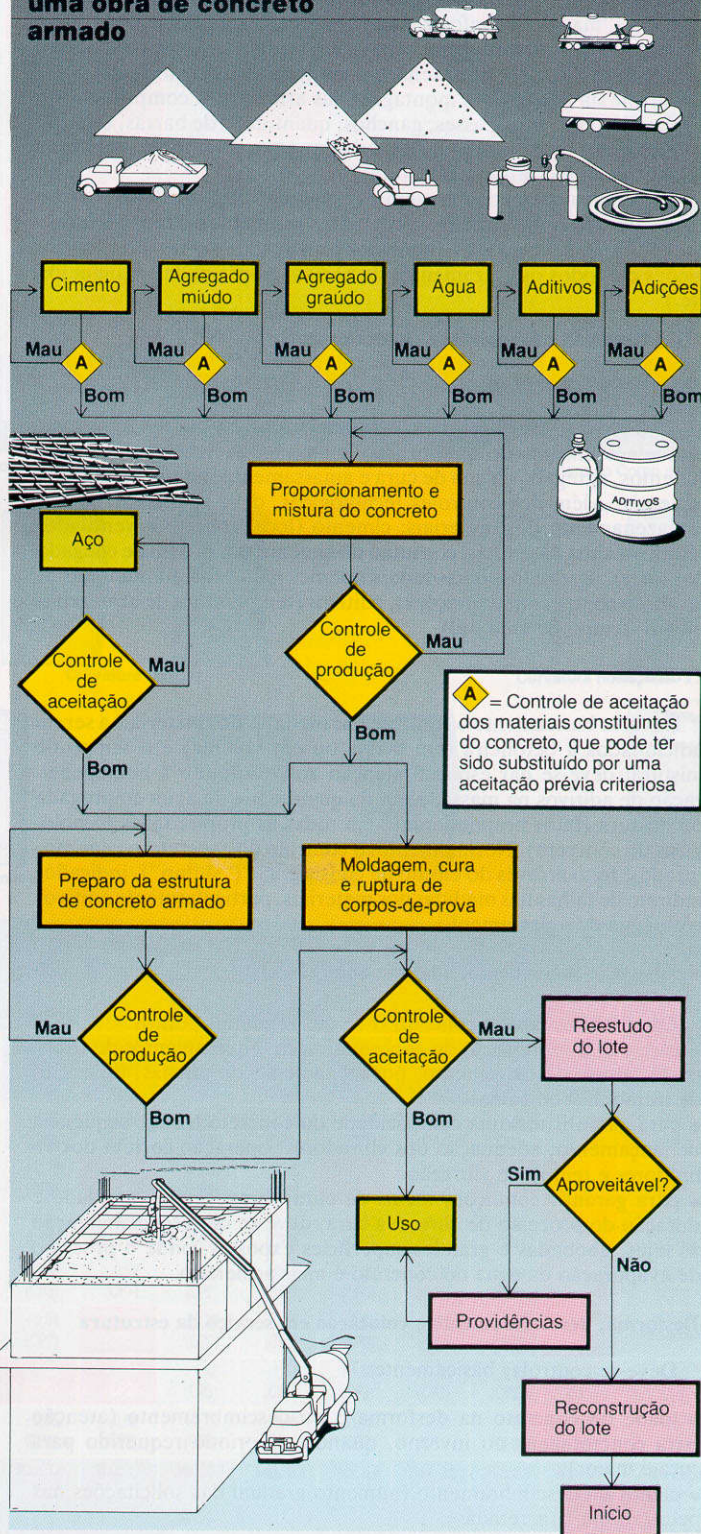
É desnecessário realçar a importância das fôrmas no processo: qualquer falha de execução, além de prejudicar a resistência da estrutura, repercutirá em problemas na locação de paredes de vedação, na coordenação dimensional, na integração da estrutura com instalações e no engrossamento de revestimento, principalmente em fachadas de edifícios altos.

Do ponto de vista da geometria das peças estruturais, e conseqüentemente da geometria das fôrmas, são admitidos os seguintes afastamentos dimensionais em relação aos valores previstos no projeto:

Deslocamento horizontal $\leq b/30$, não devendo superar 20 mm	
Distorção angular do plano médio $\leq 1/350$	
Deslocamento vertical ≤ 20 mm	
Alinhamento: empenamentos $\leq 1/500$, não devendo superar 15 mm	
Prumo: desvio do prumo $\leq h/600$, não devendo superar 20 mm	
Nível: desnivelamentos $\leq 1/600$, não devendo superar 20 mm	
Irregularidades superficiais graduais, em relação a uma régua com 2 m de comprimento	Máx. 6 mm (caso geral)
	Máx. 3 mm (concreto aparente)
Seção transversal do componente estrutural	Dimensão não deve ser inferior a 3 mm nem superior a 6 mm, em relação às dimensões indicadas no projeto
Onde l = comprimento, h = altura e b = dimensão da seção transversal do componente	

Devem também ser examinados: encaixes, rigidez (gravatas, gasta-lhos), contraflechas, estanqueidade, limpeza, aplicação de desmoldantes, "planaridade" irregularidades superficiais e características químicas da madeira (caso de concreto aparente). Os contraventamentos devem ser inspecionados de acordo com o projeto específico e com as normas estabelecidas para estruturas de madeira: apoios, ligações, contraventamentos ou bitolas das peças.

Esquema simplificado do controle tecnológico de uma obra de concreto armado



7.2 Controle da qualidade das armaduras

O controle de recepção de barras e fios de aço obedece às prescrições da NBR-7480, estabelecendo-se regras para formação de lotes, planos de amostragem, realização de ensaios e critérios para aceitação ou rejeição dos lotes. As verificações mais importantes envolvem bitolas das armaduras, ensaios de tração (constatação da categoria do aço, por exemplo, CA-25-A, CA-50-B etc.) e ensaios de dobramento (verificação da ductilidade do material).

Concluído o controle de recepção do aço, cuja tendência é ser substituído pelo recebimento de lotes com qualidade previamente atestada ("marca de conformidade"), são necessários:

- controles de armazenagem: separação das barras por bitolas, categoria e classe do aço; armazenagem em local plano e abrigado;
- controle da produção e montagem das armaduras: comprimentos, bitolas, ângulos, transpasses, ganchos, quantidade de barras, espaçamento de estribos, arranques de pilares, espaçamento de pastilhas, de acordo com o projeto estrutural.

A liberação para concretagem de qualquer peça só deve ocorrer após a liberação das fôrmas, conferência geométrica das armaduras, e certificação de que foram montadas com a rigidez necessária (amarrações em todos os cruzamentos de barras, emprego de caranguejos etc.).

7.3 Controle da qualidade do concreto

Materiais componentes

As diretrizes de controle são estabelecidas na NBR-12654, que estabelece ensaios de qualificação e ensaios de recebimento para cimentos, agregados, água de cura e amassamento, aditivos e adições minerais. Além dos controles tecnológicos, deve-se atentar para o armazenamento dos materiais: cimento (local coberto e ventilado, altura máxima das pilhas, consumo do cimento por ordem de chegada dos lotes), agregados (baías independentes para cada granulometria, proteção contra contaminações), aditivos (temperatura de armazenamento, tempo de vida útil).

Produção

Envolve basicamente o controle das medidas dos materiais a serem adicionados à betoneira (em massa ou em volume) e o tempo de mistura; deve-se dar especial atenção ao consumo e à homogeneização de aditivos na massa, além da quantidade de água empregada na mistura (fator preponderante em todas as propriedades tecnológicas do concreto). Normalmente, o controle do concreto recém-misturado é feito através do ensaio de consistência ("slump"), indicador indireto de falhas nas medidas dos materiais, particularmente aditivos e/ou água de amassamento.

Transporte, lançamento, adensamento e cura

Os controles devem concentrar-se nos seguintes pontos:

- para evitar segregação do concreto fresco: equipamentos de transporte, altura de lançamento, posicionamento de janelas, utilização de tremonhas ou calhas.
- para garantir máxima compacidade do concreto fresco: sequência de lançamento, adequação dos vibradores, operação correta dos vibradores e tempo de vibração.
- para garantir condições ideais de cura: temperatura, umidade e duração do processo de cura. Na cura, deve-se dar especial atenção às lajes, abóbadas e grandes superfícies expostas, onde o processo de evaporação da água do concreto é mais acelerado.

Desforma, descimbramento e colocação em serviço da estrutura

Deve-se controlar basicamente:

- idade do concreto na desforma e no descimbramento (atenção para concretagens no inverno, quando o período requerido para cura é maior);
- planos de descimbramento (aumento gradual das solicitações nas peças recém-concretadas);

- processos de desforma e descimbramento (evitando impactos ou outras solicitações não previstas nas peças recém-concretadas).

Além desses fatores, é preciso controlar a idade da colocação em serviço das peças recém-concretadas, muitas vezes submetidas a ações que podem provocar, por exemplo, acentuada fissuração de componentes fletidos, com importante redução do momento de inércia das peças e conseqüente pronunciamento de flechas ou fissuras em alvenarias.

Controle da resistência do concreto endurecido

O controle é realizado pela resistência do concreto à compressão. A NBR-12655 estabelece as diretrizes gerais de controle (planos de amostragem, tamanho dos lotes, cálculo da resistência característica estimada).

No caso de o fckest ser comprovadamente inferior à resistência característica do concreto adotada no cálculo estrutural, pode-se proceder à avaliação indireta da resistência do concreto empregado na estrutura (esclerometria, ultra-som etc.), à extração de corpos-de-prova dos próprios elementos estruturais e a provas de carga. Em qualquer hipótese é recomendável obedecer à orientação do cálculo.

7.4 Inspeção e recebimento da estrutura de concreto armado

Controlada a sequência de fabricação da estrutura (fôrmas, armaduras, produção e resistência do concreto) é provável que a qualidade final da estrutura resulte adequada. Recomendam-se, contudo, inspeções periódicas de estrutura (por pavimento ou por lance concretado), com base em listas de verificação tipo Sim ou Não (veja exemplo). Sempre que não aparecer marca na coluna do Sim, consideram-se atendidos os requisitos de qualidade.

Obra: _____	Inspeção: _____	Data: ____/____/____	
Componente: _____	Localização: _____		
Aspecto	Sim	Não	Observações
Apresenta alguma descontinuidade de concretagem?			
Existem ninhos de descontinuidade?			
Existem armaduras expostas ou manchas de ferrugem?			
Existe alguma rebarba nas faces laterais do componente?			
Existem faces laterais com agregados expostos?			
Existe alguma aresta quebrada?			
O deslocamento horizontal ou vertical supera 20 mm?			
A distorção angular supera 1/350?			
O desaprumo supera h/600 ou 20 mm?			
O desnivelamento supera 1/600 ou 20 mm?			
Existem empenamentos laterais que superam 1/500 do vão?			
A diferença, para menos, entre alguma dimensão transversal e a dimensão nominal ultrapassa 3 mm?			
A diferença, para mais, entre alguma dimensão transversal e a dimensão nominal ultrapassa 6 mm?			
Existem fissuras visíveis com abertura superior a 0,1 mm?			
Existem flechas ou contraflechas maiores que 1/300?			

Autores: Carlos Eduardo de Siqueira Tango, Ercio Thomaz, Ernan Silva e Luiz Tsuguio Hamassaki.