



CADERNO DE ENCARGOS SUDECAP

CAPÍTULO 6

ESTRUTURA DE CONCRETO

4ª Edição / Março 2019

SUMÁRIO

6. ESTRUTURA DE CONCRETO	3
6.1. DOCUMENTAÇÃO DE REFERÊNCIA.....	3
6.2. CONDIÇÕES GERAIS	5
6.2.1. Escopo e definições	5
6.2.2. Propriedades do concreto	5
6.2.3. Condições gerais.....	9
6.2.4. Armazenamento dos materiais	12
6.2.5. Condições específicas de recebimento dos materiais.....	14
6.2.6. Formas e Escoramentos	18
6.2.7. Armadura.....	20
6.2.8. Execução do concreto.....	23
6.2.9. Cura, retirada das fôrmas e do escoramento	29
6.2.10. Recebimento da estrutura de concreto	30
6.2.11. Critérios de levantamento, medição e pagamento	33
6.3 REFERÊNCIAS	34

6. ESTRUTURA DE CONCRETO

Este capítulo do Caderno de Encargos SUDECAP tem como objetivo determinar as diretrizes básicas para a execução de estruturas de concreto, envolvendo aspectos construtivos com foco em durabilidade das estruturas, qualidade dos processos e produtos envolvidos na execução, em consonância com as normas técnicas aplicáveis e vigentes.

6.1. DOCUMENTAÇÃO DE REFERÊNCIA

- NBR NM5/00 - Concreto compactado com rolo - Determinação da umidade “in situ” com uso de densímetro nuclear
- NBR NM26/09 - Agregados – Amostragem
- NBR NM33/94 - Concreto - Amostragem de concreto fresco
- NBR NM49/01 - Agregado miúdo - Determinação de impurezas orgânicas
- NBR NM51/01 - Agregado graúdo - Ensaio de abrasão “Los Angeles”
- NBR NM67/98 - Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone
- NBR NM 248/03 - Agregados - Determinação da composição granulométrica
- NBR NM ISO 3310-1/10 - Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação - Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico (ISSO 3310-1:2000, IDT)
- NBR 5738/15 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova
- NBR 5739/18 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos
- NBR 6118/14 - Projeto de estruturas de concreto – Procedimento
- NBR 6120/80 - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações
- NBR 6122/10 - Projeto e execução de fundações
- NBR 6123/88 - Forças devidas ao vento em edificações
- NBR 7187/03 - Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido - Procedimento
- NBR 7188/13 - Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas
- NBR 7190/97 - Projeto de estruturas de madeira
- NBR 7211/09 - Agregados para concreto - Especificação
- NBR 7212/12 - Execução de concreto dosado em central - Procedimento
- NBR 7348/17 - Pintura industrial - Preparação de superfície de aço com jateamento abrasivo ou hidrojateamento
- NBR 7477/82 - Determinação do coeficiente de conformação superficial de barras e fios de aço destinados a armaduras de concreto armado
- NBR 7480/07 - Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação
- NBR 7481/90 - Tela de aço soldada - Armadura para concreto
- NBR 7482/08 - Fios de aço para estruturas de concreto protendido - Especificação
- NBR 7483/08 - Cordoalhas de aço para estruturas de concreto protendido - Especificação
- NBR 7484/09 - Barras, cordoalhas e fios de aço destinados a armaduras de protensão - Método de ensaio de relaxação isotérmica
- NBR 7678/83 - Segurança na execução de obras e serviços de construção
- NBR 7680-1/15 - Concreto - Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto - Parte 1: Resistência à compressão axial
- NBR 7680-2/15 - Concreto - Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto - Parte 2: Resistência à tração na flexão

- NBR 8522/17 - Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão
- NBR 8548/84 - Barras de aço destinadas a armaduras para concreto armado com emenda mecânica ou por solda - Determinação da resistência à tração - Método de ensaio
- NBR 8681/03 - Ações e segurança nas estruturas - Procedimento
- NBR 8800/08 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios
- NBR 8953/15 - Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência
- NBR 9062/17 - Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado
- NBR 9778/09 - Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica
- NBR 9833/09 - Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico
- NBR 11297/88 - Execução de sistema de pintura para estruturas e equipamentos de aço-carbono zincado - Procedimento
- NBR 11768/11 - Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Requisitos
- NBR 12653/15 - Materiais pozolânicos – Requisitos
- NBR 12655/15 - Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação
- NBR 13956-1/12 - Sílica ativa para uso com cimento Portland em concreto, argamassa e pasta - Parte 1: Requisitos
- NBR 14323/13 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio
- NBR 14432/01 - Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações
- NBR 14861/11 - Lajes alveolares pré-moldadas de concreto protendido
- NBR 14931/04 - Execução de estruturas de concreto – Procedimento
- NBR 15200/12 - Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio
- NBR 15239/05 - Tratamento de superfícies de aço com ferramentas manuais e mecânicas
- NBR 15575/13 - Edificações habitacionais - Desempenho - Partes 1 e 2
- NBR 15577-1/18 - Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto
- NBR 15823/17 - Concreto autoadensável - Partes 1 a 6
- NBR 15894-1/10 - Metacaulim para uso com cimento Portland em concreto, argamassa e pasta - Parte 1: Requisitos
- NBR 15900-1/09 - Água para amassamento do concreto - Parte 1: Requisitos
- NBR 16239/13 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações com perfis tubulares
- NBR 16697/18 - Cimento Portland - Requisitos
- NR 18/2018 e atualizações - Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção
- ASTM C1218/C1218M:2017 – Standard test method for water-soluble chloride in mortar and concrete

6.2. CONDIÇÕES GERAIS

6.2.1. Escopo e definições

Serão estabelecidos requisitos gerais para execução de estruturas de concreto simples e armado em sua ampla gama de aplicação: estruturas de muros de arrimo, edificações, canais, galerias, pontes, viadutos, entre outras. A execução das obras deve ser a mais cuidadosa possível a fim de que as dimensões, a forma e a posição das peças obedeçam às indicações do projeto, assim como as especificações contidas nas normas técnicas da NBR 6118 e NBR 14931.

Conforme definido na NBR 6118, o termo concreto estrutural se refere ao espectro completo das aplicações do concreto como material estrutural. Os elementos de concreto armado são aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência. Já os elementos de concreto simples estrutural são aqueles elaborados com concreto que não possuem qualquer tipo de armadura, ou que a possuem em quantidade inferior ao mínimo exigido para o concreto armado.

Esta seção não se aplica à produção de elementos estruturais pré-moldados de concreto, concreto protendido e elementos de fundações profundas, tais como estacas e tubulões.

Segundo a seção 5 da NBR 14931, antes do início da execução de qualquer parte da estrutura de concreto, as especificações de projeto devem estar completas e disponíveis.

Conforme estabelece a seção 5 da NBR 6118, nas especificações de projeto devem constar todas as informações necessárias e todos os requisitos técnicos para a execução da estrutura de concreto. Tal seção classifica os requisitos de qualidade da estrutura em três grupos distintos: capacidade resistente, desempenho em serviço e durabilidade. A capacidade resistente consiste basicamente na segurança à ruptura. O desempenho em serviço consiste na capacidade de a estrutura manter-se em condições plenas de utilização durante sua vida útil, não podendo apresentar danos que comprometam em parte ou totalmente o uso para o qual foi projetada. E a durabilidade consiste na capacidade da estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e pelo contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto.

Em relação aos requisitos de qualidade do projeto, a NBR 6118, estabelece:

- Qualidade da solução adotada

Deve atender aos requisitos de qualidade estabelecidos nas normas técnicas, relativos à capacidade resistente, ao desempenho em serviço e à durabilidade da estrutura. Deve ainda considerar as condições arquitetônicas, funcionais, construtivas, estruturais e de integração com os demais projetos, explicitadas pelos responsáveis técnicos de cada especialidade, com a anuência do contratante.

- Condições impostas ao projeto

Atendimento aos requisitos de qualidade impostos às estruturas de concreto, às exigências relativas à capacidade resistente e ao desempenho em serviço, às exigências de durabilidade e às exigências particulares estabelecidas em Normas Brasileiras específicas.

- Documentação da solução adotada

Produto final do projeto estrutural constituído por desenhos, especificações e critérios de projeto (constantes nos próprios desenhos ou em documento separado). Devem conter informações claras, corretas, consistentes entre si e com as exigências normativas. O projeto estrutural deve proporcionar as informações necessárias para a execução da estrutura.

6.2.2. Propriedades do concreto

a. Concreto fresco

À massa constituída de agregado miúdo, gráúdo, pasta de cimento e ar, dá-se o nome de concreto fresco. Neste tipo de mistura devem ser tomados alguns cuidados indispensáveis à obtenção de um bom concreto no estado fresco, como por exemplo, ser transportado, lançado e adensado sem segregação. Depois de endurecida, a massa deve se apresentar homogênea e com um mínimo de vazios.

Durante a produção de concreto, deve-se atentar para a garantia das propriedades apresentadas a seguir.

a.1. Trabalhabilidade

O concreto deve apresentar trabalhabilidade que assegure plasticidade máxima, segregabilidade mínima e consistência apropriada, e depende:

- Da fluidez da pasta dada pelo fator água - cimento;
- Da plasticidade da mistura dada pela proporção entre a pasta e os agregados;
- Da proporção entre os agregados;
- Das características dos agregados;
- De adições utilizadas no cimento;
- De aditivos utilizados na mistura.

A trabalhabilidade depende também do tipo de obra. Assim sendo, um concreto para peças de grandes dimensões e pouca armação, pode não ser o mesmo indicado para peças esbeltas e muito armadas, bem como, um concreto que aceite um perfeito adensamento com vibração, provavelmente não dará uma moldagem satisfatória com adensamento manual. Todavia, a má trabalhabilidade gera porosidades, ou seja, diminui a densidade do concreto, transformando-o num concreto de qualidade inferior, com nichos na estrutura, dificuldades no adensamento e, principalmente, induzindo a um consumo exagerado de água, prejudicando qualidades fundamentais do concreto endurecido como permeabilidade e resistência.

A correção da trabalhabilidade pode ser feita a partir da granulometria dos componentes utilizados na mistura ou com o uso de aditivos específicos (como plastificantes ou incorporadores de ar). Aumentando-se os finos do concreto (cimento e areia), a trabalhabilidade aumentará. Esta regra, porém, só é válida até certo limite, pois, o concreto se torna menos trabalhável à medida em que fica mais denso. A melhor proporção entre os componentes da mistura, é aquela na qual se obtém a trabalhabilidade máxima, com o menor fator água - cimento possível. Em geral, à medida que se aumenta o diâmetro do agregado, diminui-se a quantidade de água, aumentando-se a resistência.

a.2. Fluidez e plasticidade

Juntamente com a segregabilidade, a fluidez e a plasticidade são os elementos que determinam a trabalhabilidade. Plasticidade do concreto é a sua capacidade de adaptar-se às formas e fluidez é a facilidade de escoar em planos. A plasticidade está intimamente relacionada com a granulometria e a fluidez com a quantidade de água.

a.3. Compactabilidade e mobilidade

São duas propriedades das quais depende a consistência do concreto. Consistência segundo o ACI (American Concrete Institute) é “a relativa mobilidade ou facilidade do concreto ou argamassa escoar”. A compactabilidade pode ser caracterizada pela relação entre o peso específico de uma amostra de concreto e a soma teórica dos pesos específicos de seus componentes. Quanto maior este índice mais compacto é o concreto. Já a mobilidade é a propriedade inversamente proporcional à resistência interna e à deformação e depende de três características do concreto fresco: ângulo de atrito interno, coesão e viscosidade. É importante o estudo da mobilidade para se conhecer o comportamento do concreto fresco durante o transporte, lançamento, adensamento e acabamento.

a.4. Consistência

Pode-se definir a consistência como a resistência momentânea do concreto fresco às forças que tendem a modificar sua forma. Dentro de uma mesma consistência ou grau de umidade a trabalhabilidade poderá variar com a granulometria. Os fatores que afetam a consistência do concreto são:

- Teor água/mistura seca;
- Granulometria e forma dos grãos dos agregados;
- Os aditivos;
- Tempo e temperatura.

a.5. Calor de hidratação

O cimento ao hidratar-se eleva muito a sua temperatura e a massa do concreto expande-se. Ao se resfriarem, as camadas externas em contato com o ar contraem-se e, como o núcleo da massa ainda está expandindo e o concreto ainda não adquiriu coesão suficiente, as camadas externas fissuram e também se separam das internas, enfraquecendo a estrutura. A temperatura atingida é em função da temperatura ambiente, do calor de hidratação do cimento empregado, das dimensões da peça concretada, da velocidade de lançamento, das condições de aeração do ambiente, das propriedades térmicas do agregado e da quantidade de calor que pode ser irradiado.

Deve-se sempre procurar atingir temperaturas mais baixas na ação de concretagem, principalmente na de

elementos com grandes volumes. Para tal, pode-se utilizar gelo em vez de água, reduzir a dosagem de cimento, utilizar cimento de baixo calor de hidratação, reduzir-se a espessura das camadas concretadas e usar-se aditivos retardadores de pega.

É bom procedimento lavar o agregado graúdo uma hora antes da mistura pois, além de diminuir-se a temperatura, ganha-se maior aderência com a pasta.

Aumentando-se o teor de cimento surgem deformações que não compensam o aumento da resistência mecânica. O ideal é ficar com o teor de cimento na faixa de 300 a 400 kg/m³ quando se pretende concretos com alta resistência.

a.6. Segregação

É a separação dos constituintes da mistura impedindo a obtenção de um concreto com características de uniformidade razoáveis. A segregação pode ocorrer por diversos motivos, podendo-se citar:

- Vibração exagerada em concretos muito plásticos;
- Lançamento de grande distância ou grande altura;
- Número exagerado de voltas na betoneira.

A saber, existem duas formas de segregação. Na primeira, os grãos maiores do agregado tendem a se separar da pasta depositando-se no fundo das formas ou da betoneira, ou rolando mais rapidamente quando transportados em calhas. A segunda forma ocorre em concretos muito plásticos, quando a pasta separa-se do resto. A primeira forma normalmente ocorre em concretos pobres e secos, podendo ser combatida aumentando-se a coesão com a adição de água. Em misturas muito úmidas ocorre a segunda forma de segregação.

a.7. Exudação

É uma forma particular de segregação. É a tendência da água de amassamento aflorar enquanto o concreto não faz pega. Formam-se nas superfícies superiores das peças, resultando um concreto poroso, fraco e de pouca durabilidade. Combate-se a exudação usando-se a água estritamente necessária para o tipo de adensamento e adicionando-se mais cimento e material pulverulento.

a.8. Tempo de pega

É um fenômeno químico resultante das reações do cimento no qual os agregados têm um pouco de influência, e que mensura com precisão a rapidez em que um determinado concreto inicia o seu endurecimento.

a.9. Incorporação de ar

O ar incorporado melhora a trabalhabilidade e a impermeabilidade, mas reduz a resistência, pois as gotas de ar agem como lubrificante, interrompendo o fissuramento contínuo e aumentando os vazios, respectivamente. A diminuição de resistência devido ao aumento dos vazios pode ser compensada em parte com a redução da água devido ao aumento de trabalhabilidade.

b. Concreto endurecido

A passagem de um concreto do seu estado fresco para o endurecido requer cuidados especiais, na medida em que são responsáveis pela boa qualidade da peça produzida, garantindo os requisitos mínimos de segurança e durabilidade exigidos. Existem diversos fatores que afetam o desempenho dos concretos, modificando as suas propriedades e que devem ser observados atentamente pela CONTRATADA. Destacam-se:

b.1. Permeabilidade

Todo concreto produzido deve ter a devida e necessária impermeabilização. Um concreto impermeável é obtido com uma correta dosagem, escolhendo materiais e fator água/cimento adequados e com uma correta vibração e adensamento.

b.2. Resistência mecânica

A resistência do concreto obtida em corpos de prova em laboratório é um indício de qualidade do concreto. Influem na resistência final do concreto o tipo de cimento, o grau de adensamento, o fator água/cimento, o processo de cura, além dos agregados.

b.3. Peso

O peso do concreto é função dos componentes, traço e adensamento usados. Normalmente, a resistência do concreto cai com a diminuição da densidade do concreto mantendo-se constantes os outros fatores. A

introdução de ar incorporado diminui o peso e a resistência do concreto.

b.4. Retração

Ao secar, o concreto diminui de volume por perda de água. A retração gera gretas capilares e fissuras que comprometem a impermeabilidade do concreto e, por consequência, a sua durabilidade. São os seguintes os principais tipos de retração do concreto:

- Retração por sedimentação nas primeiras horas;
- Retração por perda de água nos primeiros dias;
- Variações de volume por dilatação térmica;
- Variações do volume devido à umidade ambiente;
- Deformação lenta.

A NBR 14931 na Seção 10 recomenda e especifica ações básicas para o controle adequado da cura dos concretos. Enquanto não atingir endurecimento satisfatório, o concreto deve ser curado e protegido contra agentes prejudiciais para evitar a perda de água pela superfície exposta, assegurar uma superfície com resistência adequada e assegurar a formação de uma capa superficial durável.

Os agentes deletérios mais comuns ao concreto em seu início de vida são: mudanças bruscas de temperatura, secagem, chuva forte, água torrencial, congelamento, agentes químicos, bem como choques e vibrações de intensidade tal que possam produzir fissuras na massa de concreto ou prejudicar a sua aderência à armadura. Ressalta-se que, no caso de chuva forte e água torrencial, deve-se evitar que essa água adicional seja incorporada à mistura durante o período de pega do concreto, a fim de não se alterar o fator água/cimento adotado e comprometer a resistência do material. Com o término da pega e o início do processo de endurecimento do concreto, deve-se dar início ao processo de cura da peça concretada.

O endurecimento do concreto pode ser acelerado por meio de tratamento térmico ou pelo uso de aditivos que não contenham cloreto de cálcio em sua composição e devidamente controlado, não se dispensando as medidas de proteção contra a secagem. Elementos estruturais de superfície devem ser curados até que atinjam resistência característica à compressão (f_{ck}), de acordo com a NBR 12655, igual ou maior que 15 MPa. No caso de utilização de água, esta deve ser potável ou satisfazer às exigências da NBR 12654.

b.5. Dilatação

Para efeitos práticos e cálculo, o coeficiente de dilatação térmica do concreto pode ser admitido igual a $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$. De acordo com a Seção 24 da NBR 6118, as juntas de dilatação devem ser previstas pelo menos a cada 15 metros. No caso de ser necessário afastamento maior, devem ser considerados no cálculo os efeitos da retração térmica do concreto (como consequência do calor de hidratação), da retração hidráulica e das variações de temperatura.

As variações bruscas de temperatura podem gerar tensões prejudiciais ao concreto pois, sendo ele um material razoavelmente isolante, possibilitam a ocorrência de temperaturas bem diferentes no núcleo e na superfície de uma peça com maiores dimensões. A dilatação depende da natureza do agregado, do traço e do processo de cura.

Ressalta-se que as juntas de dilatação ou movimentação devem ser convenientemente seladas.

c. Concreto usinado ou pré misturado

Todo e qualquer concreto utilizado nas obras da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, em volumes acima de 06 m^3 (seis metros cúbicos), deverá ser usinado, gerado em centrais dosadoras com o adequado controle de qualidade dos materiais utilizados e do processo. Ele poderá ser fornecido à CONTRATADA por um sistema de lançamento dito convencional ou bombeado e deverá respeitar todas as prescrições contidas na NBR 6118, NBR 7212, NBR 12655 e NBR 14931.

Antes de sua aplicação para produção, o concreto recebido na planta de produção deve ter sua consistência analisada com a realização do ensaio de abatimento de tronco de cone, de acordo com as exigências da NBR NM 67. Devem ser mantidos arquivados na pasta da obra pela FISCALIZAÇÃO os registros documentados internos ou laudos de laboratório com os resultados do ensaio e de qualquer adição de água posterior autorizada pelo responsável pelo recebimento.

Após o recebimento do concreto, este deve ser rastreado, de maneira a proporcionar o controle tecnológico.

c.1. Transporte, lançamento e adensamento do concreto usinado

Para o transporte, lançamento e adensamento do concreto usinado, a NBR 7212 prescreve:

c.1.1. Tipo de veículo

O transporte deve ser feito por veículo dotado ou não de dispositivo de agitação, desde que apresente estanqueidade necessária, fundo e paredes revestidos de material não absorvente, a fim de que não haja perda de qualquer componente. Via de regra, o transporte até a obra deve ser feito por caminhão betoneira. Admite-se o transporte por caminhão basculante com carroceria de aço, desde que, devido às características da mistura e às condições de transporte, fique garantida a não separação das partes componentes do concreto e o abatimento seja igual o inferior a 40 mm.

c.1.2. Período de tempo para o transporte

O tempo de transporte do concreto decorrido entre o início da mistura, a partir do momento da primeira adição da água, até a entrega do concreto deve ser:

- Fixado de forma que o fim do adensamento não ocorra após o início da pega do concreto lançado e das camadas ou partes contíguas a essa remessa (evitando-se a formação de “junta fria”);
- Inferior a 90 minutos, no caso do emprego de caminhão betoneira, observado o disposto no item c.1.1;
- Inferior a 40 minutos, no caso de veículo não dotado de equipamento de agitação, observado o disposto no item c.1.1.

Se esses prazos não forem atendidos e o tempo previsto para lançamento e adensamento ultrapassar os períodos previstos no item c.1.3, cabe à contratante recusar o recebimento.

c.1.3. Período de tempo para operações de lançamento e adensamento do concreto

O lançamento e o adensamento do concreto devem ser:

- Iniciados em até 30 minutos após a chegada do caminhão betoneira na obra. Em situações onde este tempo de início de descarga não possa ser cumprido, o contratante deve avaliar previamente a melhor solução técnica junto à empresa prestadora dos serviços de concretagem. Não se admite adição suplementar de água, conforme item 4.4.4 da NBR 7212;
- Realizados em tempo inferior a 150 minutos, contados a partir da primeira adição de água, no caso do emprego de caminhão betoneira, observado o disposto no item c.1.1. Decorridos 150 minutos contados a partir da primeira adição de água, fica a empresa prestadora de serviços de concretagem eximida de responsabilidade do concreto aplicado;
- Realizados em tempo inferior a 60 minutos, contados a partir da primeira adição de água, no caso de veículo não dotado de equipamento de agitação, observado o disposto no item c.1.1.

c.1.4. Temperatura

A temperatura ambiente para lançamento do concreto deve estar entre 5°C e 30°C, conforme a norma NBR 14931. Fora desses limites devem ser tomados cuidados especiais acordados entre as partes. A temperatura do concreto por ocasião de seu lançamento deve ser fixada de modo a evitar a ocorrência de fissuração de origem térmica.

c.1.5. Condições especiais

Devem ser verificadas as experiências anteriores e condições especiais, tais como temperatura e umidade relativa do ambiente, propriedades do cimento, características dos materiais, peculiaridades da obra, uso de aditivos retardadores, refrigeração e outras, em função das quais podem ser alterados os tempos (prazos) de transporte e descarga do concreto.

6.2.3. Condições gerais

De acordo com a Seção 4 da NBR 12655, os responsáveis pelo recebimento e pela aceitação do concreto são a CONTRATANTE através DO FISCAL DE OBRAS e o responsável técnico pela obra. Todavia, em detrimento ao especificado nessa norma, a documentação comprobatória de seu cumprimento (relatório de ensaios, laudos e outros) deve estar disponível e ser arquivada pelo prazo de 10 (dez) anos, de modo a permitir eventuais esclarecimentos ensejados por órgãos de controle.

A NBR 12655 é aplicável a concreto de cimento Portland para estruturas moldadas na obra, estruturas pré-moldadas e componentes estruturais pré-fabricados, bem como, estabelece os requisitos para:

- Propriedades do concreto fresco e endurecido e suas verificações;
- Composição, preparo e controle do concreto;
- Aceitação e recebimento do concreto.

Adicionalmente, a NBR 12655 se aplica a concretos normais, pesados e leves, porém, não se aplica a concreto massa, concretos aerados, espumosos e com estrutura aberta (sem finos). Exigências adicionais, estabelecidas em normas nacionais vigentes, podem ser necessárias para:

- Estruturas especiais;
- Uso de outros materiais;
- Tecnologias especiais ou tecnologias inovadoras no processo de construção;
- Concreto leve;
- Concreto projetado;
- Concreto pré-moldado;
- Pavimentos e pisos de concreto.

a. Requisitos básicos para o concreto

Segundo a Seção 3 da NBR 12655 os materiais componentes do concreto não podem conter substâncias prejudiciais em quantidades que possam comprometer a durabilidade do concreto ou causar corrosão da armadura e devem ser adequados para o uso pretendido do concreto. A composição do concreto e a escolha dos materiais componentes devem satisfazer as exigências estabelecidas nessa norma, para concreto fresco e endurecido, observando consistência, massa específica, resistência, durabilidade, proteção das barras de aço quanto à corrosão e ao sistema construtivo escolhido para a obra.

b. Requisitos e condições de durabilidade

As estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, de acordo com o que estabelece a NBR 6118, apresentem segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil. Segundo esta norma, a agressividade ambiental é classificada conforme apresentado na Tabela 1 nos projetos das estruturas correntes.

Tabela 1 - Classes de agressividade ambiental (Fonte: NBR 6118)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Frac	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar ao menor ou igual a 65 %, para partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Atendidos os critérios de projeto estabelecidos na NBR 6118, a durabilidade das estruturas é altamente dependente das propriedades do concreto. Ensaio comprobatório do desempenho da durabilidade da estrutura frente ao tipo e ao nível de agressividade previsto em projeto devem estabelecer os parâmetros mínimos a serem atendidos. Na falta desses e devido à existência de uma forte correspondência entre a relação água/cimento, a resistência à compressão do concreto e sua durabilidade, permite-se adotar os requisitos mínimos expressos na Tabela 2.

Tabela 2 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto (Fonte: NBR 12655)

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação Água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40
Consumo de cimento Portland por metro cúbico de concreto (kg/m³)	CA e CP	≥ 260	≥ 280	≥ 320	≥ 360

^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

c. Condições especiais de exposição

Segundo a Seção 5 da NBR 12655, para condições especiais de exposição devem ser atendidos os requisitos mínimos de durabilidade expressos na Tabela 3 para a máxima relação água/cimento e a mínima resistência característica.

Tabela 3 - Requisitos para o concreto em condições especiais de exposição (Fonte: NBR 12655)

Condições de exposição	Máxima relação Água / cimento, em massa, para concreto com agregado normal	Mínimo valor de f_{ck} (para concreto com agregado normal ou leve) MPa
Condições em que é necessário um concreto de baixa permeabilidade à água, por exemplo, em caixas d' água	0,50	35
Exposição a processos de congelamento e descongelamento em condições de umidade ou a agentes químicos de degelo	0,45	40
Exposição a cloretos provenientes de agentes químicos de degelo, sais, água salgada, água do mar, ou respingos ou borrifação desses agentes	0,45	40

De acordo com a Seção 7 da NBR 6118 a dimensão máxima característica do agregado graúdo utilizado no concreto não pode superar em 20% a espessura nominal do cobrimento, ou seja:

$$D_{máx} \leq 1,2 C_{nom}$$

Qualquer armadura terá cobrimento de concreto nunca menor que as espessuras prescritas no projeto e na NBR 6118. Para garantia do cobrimento mínimo preconizado em projeto, serão utilizados espaçadores plásticos ou espaçadores de concreto, e mesmo até outro dispositivo aprovado pela FISCALIZAÇÃO, com espessuras iguais ao cobrimento previsto e que não tenham partes metálicas expostas. A resistência do concreto dos espaçadores deverá ser igual ou superior à do concreto das peças às quais serão incorporadas. Os espaçadores de concreto deverão apresentar relação água/cimento menor ou igual a 0,5. Os espaçadores serão providos de arames de fixação nas armaduras.

Para cobrimento maior que 6 cm deve-se colocar uma armadura de pele complementar, em rede, cujo cobrimento não deve ser inferior aos limites especificados neste capítulo. Para concreto em contato com o solo e se o solo não for rochoso, sob a estrutura deverá ser interposta uma camada de concreto simples, não considerada no cálculo, com o consumo mínimo de 250 kg de cimento por metro cúbico e espessura de pelo menos 5 cm.

c.1. Sulfatos

Concretos expostos a solos ou soluções contendo sulfatos devem ser preparados com cimento resistente a sulfatos de acordo com a NBR 5737 e atender ao que estabelece a Tabela 4, no que se refere à relação água/cimento e à resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}).

Tabela 4 – Requisitos para concreto exposto a soluções contendo sulfatos (Fonte: NBR 12655)

Condições de exposição em fundação da agressividade	Sulfato solúvel em água (SO_4) Presente no solo % em massa	Sulfato solúvel (SO_4) presente na água ppm	Máxima relação água, em massa, para concreto com agregado normal ^a	Mínimo f_{ck} (para concreto com agregado normal ou leve) MPa
Fraca	0,00 a 0,10	0 a 150	Conforme Tabela 2	Conforme Tabela 2
Moderada ^b	0,10 a 0,20	150 a 1 500	0,50	35
Severa ^c	Acima de 0,20	Acima de 1 500	0,45	40

^a Baixa relação água / cimento ou elevada resistência podem ser necessárias para a obtenção de baixa permeabilidade do concreto ou proteção contra a corrosão da armadura ou proteção a processos de congelamento e degelo.

^b A água do mar é considerada para efeito do ataque de sulfatos como condição de agressividade moderada, embora o seu conteúdo de SO_4 seja acima de 1500 ppm, devido ao fato de que a etringita é solubilizada na presença de cloretos.

^c Para condições severas de agressividade, devem ser obrigatoriamente usados cimentos resistentes a sulfatos.

c.2. Cloretos

De forma a proteger as armaduras do concreto, o valor máximo da concentração de íons cloreto no concreto endurecido, considerando a contribuição de todos os componentes do concreto no aporte de cloretos, não pode exceder os limites estabelecidos na Tabela 5. Quando forem realizados ensaios para determinação do teor de íons cloreto solúveis em água, deve ser seguido o procedimento da ASTM C 1218.

Tabela 5 – Teor máximo de íons cloreto para proteção das armaduras do concreto (Fonte: NBR 12655)

Classe de Agressividade (5.2.2)	Condições de serviço da estrutura	Teor máximo de íons Cloreto (Cl^-) no concreto % sobre a massa de cimento
Todas	Concreto protendido	0,05
III e IV	Concreto armado exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura	0,15
II	Concreto armada não exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura	0,30
I	Concreto armado em brandas condições de exposição (seco ou protegido da umidade nas condições de serviço da estrutura)	0,40

De acordo com a Seção 5 da NBR 12655, não é permitido o uso de aditivos contendo cloretos em sua composição em estruturas de concreto armado ou protendido.

6.2.4. Armazenamento dos materiais

Conforme a Seção 5 da NBR 12655, os materiais componentes do concreto, devem permanecer armazenados na obra ou na central de dosagem, separados fisicamente desde o instante do recebimento até a mistura. Cada um dos componentes deve estar identificado durante o armazenamento, no que diz respeito à classe ou à graduação de cada procedência.

a. Cimento

O cimento deve ser armazenado separadamente, de acordo com a marca, tipo e classe. O cimento fornecido

em sacos deve ser guardado em pilhas, em local fechado, protegido da ação de chuva, névoa ou condensação. Cada lote recebido em uma mesma data deve ser armazenado em pilhas separadas e individualizadas. As pilhas devem estar separadas por corredores que permitam o acesso e os sacos devem ficar apoiados sobre estrado ou paletes de madeira, para evitar o contato direto com o piso. Os sacos devem ser empilhados em altura de no máximo 15 unidades, quando ficarem retidos por período inferior a 15 dias no canteiro de obras, ou em altura de no máximo 10 unidades, quando permanecerem por período mais longo.

O cimento fornecido a granel deve ser estocado em silo estanque, provido de respiradouro com filtro para reter poeira, tubulação de carga e descarga e janela de inspeção. Cada silo deve estar munido de uma identificação com o registro de tipo, classe e marca de cimento contido, e sua configuração interna deve ser tal que induza o fluxo desimpedido do cimento até a boca de descarga, sem gerar áreas mortas.

b. Agregados

Os agregados devem ser armazenados separadamente em função da sua graduação granulométrica, de acordo com as classificações indicadas na NBR 7211. Não pode haver contato físico direto entre as diferentes graduações. Cada fração granulométrica deve ficar sobre uma base que permita escoar a água livre de modo a eliminá-la. O depósito destinado ao armazenamento dos agregados deve ser construído de maneira tal que evite o contato com o solo e impeça a contaminação com outros sólidos ou líquidos prejudiciais ao concreto.

Os agregados devem ser compostos por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, e não devem conter substâncias de natureza e em quantidade que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da armadura contra a corrosão, a durabilidade ou, quando for requerido, o aspecto visual externo do concreto.

Segundo a Seção 4 da NBR 7211, os agregados devem ser fornecidos em lotes cujas unidades parciais de transporte devem ser individualizadas, mediante uma guia de remessa na qual constem pelo menos os seguintes dados:

- Nome do produtor;
- Proveniência do material;
- Identificação da classificação granulométrica de acordo com a referida norma;
- Massa do material ou seu volume aparente;
- Data do fornecimento.

De acordo com a Seção 8 da NBR 7211, um lote somente deve ser aceito quando cumprir todas as suas prescrições e as eventuais prescrições especiais contratadas, inclusive aquelas referentes ao conceito de agregado total.

c. Água

A água destinada ao amassamento do concreto deve ser armazenada em caixas estanques e tampadas, de modo a evitar a contaminação por substâncias estranhas.

d. Aditivos

A NBR 11768 define como aditivo para concreto o produto adicionado durante o processo de preparação do concreto, em quantidade não maior que 5 % da massa de material cimentício contida no concreto, com o objetivo de modificar propriedades do concreto no estado fresco e/ou no estado endurecido, exceto pigmentos inorgânicos para o preparo de concreto colorido. Segundo a Seção 5 dessa norma, os aditivos por ela definidos devem cumprir com os requisitos correspondentes, conforme tabelas nela constantes.

Os aditivos devem ser armazenados, até o instante do seu uso, nas embalagens originais ou em local que atenda às especificações do fabricante. Os aditivos líquidos, no instante de seu uso, quando não forem utilizados em sua embalagem original, devem ser transferidos para um recipiente estanque, não sujeito à corrosão, protegido contra contaminantes ambientais e provido de agitador, de forma a impedir a decantação dos sólidos.

O aditivo líquido, quando utilizado diretamente de sua embalagem original, deve ser homogeneizado energicamente, de forma a impedir a decantação dos sólidos contidos no aditivo, uma vez por dia e imediatamente antes de seu uso, ou deve ser submetido ao procedimento recomendado pelo fabricante. O recipiente para o armazenamento de aditivos deve estar munido de identificação que permita sua rastreabilidade.

e. Sílica ativa, metacaulim e outros materiais pozolânicos

Devem ser identificados e armazenados separadamente.

6.2.5. Condições específicas de recebimento dos materiais

Os materiais recebidos devem ser verificados em relação ao seu aspecto geral, quantidade, validade e demais características, garantindo que eles atendam às especificações de compra estabelecidas. O armazenamento deve ser separado por tipo de material ou especificações de projeto, com identificação clara, caso existam peças similares estocadas no mesmo local. O transporte destes materiais deve ser realizado de maneira a garantir as condições de estocagem.

a. Agregados

É fundamental que se tenha pleno conhecimento dos agregados a serem utilizados para a obtenção do concreto. Eles podem ser subdivididos em duas categorias:

- Agregado miúdo: Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm, ressalvados os limites estabelecidos na NBR 7211, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248, com peneiras definidas pela NBR NM ISO 3310-1;
- Agregado graúdo: Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, ressalvados os limites estabelecidos na NBR 7211, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248, com peneiras definidas pela NBR NM ISO 3310-1.

Os agregados a serem utilizados nas estruturas de concreto armado deverão obedecer às exigências contidas nas NBR 7211 e NBR 6118. Dentre as recomendações mais importantes destacam-se:

- Os agregados devem possuir granulometria e forma dos grãos adequadas, resistência mecânica e serem isentos de substâncias nocivas e impurezas orgânicas, tais como: torrões de argila, materiais carbonosos e material pulverulento, nos limites propostos pela normalização;
- Deverá ser coletada amostra do agregado miúdo sempre que houver dúvidas sobre sua homogeneidade em relação à proposta para a dosagem do concreto. A amostra deverá ser coletada de acordo com a NBR NM26 e realizar todos os ensaios propostos pela NBR 7211;
- A granulometria dos agregados deverá se enquadrar em uma das faixas propostas e referenciadas nas Tabelas 6 e 7;
- Os agregados podem possuir teor de matéria orgânica, entre os limites estabelecidos pela NBR NM 49 (somente areia);
- Segundo a NBR 7211 para a aceitação de um ou mais lotes de agregados, definidos conforme NBR NM 26, deve ser estabelecido explicitamente entre o consumidor e o produtor a realização da coleta e dos ensaios das amostras respectivas por laboratório idôneo. Um lote somente deve ser aceito quando cumprir todas as prescrições da referida norma e as eventuais prescrições especiais contratadas.

Tabela 6 – Limites granulométricos de agregado miúdo (Fonte: NBR 7211)

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISSO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100
NOTA 1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90				

NOTA 2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20

NOTA 3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50

Tabela 7 – Limites granulométricos de agregado graúdo (Fonte: NBR 7211)

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada				
	Zona granulométrica				
	d/D ^a				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
75 mm	-	-	-	-	0 – 5
63 mm	-	-	-	-	5 – 30
50 mm	-	-	-	0 – 5	75 – 100
37,5 mm	-	-	-	5 – 30	90 – 100
31,5 mm	-	-	0 – 5	75 – 100	95 – 100
25 mm	-	0 – 5	5 – 25 ^b	87 – 100	-
19 mm	-	2 – 15 ^b	65 ^b - 95	95 – 100	-
12,5 mm	0 – 5	40 ^b – 65 ^b	92 – 100	-	-
9,5 mm	2 -15 ^b	80 ^b – 100	95 – 100	-	-
6,3 mm	40 ^b – 65 ^b	92 – 100	-	-	-
4,75 mm	80 ^b – 100	95 – 100	-	-	-
2,36 mm	95 - 100	-	-	-	-

^a Zona granulométrica corresponde à menor (d) e à maior (D) dimensões do agregado graúdo.

^b Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo cinco unidades percentuais em apenas um dos limites marcados com b. Essa variação pode também estar distribuída em vários desses limites.

b. Aço

O aço recebido na planta de produção deve atender às exigências das normas NBR 7480, 7481, 7482, 7483 e/ou 7484 (de acordo com o tipo de aço utilizado), no mínimo em relação aos ensaios de:

- Tração e dobramento, no caso de fios, barras e telas para concreto armado;
- Tensão sob alongamento, tração, relaxação (se necessário), no caso de fios e cordoalhas para concreto protendido.

Devem ser mantidos laudos de laboratório ou fornecedor que comprovem o atendimento às exigências para todos os lotes entregues.

Existem dois tipos de nomenclatura para os aços, segundo a NBR 7480 Seção 4:

- Barras: produtos de bitola igual ou superior a 6,3 mm, obtidos exclusivamente por laminação à quente sem processo posterior de deformação mecânica;
- Fios: produtos de bitola inferior a 10,0 mm obtidos a partir de fio-máquina por trefilação ou laminação a frio.

De acordo com o valor característico da resistência de escoamento registrado em ensaio de tração, são classificados em: CA-25 e CA-50, enquanto os fios de aço na categoria CA-60.

As barras e fios devem apresentar suficiente homogeneidade quanto às suas características geométricas, e possuir mossas e saliências visíveis para melhorar a aderência das mesmas ao concreto.

Deve ser garantido à FISCALIZAÇÃO o livre acesso aos locais em que as peças encomendadas estejam sendo fabricadas, examinadas ou ensaiadas, tendo o direito de inspecioná-las. A inspeção pode ser efetuada

diretamente pela FISCALIZAÇÃO ou através de inspetor credenciado.

Todo o sistema de controle de qualidade, envolvendo as atividades de amostragem, ensaios e análise de resultados, deverá ser realizado segundo as especificações contidas na NBR 7480, que irá subsidiar sobre a aceitação ou rejeição dos materiais disponibilizados pela CONTRATADA. É necessária a realização da amostragem dos materiais no próprio canteiro, sendo realizados sobre estas amostras ensaios de tração e dobramento.

Não é vedada a utilização de barras de aço soldada. A soldabilidade quando requerida deve atender ao estabelecido na NBR 6118, cujos principais requisitos são apresentados no item Emendas deste capítulo do Caderno de Encargos.

Quando da utilização de peças protendidas nas obras, os fios e cordoalhas a serem utilizados serão inspecionados e avaliados respeitando-se às prescrições contidas na NBR 7482, NBR 7483 e NBR 7484.

O estoque do aço (bruto ou armaduras montadas) deve ser realizado em local afastado do solo e demais fontes de umidade, de modo a garantir a não ocorrência de oxidações excessivas, carepas, materiais aderidos, deformações ou dobramentos (antes da montagem). O armazenamento deve ser separado por tipo (bitola, rolos, painéis etc.).

Os materiais devem ser devidamente identificados por tipo. As armaduras montadas (se estocadas) devem ter a identificação da peça ou elemento a que se destinam.

O transporte do aço até o local de produção da peça deve ser realizado garantindo a não ocorrência de deformações e, no caso de armaduras pré-montadas, evitando-se rupturas dos vínculos de posicionamento, conformação das armaduras (incluindo sua identificação) e posicionamento de elementos de ligação ou ancoragens (quando aplicável).

c. Cimentos

A composição química e as características mecânicas dos cimentos a serem utilizados, devem ser compatíveis com o trabalho a que se destinam e respeitar as prescrições contidas na NBR 16697.

Admite-se, à partida, que sejam utilizados todos os cimentos produzidos no Brasil, tais como:

- Cimento CP II E, CP II F, CP II Z
- Cimento CP III
- Cimento CP IV
- Cimento CP V ARI

A CONTRATADA deverá respeitar todos requisitos propostos pelas normas técnicas em relação aos cimentos, especificamente com atenção voltada para: condições de estocagem e armazenamento; inspeção periódica e ensaios; critérios de escolha em função do tipo de peça de concreto produzida e das condições de exposição a que ela estará submetida (submersa, enterrada, ar livre, etc.).

Em relação a embalagem, marcação e entrega dos cimentos, têm-se:

- O cimento pode ser entregue em sacos, *containers* ou a granel;
- Quando o cimento é entregue em sacos, estes devem ter impressos de forma bem visível em cada extremidade, as siglas e classes correspondentes, a denominação normalizada, o nome e a marca do FABRICANTE;
- Os sacos devem conter 50 kg líquidos de cimento e estar íntegros na ocasião da inspeção e recebimento;
- No caso de cimento a granel ou *container*, a documentação que acompanha a entrega deve conter a sigla correspondente (CP E, CP Z, etc.), a classe (25, 32 ou 40), a denominação normalizada, o nome, marca do FABRICANTE e a massa líquida de cimento entregue.

Em relação ao armazenamento em sacos, recomenda-se:

- Os sacos de cimento devem ser armazenados em locais secos e protegidos para preservação da qualidade, de forma a permitir fácil acesso à inspeção e identificação de cada lote. As pilhas devem ser colocadas sobre estrados secos e não devem ter mais de 15 sacos, para uso em até 15 dias e não mais de 10 sacos, para uso superior a 15 dias.
- Preferencialmente, a escolha do tipo de cimento a ser utilizado deverá constar do projeto executivo, e quando da sua não definição prévia, ficará sob responsabilidade da FISCALIZAÇÃO.

- Dependendo do porte da obra a ser realizada e a critério da FISCALIZAÇÃO, os cimentos poderão ser fornecidos em silos instalados dentro do canteiro de obra ou da praça de trabalho.
- Quando por alguma razão a FISCALIZAÇÃO detectar algum tipo de anomalia no cimento em utilização na obra, poderá solicitar a realização de ensaios de avaliação da qualidade e da atividade dos mesmos. Uma vez detectada a perda de atividade dos cimentos estocados na obra, a CONTRATADA procederá imediatamente a sua remoção do canteiro e a sua consequente reposição.
- Qualquer problema na mudança de coloração das peças em concreto aparente, motivado pela alteração do tipo de cimento, será de inteira responsabilidade da CONTRATADA, ficando a seu cargo, sem ônus para a PBH, a resolução do problema, mediante a utilização de técnicas apropriadas, tais como a estucagem.
- Não será conveniente utilizar numa mesma concretagem mistura de tipos diferentes de cimento, nem de marcas diferentes, ainda que pertencentes a um mesmo tipo.
- O estoque de cimento para concreto deve ser realizado em local coberto ou fechado, de modo que não tenha contato com a umidade e que seja garantida sua validade estabelecida pelo fabricante, não ocorrência de endurecimento, contaminação ou alterações de suas características. O transporte interno até o local de mistura deve garantir as mesmas condições de estoque.
- Especificamente para o cimento ensacado, deve ser estocado de maneira a atender a todas as condições estabelecidas na embalagem (local, empilhamento máximo etc.) e seu transporte deve evitar que os sacos sejam molhados ou rasgados até sua utilização.

d. Água

A água é o elemento necessário à hidratação do cimento, para a reação química básica na produção de concretos e argamassas. Deve ser isenta de teores prejudiciais e de substâncias estranhas. Podem ser usadas para produção de concretos, as águas potáveis e as que apresentarem PH entre 5,8 e 8,0 e respeitem os seguintes limites máximos:

- Matéria orgânica (expressa em oxigênio consumido) 3 mg / L
- Resíduo sólido 5000 mg / L
- Sulfatos (expresso em íons SO_4^{-2}) 300 mg / L
- Cloretos (expresso em íons Cl^{-1}) 500 mg / L
- Açúcar 5 mg / L

A FISCALIZAÇÃO poderá, caso algum dos limites acima não seja atendido, exigir estudos experimentais em laboratório para avaliação das consequências do uso da água em questão, em conformidade com as prescrições da NBR 6118.

Qualquer tipo de água disponibilizada diretamente pela COPASA é aceita e recomendada para a utilização em concretos.

e. Aditivo

Aditivo, por definição, é todo e qualquer material incorporado na mistura até o limite de 5 % sobre o peso de cimento ou aglomerante utilizado na produção de concretos. É recomendável a utilização de aditivos nos concretos produzidos visando alcançar alguma propriedade desejável e importante. Dentre eles pode-se citar:

- Plastificantes e super plastificantes;
- Redutor de água;
- Incorporador de ar;
- Corantes;
- Hidrofugantes;
- Acelerador ou retardador de pega, etc.

Todos os aditivos a serem utilizados deverão atender às especificações contidas na NBR 11768. É dispensável, por parte da CONTRATADA, a realização de ensaios de recepção e controle dos aditivos a serem utilizados. Entretanto, caso haja, no ato de produção, lançamento ou cura do concreto, a aparição de alguma patologia ou dano, cuja origem tenha sido a qualidade do aditivo utilizado, a CONTRATADA é responsável pelos danos ocasionados, ficando obrigada a repor o concreto às condições prescritas pelo projeto. A qualquer tempo, a FISCALIZAÇÃO poderá exigir a contratação de um laboratório especializado,

com o objetivo de avaliar o desempenho de possíveis aditivos a serem utilizados nos concretos, sem ônus para a PBH. A utilização de qualquer aditivo é condicionada a uma aprovação prévia da FISCALIZAÇÃO.

f. Adições

Entende-se como adição todo e qualquer material incorporado no cimento geralmente acima de 5 % sobre o peso de cimento ou aglomerante utilizado. Caso venha ocorrer algum tipo de patologia nos concretos produzidos cuja causa esteja relacionada com o uso da adição, ela será de inteira responsabilidade da CONTRATADA, ficando a mesma responsável pela reparação dos danos ocasionados. Pode-se utilizar como adição os seguintes materiais: escória moída, pozolanas, filler, etc.

6.2.6. Formas e Escoramentos

As fôrmas deverão ser dimensionadas de modo que não possuam deformações prejudiciais, quer sob a ação dos fatores ambientais, quer sob a carga, especialmente a do concreto fresco, considerando nesta o efeito do adensamento sobre o empuxo do concreto.

O escoramento deverá ser considerado de modo a não sofrer, sob a ação de seu peso, do peso da estrutura e das cargas acidentais que possam atuar durante a execução da obra, deformações prejudiciais à forma da estrutura ou que possam causar esforços no concreto na fase de endurecimento. Não se admitem pontaletes de madeira com diâmetro ou menor lado da seção retangular inferior a 5 cm, para madeiras rígidas, e 7 cm para madeiras flexíveis. Os pontaletes com mais de 3 m de comprimento deverão ser contraventados. Deverão ser tomadas as precauções necessárias para evitar recalques prejudiciais provocados no solo ou na parte da estrutura que suporta o escoramento, pelas cargas por eles transmitidas.

Os materiais de execução das formas devem ser compatíveis com o acabamento desejado e indicado no projeto. Partes da estrutura não visíveis poderão ser executadas com madeira serrada em bruto. Para as partes aparentes, será exigido o uso de chapas compensadas, madeira aparelhada, madeira em bruto revestida com chapa metálica ou simplesmente outros tipos de materiais, conforme indicação no projeto e conveniência de execução, desde que sua utilização seja previamente aprovada pela FISCALIZAÇÃO. As madeiras deverão ser armazenadas em locais abrigados, onde as pilhas terão o espaçamento adequado, a fim de prevenir a ocorrência de incêndios. O material proveniente da desforma, quando não mais aproveitável, será retirado das áreas de trabalho.

Geralmente são encontrados dois tipos de estruturas de formas:

- Estruturas padrão, moduladas, com grande número de repetições e aplicação em diversas estruturas;
- Estrutura atípica como escadas, reservatórios d'água, rampas, elevadores e mesmo pequenas obras com finalidade específica.

Em relação à estrutura padrão é fundamental racionalizar o serviço, empregando materiais que possuam um alto índice de reaproveitamento e que minimizem a mão de obra. O uso do aço (escoras, painéis laterais e fundo de vigas) combinado com fibras sintéticas em forma de módulos de laje pode produzir satisfatórios resultados tanto nos fatores qualidade e prazo, como também no reaproveitamento.

Os escoramentos podem ser de dois tipos:

- Madeira: utilizando pontaletes de eucalipto sem nós visíveis ou em peças de lei serradas de dimensões mínimas de 7 cm;
- Metálicos: sistemas padronizados, versáteis e práticos, projetados por empresas especializadas e devidamente concebidas em função das necessidades impostas pelo projeto de formas.

No caso do emprego de escoramento metálico devem ser seguidas as instruções do fornecedor responsável pelo sistema.

a. Dimensionamento

As formas e os escoramentos de madeira deverão ser dimensionados e construídos obedecendo às prescrições da NBR 7190. Escoramentos em estruturas metálicas deverão observar as prescrições da NBR 8800.

b. Precauções contra incêndio

Deverão ser tomadas nas obras as devidas precauções para proteger as formas e o escoramento contra os riscos de incêndio, tais como cuidados nas instalações elétricas provisórias, remoção de resíduos combustíveis e limitação no emprego de fontes de calor, observando a NR 18.

As fôrmas devem adaptar-se ao formato e às dimensões das peças da estrutura projetada, respeitadas as tolerâncias da Seção 9 da NBR 14931, caso o plano da obra, em virtude de circunstâncias especiais não as

exija mais rigorosas.

A fôrma deve ser suficientemente estanque, de modo a impedir a perda de pasta de cimento, admitindo-se como limite a surgência do agregado miúdo da superfície do concreto. Os elementos estruturantes das fôrmas devem ser dispostos de modo a manter o formato e a posição da fôrma durante toda sua utilização. Durante a concretagem de elementos estruturais de grande vão deve haver monitoramento e correção de deslocamentos do sistema de fôrmas não previstos nos projetos.

Devem ser tomadas as devidas precauções para proteger o sistema de fôrmas de riscos de incêndio, observando a NR 18.

c. Componentes embutidos nas fôrmas e reduções de seção

Segundo a NBR 14931 Seção 7 a presença de componentes e furos em uma região da estrutura deve ser verificada pelo projetista. Elementos estruturantes das fôrmas, barras, tubulações e similares, com as funções estabelecidas em projeto, além de insertos ou pinos de ancoragem, podem ser colocados dentro da seção, devendo:

- Ser fixados para assegurar o posicionamento durante a concretagem;
- Não alterar características estruturais da peça;
- Não reagir de maneira nociva ou prejudicial com os componentes do concreto, em especial o cimento Portland, ou com as armaduras;
- Não provocar manchas na superfície de concreto aparente;
- Não prejudicar o desempenho funcional e a durabilidade do elemento estrutural;
- Permitir que as operações de lançamento e adensamento do concreto fresco sejam feitas de maneira adequada.

Qualquer componente embutido deve preservar o formato durante a operação de concretagem e resistir a contaminações que possam afetar sua integridade, a do concreto ou a da armadura. No caso de ser metálico deve-se prever proteção contra corrosão.

Aberturas e orifícios usados para trabalhos temporários devem ser preenchidos e acabados com um material de qualidade similar à do concreto da estrutura.

d. Montagem de formas para concreto armado

d.1. Montagem de forma de pilar

Na montagem das formas dos pilares devem ser observados os seguintes procedimentos:

- Verificar se o desmoldante foi aplicado nas formas (exceto no primeiro uso);
- Observar se o posicionamento das galgas e dos espaçadores e o espaçamento entre tensores ou agulhas atendem ao projeto;
- Conferir o prumo das fôrmas de pilares, utilizando um prumo face, e a altura de topo de cada painel;
- Conferir a imobilidade do conjunto mão-francesa-gastalho e o esquadro do encontro dos painéis no topo do pilar;
- Verificar todos os encaixes das fôrmas para que não haja folgas. Acertar eventuais diferenças encontradas em qualquer dos itens averiguados.

d.2. Montagem de forma de viga

Na montagem das fôrmas das vigas, devem ser observados os seguintes procedimentos:

- Utilizando um prumo, observar se os pontos de fixação das linhas de náilon que definem os eixos da obra foram transferidos, do andar inferior para o pavimento a ser concretado, com exatidão. Acertar qualquer diferença encontrada;
- Verificar a locação dos topos das formas de pilares, com uma tolerância de + ou - 2 mm, bem como as dimensões internas das formas;
- Checar se o desmoldante foi aplicado na face da forma de viga (exceto no primeiro uso);
- Certificar-se do perfeito encaixe das formas na cabeça dos pilares, admitindo uma tolerância de + ou - 2 mm;
- O alinhamento dos painéis laterais deve ser conferido por intermédio de linhas de náilon unindo as

cabeças dos pilares;

- Observar o nivelamento dos fundos de viga, medindo com um metro a altura da forma até a linha de náilon posicionada horizontalmente, abaixo dos fundos de viga;
- Avaliar a perfeita imobilidade de todo o conjunto, assim como o espaçamento dos garfos definido em projeto.

d.3. Montagem de forma de lajes

Na montagem das fôrmas das lajes devem ser observados os seguintes procedimentos:

- Verificar a fixação e o posicionamento dos sarrafos - guia para apoio das longarinas;
- Checar o posicionamento das longarinas e das escoras, bem como o seu travamento;
- Observar se o assoalho está todo pregado nas longarinas e com desmoldante aplicado.

e. Precauções anteriores ao lançamento do concreto

Antes do lançamento do concreto deverão ser conferidas as dimensões e a posição das fôrmas, a fim de assegurar que a geometria da estrutura corresponda ao projeto. Procede-se a limpeza do interior das fôrmas e a vedação das juntas, de modo a evitar a fuga de pasta. Nas fôrmas de paredes, pilares e vigas estreitas e altas, deve-se deixar aberturas próximas ao fundo, para limpeza.

As fôrmas absorventes deverão ser molhadas até a saturação, fazendo-se furos para escoamento da água em excesso. No caso em que as superfícies das fôrmas sejam tratadas com produtos antiaderentes, destinados a facilitar a desmontagem, esse tratamento deverá ser executado antes da colocação da armadura. Os produtos empregados não deverão deixar, na superfície do concreto, resíduos que sejam prejudiciais ou possam dificultar a retomada da concretagem ou a aplicação de revestimento.

f. Fôrmas perdidas ou remanescentes na estrutura

De acordo com a NBR 14931, recomenda-se evitar o uso de fôrmas perdidas. Nos casos em que não for feita a retirada da fôrma ou parte dela, essa condição deve ser previamente estabelecida em projeto e devem ser verificadas:

- A durabilidade do material componente da fôrma;
- A compatibilidade desse material com o concreto;
- A estabilidade estrutural do elemento contendo a fôrma perdida;
- A correta ancoragem da fôrma perdida.

g. Uso de agentes desmoldantes

Quando agentes destinados a facilitar a desmoldagem forem necessários, devem ser aplicados exclusivamente na fôrma antes da colocação da armadura e de maneira a não prejudicar a superfície do concreto. Agentes desmoldantes devem ser aplicados de acordo com as especificações do fabricante e normas nacionais, devendo ser evitados o excesso ou a falta do desmoldante. Salvo condição específica, os produtos utilizados não devem deixar resíduos na superfície do concreto ou acarretar algum efeito que cause alteração na qualidade da superfície ou resulte em alteração de cor e prejuízo da aderência do revestimento a ser aplicado.

h. Dispositivos para fôrmas e escoramento

A construção das fôrmas e do escoramento deverá ser executada de modo a facilitar a retirada de seus diversos elementos separadamente, se necessário. Para que se possa fazer essa retirada sem choque, o escoramento deverá ser apoiado sobre cunhas, caixas de areia ou outros dispositivos apropriados a esse fim.

Deverão ser utilizados produtos que facilitem a retirada das fôrmas após a concretagem sem, contudo, deixar manchas ou bolhas sobre a superfície dos concretos.

6.2.7. Armadura

a. Emprego de diferentes classes e categorias de aço

Não poderão ser empregados na obra aços de qualidades diferentes das especificadas no projeto, sem aprovação prévia do projetista. Quando previsto o emprego de aços de qualidades diversas, deverão ser tomadas as necessárias precauções para evitar a troca involuntária.

b. Limpeza

As barras de aço deverão ser convenientemente limpas de qualquer substância prejudicial à aderência, retirando-se as escamas eventualmente destacadas por oxidação.

A superfície da armadura deve estar livre de ferrugem e substâncias deletérias que possam afetar de maneira adversa o aço, o concreto ou a aderência entre esses materiais. Armaduras que apresentem produtos destacáveis na sua superfície em função de processo de corrosão devem passar por limpeza superficial antes do lançamento do concreto. Após limpeza deve ser feita uma avaliação das condições da armadura, em especial de eventuais reduções de seção.

c. Dobramento, fixação das barras e barras curvadas

Segundo a NBR 14931 e a NBR 6118, o dobramento das barras, inclusive ganchos, deve ser feito respeitando os diâmetros internos de curvatura das tabelas a seguir. As barras de aço deverão ser sempre dobradas a frio. As barras não podem ser dobradas junto às emendas com soldas, observando-se uma distância mínima de 10 vezes o diâmetro.

Tabela 8 – Diâmetro dos pinos de dobramento para armaduras longitudinais de tração (Fonte: NBR 6118)

Bitola mm	Tipo de aço		
	CA-25	CA-50	CA-60
< 20	4 ϕ	5 ϕ	6 ϕ
≥ 20	5 ϕ	8 ϕ	-

Tabela 9 - Diâmetro dos pinos de dobramento para estribos (Fonte: NBR 6118)

Bitola mm	Tipo de aço		
	CA-25	CA-50	CA-60
$\phi_t \leq 10$	3 ϕ_t	3 ϕ_t	3 ϕ_t
$10 < \phi_t < 20$	4 ϕ_t	5 ϕ_t	-
$\phi_t \geq 20$	5 ϕ_t	8 ϕ_t	-

d. Emendas

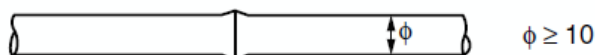
As emendas das barras de aço poderão ser executadas por trespasse, por luvas rosqueadas, luvas prensadas ou por solda. Os trespases deverão respeitar, rigorosamente, os detalhes e orientações do projeto estrutural, em consonância com as especificações constantes na NBR 6118.

Segundo a NBR 6118, para emendas rosqueadas ou prensadas a resistência da emenda deve atender aos requisitos de normas específicas. Na ausência destes, a resistência deve ser no mínimo 15% maior que a resistência de escoamento da barra a ser emendada, obtida em ensaio.

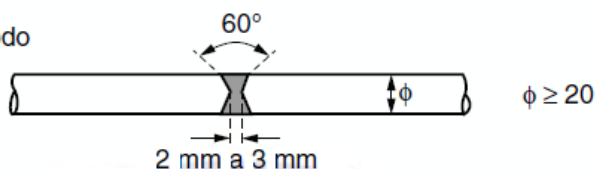
A emenda por solda, quando não especificada no projeto, deverá seguir as prescrições da NBR 14931 e NBR 6118, podendo ser:

- De topo, por caldeamento, para bitola não menor que 10 mm;
- De topo, com eletrodo, para bitola não menor que 20 mm;
- Por trespasse com pelo menos dois cordões de solda longitudinais, cada um deles com comprimento não inferior a 5 ϕ , afastados no mínimo 5 ϕ ;
- Com outras barras justapostas (cobrejuntas), com cordões de solda longitudinais, fazendo-se coincidir o eixo baricêntrico do conjunto com o eixo longitudinal das barras emendadas, devendo cada cordão ter comprimento de pelo menos 5 ϕ .

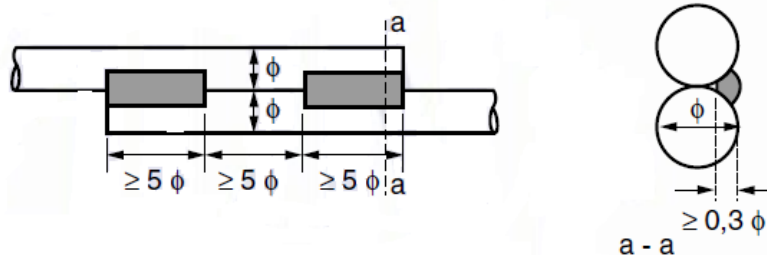
De topo por caldeamento



De topo com eletrodo



Por traspassse



Com barras justapostas

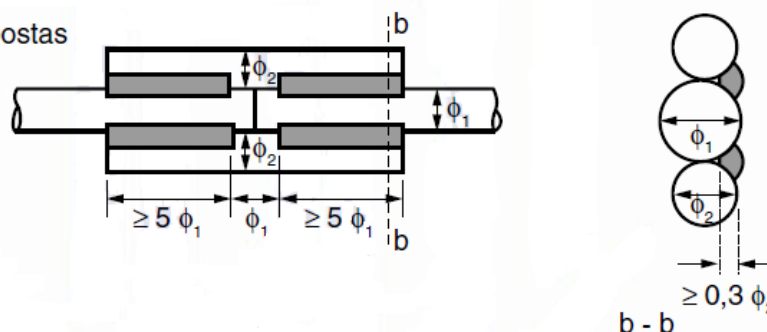


Figura 1 - Emendas por solda (Fonte: NBR 6118)

As máquinas soldadoras deverão ter características elétricas e mecânicas apropriadas à qualidade do aço e à bitola da barra e ser de regulagem automática. Nas emendas por caldeamento, as extremidades das barras deverão ser planas e normais aos eixos. Já nas emendas com eletrodos, as extremidades serão chanfradas, devendo-se limpar perfeitamente as superfícies. De acordo com a NBR 6118, as emendas por solda exigem cuidados especiais quanto à composição química dos aços e dos eletrodos e quanto às operações de soldagem que devem atender às especificações de controle do aquecimento e resfriamento da barra, conforme normas específicas.

Deverão ser realizados ensaios prévios da solda na forma e com o equipamento e o pessoal a serem empregados na obra assim como ensaios posteriores para controle.

e. Montagem

A armadura deverá ser posicionada e fixada no interior das formas de modo que durante o lançamento do concreto se mantenha na posição indicada no projeto, conservando-se inalteradas as distâncias das barras entre si e às faces internas das formas.

f. Proteção

Antes e durante o lançamento do concreto, as plataformas de serviços deverão estar dispostas de modo a não acarretarem deslocamento das armaduras.

As barras de espera deverão ser devidamente protegidas contra a oxidação; ao ser retomada a concretagem elas deverão ser perfeitamente limpas de modo a permitir boa aderência.

g. Cobrimento

Deverá ser realizado respeitando-se as prescrições contidas na NBR 6118, bem como o projeto executivo. Qualquer barra da armadura, inclusive de distribuição, de montagem e estribos, deve ter cobertura pelo menos igual ao seu diâmetro, mas não menor que o especificado conforme tabela a seguir:

*Tabela 10 - Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobertura nominal
 (Fonte: Adaptado de NBR 6118)*

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV ^c
		Cobertura nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

^a Cobertura nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobertura da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas do item 7.4.7.5 da NBR 6118, respeitado um cobertura nominal ≥ 15 mm.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobertura nominal ≥ 45 mm.

A agressividade ambiental deve ser classificada de acordo com o apresentado no item anterior e pode ser avaliada segundo as condições de exposição da estrutura ou de suas partes.

h. Sistemas de protensão

Os sistemas de protensão devem estar de acordo com o que estabelecem na NBR 14931, NBR 6118, NBR 7187, entre outras, em que se aplicar esses sistemas.

6.2.8. Execução do concreto

O objetivo deste item é expor as determinações da NBR 6118 e NBR 14931, bem como a experiência profissional da PBH em obras de concreto armado. Já há muitos anos, vem sendo dada ênfase especial à questão qualidade - durabilidade, ultrapassando em importância e preocupação outra questão ligada às estruturas de concreto armado – a resistência mecânica.

Procura-se enfatizar os aspectos ligados a execução de uma obra de concreto armado, para lhe garantir uma vida com qualidade superior a 50 anos.

A passagem de tubulações ou qualquer outro elemento, através de peças estruturais (vigas e/ou lajes), deve ser previsto previamente antes da concretagem. Caso contrário, será executada na peça devidamente curada, utilizando-se perfuratrizes especiais. Vale ressaltar que, tal procedimento, só será aceito com a aprovação do projetista e o detalhamento da intervenção no projeto estrutural, especificando o diâmetro e posição relativa dos furos, salientando, ainda, os cuidados estruturais a serem tomados, tais como reforços.

Os níveis definidos no projeto estrutural, serão marcados e transferidos.

Desta forma, serão descritos neste item normas e procedimentos voltados para a execução de obras, relacionando posturas de controle, inspeção e aceitação das suas estruturas.

a. Medida dos materiais e do concreto

Segundo a seção 5 da NBR 12655, a base de medida do concreto é o metro cúbico no estado fresco adensado. A medida volumétrica dos agregados somente é permitida para os concretos preparados no próprio canteiro de obras, cumpridas as demais prescrições dessa norma.

- Os materiais para concreto de classe C20 e não estruturais, de acordo com a NBR 8953, devem ser medidos em massa ou em massa combinada com volume, ou seja, que o cimento seja sempre medido em massa e que o canteiro deva dispor de meios que permitam a confiável e prática conversão de massa para volume de agregados, levando em conta a umidade da areia.
- Os materiais para concreto de classe C25 e superiores, de acordo com a NBR 8953, devem ser medidos em massa.

Sílica ativa, metacaulim e outros materiais pozolânicos devem ser sempre medidos em massa. Para concreto proporcionado em massa deve ser atendido o disposto na NBR 7212, no que diz respeito aos equipamentos e à medida dos materiais.

b. Mistura

Os componentes do concreto devem ser misturados até formar uma massa homogênea. Esta operação pode ser executada na obra, na central de concreto ou em caminhão betoneira. O equipamento de mistura utilizado para este fim, bem como sua operação, deve atender às especificações do fabricante quanto à capacidade de carga, velocidade e tempo de mistura.

Quando a mistura for realizada em central de concreto ou em caminhão-betoneira deve seguir o disposto na NBR 7212, no que se refere ao equipamento de mistura.

b.1. Em betoneira estacionária

De acordo com a Seção 5 da NBR 12655 devem ser obedecidas as especificações do fabricante.

b.2. Em caminhão-betoneira ou centrais misturadoras

Quando os materiais forem misturados em caminhão-betoneira ou central misturadora, deve ser obedecido o disposto na NBR 7212.

c. Preparo do concreto

c.1. Dosagem empírica

De acordo com a NBR 12655, o traço de concreto pode ser estabelecido empiricamente somente para o concreto das classes C10 e C15, com consumo mínimo de 300 kg de cimento por metro cúbico.

Ressalta-se que os concretos das classes C10 e C15 não são mais usados para fins estruturais, inclusive em elementos de fundação. De acordo com a NBR 6118, a menor classe de resistência para um concreto com emprego estrutural é a C20.

c.2. Dosagem racional e experimental

Tanto as dosagens para o preparo do concreto em obra, quanto à encomenda e ao fornecimento de concreto pré - misturado, deverão ter por base a resistência característica, f_{ck} , nos termos da norma NBR 6118.

Segundo a NBR 12655, a composição de cada concreto de classe C20 ou superior, a ser utilizado na obra, deve ser definida, em dosagem racional e experimental, com a devida antecedência em relação ao início da concretagem da obra. O estudo de dosagem deve ser realizado com os mesmos materiais e condições semelhantes àsquelas da obra, tendo em vista as prescrições do projeto e as condições de execução. O cálculo da dosagem do concreto deve ser refeito cada vez que for prevista uma mudança de marca, tipo ou classe do cimento, na procedência e qualidade dos agregados e demais materiais.

Para os casos de concreto autoadensável no estudo de dosagem devem ser verificados os requisitos da NBR 15823-1.

Destaca-se que, caso se opte, os concretos das classes C10 e C15, apesar de não serem mais especificados para elementos estruturais, também podem ter a sua composição estabelecida por dosagem racional e experimental.

c.3. Concreto preparado pelo construtor da obra

Conforme Seções 3 e 4 da NBR 12655, na hipótese de concreto preparado pelo construtor da obra, as seguintes etapas devem ser realizadas:

- Caracterização dos materiais componentes do concreto;

- Observação quanto aos critérios de medida dos materiais e do concreto (item 6.2.8.a);
- Estudo de dosagem do concreto;
- Ajuste e comprovação do traço de concreto;
- Elaboração do concreto.

A referida norma especifica que ao profissional responsável pela execução da obra de concreto cabem as seguintes responsabilidades:

- Escolha da modalidade de preparo do concreto (conforme Seção 4 da NBR 12655);
- Escolha do tipo de concreto a ser empregado e sua consistência, dimensão máxima do agregado e demais propriedades, de acordo com o projeto e com as condições de aplicação;
- Atendimento a todos os requisitos de projeto, inclusive quanto à escolha dos materiais a serem empregados;
- Recebimento e aceitação do concreto (conforme Seção 3 da NBR 12655), sendo o recebimento do concreto constituído pela verificação da conformidade das propriedades especificadas para o estado fresco, efetuada durante a descarga da betoneira e, no caso do concreto dosado em central, abrange também a aprovação da documentação correspondente ao pedido do concreto e a aceitação, a verificação do atendimento a todos os requisitos especificados para o concreto;
- Cuidados requeridos pelo processo construtivo e pela retirada do escoramento, levando em consideração as peculiaridades dos materiais (em particular, do cimento) e as condições de temperatura ambiente;
- Atendimento aos requisitos da NBR 9062 para a liberação da protensão, da desforma e da movimentação de elementos pré-moldados de concreto;
- Verificação do atendimento aos requisitos da NBR 12655 pelos respectivos profissionais envolvidos;
- Efetuar a rastreabilidade do concreto lançado na estrutura.

Adicionalmente, o profissional responsável pela execução da obra deverá dedicar especial atenção às seguintes atividades:

- Preparo, controle, recebimento, transporte, lançamento, adensamento e cura do concreto;
- Conferência das medidas e posições das formas, limpeza, estanqueidade, saturação das formas absorventes (retirar excesso de água), cuidado com o uso dos desmoldantes e retirada das formas;
- Limpeza da armação, montagem, cobrimento (uso de espaçadores adequados), e garantia da posição das armaduras antes e durante a concretagem.
- Observar as prescrições da NR18 e outras normas aplicáveis de segurança do trabalho.

d. Concretagem

d.1. Transporte

O concreto deverá ser transportado do local do amassamento ou da boca de descarga do caminhão betoneira até o local da concretagem num tempo compatível com as condições, e o meio utilizado não deverá acarretar desagregação ou segregação de seus elementos ou perda sensível de qualquer deles por vazamento ou evaporação.

No caso de transporte por bombas, o diâmetro interno do tubo deverá ser no mínimo quatro vezes o diâmetro máximo do agregado.

O sistema de transporte deverá, sempre que possível, permitir o lançamento do concreto direto nas formas, evitando-se depósito intermediário. Se este for necessário, no manuseio do concreto deverão ser tomadas precauções para evitar segregação.

d.2. Lançamento

Salvo condições específicas definidas em projeto ou influência de condições climáticas ou de composição do concreto, recomenda-se que o intervalo de tempo transcorrido entre o instante em que a água de amassamento entra em contato com o cimento e o final da concretagem (incluindo o adensamento) não ultrapasse de 1 h a 2 h 30 min, dependendo do tipo de equipamento utilizado no transporte do concreto (ver item 6.2.2.c.1.3). Quando a temperatura ambiente for elevada (ver item 6.2.2.c.1.4) ou sob condições que contribuam para acelerar o início da pega do concreto, esse intervalo de tempo deve ser reduzido, a menos

que sejam adotadas medidas especiais, como o uso de aditivos retardadores, que aumentem o tempo de pega sem prejudicar a qualidade do concreto.

Em nenhuma hipótese se fará o lançamento ou adensamento do concreto após o início da pega.

Para os lançamentos a serem executados a seco, em recintos sujeitos à penetração de água, deverão ser tomadas as precauções necessárias para que não haja água no local em que se lança o concreto nem possa o concreto fresco vir a ser por ela lavado.

O concreto deverá ser lançado o mais próximo possível de sua posição final, evitando-se incrustação de argamassas nas paredes das formas e nas armaduras.

Deverão ser tomadas precauções para manter a homogeneidade do concreto. A altura de queda livre não poderá ultrapassar 2 m. Para peças estreitas e altas, o concreto deverá ser lançado por janelas abertas na parte lateral ou por meio de funis ou trombas.

Cuidados especiais deverão ser tomados quando o lançamento se der em ambiente com temperatura inferior a 5°C ou superior a 30°C (ver item 6.2.2.c.1.4).

- Lançamento submerso

Quando o lançamento for submerso, o concreto deverá ter no mínimo 400kg de cimento por m³, ser de consistência plástica e ser levado dentro da água por uma tubulação, mantendo-se a ponta do tubo imersa no concreto já lançado, a fim de evitar que ele caia através da água e que provoque agitação prejudicial; o lançamento poderá também ser efetuado por processo especial, de eficiência devidamente comprovada. Após o lançamento o concreto não deverá ser manuseado para lhe dar forma definitiva. Não se deverá lançar concreto submerso quando a temperatura da água for inferior a 5°C, estando o concreto com temperatura normal, nem quando a velocidade da água supere 2,0 m/s.

d.3. Adensamento

Durante e imediatamente após o lançamento, o concreto deverá ser vibrado ou apiloado contínua e energicamente com equipamento adequado à sua consistência. O adensamento deverá ser cuidadoso para que o concreto preencha todos os recantos da forma. Durante o adensamento deverão ser tomadas as precauções necessárias para que não se formem nichos ou haja segregação dos materiais; deve-se evitar a vibração da armadura para que não se formem vazios ao seu redor com prejuízo da aderência. Quando se utilizarem vibradores de imersão a espessura da camada deverá ser aproximadamente igual a $\frac{3}{4}$ do comprimento da agulha; se não puder atender a esta exigência não deverá ser empregado vibrador de imersão. O vibrador nunca deverá ser desligado com a agulha introduzida no concreto.

d.4. Juntas de concretagem

Quando o lançamento do concreto for interrompido e, assim, formar-se uma junta de concretagem, deverão ser tomadas as precauções necessárias para garantir, ao reiniciar-se o lançamento, a suficiente ligação do concreto já endurecido com o do novo trecho. Antes de reiniciar-se o lançamento, deverá ser removida a nata e feita a limpeza da superfície da junta.

Deverão ser tomadas precauções para garantir a resistência aos esforços que podem agir na superfície da junta, que poderão consistir na cravação de barras ou deixar arranques ou reentrâncias no concreto mais velho. As juntas deverão ser localizadas nas áreas de menores esforços solicitantes de cisalhamento, preferencialmente em posição normal aos esforços de compressão. O concreto deverá ser perfeitamente adensado até a superfície da junta. O responsável pelo cálculo estrutural deverá ser consultado sobre a melhor localização da junta.

A concretagem das vigas deverá atingir o terço médio do vão, não sendo permitidas juntas próximas aos apoios. Na ocorrência de juntas em lajes, a concretagem deverá atingir o terço médio do maior vão localizando-se as juntas paralelamente a armadura principal.

Em lajes nervuradas as juntas deverão situar-se paralelamente ao eixo longitudinal das nervuras. Especial cuidado deverá ser tomado quanto ao adensamento junto a interface entre o concreto já endurecido e o recém lançado, a fim de se garantir a perfeita ligação das partes. No lançamento de concreto novo sobre superfície antiga poderá ser exigida, a critério da FISCALIZAÇÃO, o emprego de adesivos estruturais.

d.5. Programa de lançamento

Quando a sequência das fases de lançamento do concreto puder resultar efeitos prejudiciais à resistência, à deformação ou à fissuração da estrutura, o lançamento deverá obedecer ao programa que leve em conta a retração, e seja organizado tendo em vista o projeto do escoramento e as deformações que serão nele provocadas pelo peso próprio do concreto e pelas cargas resultantes dos trabalhos de execução.

e. Lajes**e.1. Laje Nível Zero**

A concretagem das lajes, poderá ser realizada mediante o emprego de técnicas e equipamentos específicos, possibilitando ao término do serviço, a obtenção de uma superfície com acabamento final, que poderá ser acamurçado, liso ou vitrificado, correspondendo respectivamente, aos acabamentos sarrafeado, feltrado e natado do sistema convencional.

Esta metodologia é conhecida como “sistema de laje nível zero” e consiste em incluir no processo de concretagem, equipamentos como régua vibratória, desempenadeiras mecânicas e o nível a laser. Os dois primeiros equipamentos atuam no adensamento, nivelamento e acabamento da superfície e o terceiro, permite a determinação e acompanhamento do nível de acabamento durante todo o processo.

A adoção deste sistema, dispensará tanto a realização da camada de revestimento, quando a especificação for o piso cimentado, quanto da camada de regularização (contrapiso), quando for especificado outro tipo de acabamento, gerando, portanto, substancial economia no custo da obra.

Vale lembrar que é perfeitamente admissível a execução da laje nível zero em associação com uma laje nervurada.

e.2. Lajes Pré-moldadas**e.2.1. Montagem**

Inicialmente são colocadas as vigotas seguindo o sentido indicado em projeto. Após a colocação das nervuras deve-se colocar os blocos. A laje deve ser escorada antes do início da concretagem e deve-se, também, aplicar a contra flecha especificada em projeto. Devem ser colocadas a armadura, as caixas das instalações elétricas, hidráulicas e eletrodutos. As extremidades das vigotas que serão introduzidas nas vigas ou cintas sobre alvenaria deverão ter o concreto removido de tal forma que as barras da armadura das vigotas fiquem expostas e tenham assim aderência com o concreto da viga a ser lançado. As vigotas que porventura apresentem deformações prévias (flechas) ou sinais de corrosão não devem ser empregadas. Caso seja detalhado pelo projetista o uso da armadura negativa na ligação entre lajes deve-se empregar “caranguejos” para seu correto posicionamento.

e.2.2. Procedimento de Execução do Serviço

Para o projeto e execução, aplica-se a NBR 9062. No caso do uso de lajes alveolares protendidas, deve ser obedecido o que estabelece a NBR 14861. A parte das vigas já concretadas deve ser molhada em abundância e a superfície deve estar limpa e livre de restos de concreto ou argamassa solta. Não se deve permitir que se acumule um volume muito grande de concreto em ponto isolado sobre a laje. As nervuras devem penetrar nas vigas o mínimo exigido pelo fabricante ou recomendado em projeto. A disposição das nervuras será sempre mostrada em projeto ou ao longo do menor vão. Deve-se lançar o concreto em tempo hábil, ou seja, em tempo inferior ao início de pega levando-se em conta, porém, se foi empregado aditivo retardador de pega ou não. Nivelar os sarrafos de madeira, respeitando-se os níveis indicados em projeto.

e.2.3. Laje Pré-moldada com Vigotas de Concreto

São lajes que possuem estrutura espacial composta por vigas pré-moldadas (vigotas de concreto armado de seção “T”), materiais de enchimento que podem ser blocos cerâmicos, de concreto, concreto celular, EPS entre outros e concreto moldado no local para complementar a espessura necessária da laje.

O pavimento imediatamente inferior, quando for o caso, deve estar liberado para receber a carga proveniente do pavimento a concretar e os outros pavimentos inferiores devem estar devidamente reescorados. É interessante que as vigas já estejam concretadas até a altura do fundo da laje, para que sirvam de apoio às nervuras. No caso de concretagem com concreto bombeado, a tubulação deve ser instalada e lubrificada com argamassa, a bomba corretamente posicionada e deve-se prever de dois a quatro homens para segurar e movimentar a extremidade da tubulação (mangote). Quando se tratar de concretagem com bomba-lança (ou caminhão-lança) deve-se verificar se a lança atinge todos os pontos a concretar, se as redes públicas de telefone e eletricidade permitem a instalação e movimentação da lança e, deve-se ainda, verificar se a tubulação encontra-se lubrificada com argamassa. É necessário um homem para manusear a extremidade da tubulação. Em se tratando de concretagem com o auxílio de grua, a caçamba deverá ser molhada antes da concretagem e retirado qualquer resto de concreto ou argamassa acumulados de outras concretagens.

e.2.4. Lajes Treliçadas

A laje treliçada é composta por uma estrutura de aço eletro soldada. Este modelo de estrutura que combina estrutura espacial e concreto permite que se tenha uma gama muito grande de combinações de vãos e sobrecargas. Seu uso dentro da construção civil vai desde a construção de pequenas lajes para casas, lojas,

indústrias, até a utilização de grandes vãos (até 15 metros) ou grandes sobrecargas como pontes, viadutos, etc.

Todos os vãos devem ser escorados com tábuas colocadas em espelhos, exceto nos escoramentos destinados às nervuras de travamento, onde deverão ser colocadas “horizontalmente”, e pontaletadas.

O escoramento deve ser apoiado sobre base firme, bem contraventada e com altura necessária para possibilitar a contra flecha da laje treliçada, quando for o caso.

A colocação das vigas deve ser realizada seguindo as indicações contidas na planta de execução que é fornecida juntamente com o material, assim, os números indicados na planta correspondem aos marcados nas vigas treliçadas. Esta planta também deve conter todas as informações sobre os ferros negativos e os de distribuição.

Para caminhar sobre a laje treliçada durante o lançamento é aconselhável fazê-lo sobre tábuas apoiadas nas vigas treliçadas.

As vigas treliçadas devem ser colocadas usando blocos em cada extremidade para espaçá-las exatamente. A primeira carreira de blocos deve se apoiar de um lado sobre a parede ou na forma (tábua) e de outro sobre a primeira viga treliçada. Coloque todos os blocos restantes entre as vigas treliçadas. Devem ser colocados com cuidado para que não fiquem folgas e não saiam do esquadro.

Nas nervuras de travamento e extremidades deverão ser colocados blocos fechados para evitar consumo desnecessário de concreto.

Os ferros devem ser distribuídos de acordo com as indicações de bitola e quantidade anotada na planta. Apoiar e amarrá-los sobre os ferros que serão colocados no sentido transversal ao das vigas treliçadas. O ferro não deverá entrar nas juntas entre as vigas treliçadas e blocos de concreto, mas ficar no meio da espessura da capa.

O material deve ser bem molhado antes de lançar o concreto. Para o concreto da capa, verificar a indicação de f_{ck} contida na planta de execução.

Não é aconselhável caminhar sobre a laje recém concretada. Durante os sete primeiros dias após o lançamento do concreto, a superfície da capa deve ser bem molhada. A desforma não deve ser realizada antes de passados 18 dias do lançamento do concreto, com o devido reescoramento. Em edifícios de múltiplos pisos, não se deve retirar o escoramento do piso inferior antes de terminar a execução da laje imediatamente superior (sempre deverão estar escoradas as duas lajes de pisos contíguos verticais). Além disto, nas lajes treliçadas de forro, não se retira o escoramento antes do carpinteiro terminar o serviço de cobertura do telhado. O escoramento deve ser retirado do centro para as extremidades. Deve-se sempre verificar se o próximo andar a ser concretado não descarregará excesso de carga através do escoramento, sobre a laje treliçada recém concretada. A retirada total ou sequencial dos escoramentos deve ser condizente com o ganho de resistência e o incremento do módulo de elasticidade na peça escorada.

e.3. Lajes Nervuradas

Consiste em lajes compostas por módulos, ocos ou não, e um vigamento especial cruzado, que dá a devida estabilidade e sustentação à laje.

Esse tipo de laje de concreto armado é especialmente recomendado quando da necessidade de vencer vãos, sem a necessidade de vigas intermediárias, pois possibilita o aumento da altura (h) da laje, com grande economia no volume de concreto. Nas lajes de teto de garagens, além desta finalidade, a laje nervurada com módulos plásticos, permite eliminar o revestimento do teto, por apresentar superfície de acabamento adequada a estes ambientes.

De acordo com a NBR 6118, as lajes nervuradas devem apresentar as seguintes características:

- A espessura da mesa, quando não existirem tubulações horizontais embutidas, deve ser maior ou igual a $1/15$ da distância entre as faces das nervuras e não menor que 4 cm;
- O valor mínimo absoluto da espessura da mesa deve ser 5 cm, quando existirem tubulações embutidas de diâmetro menor ou igual a 10 mm. Para tubulações com diâmetro (Φ) maior que 10 mm, a mesa deve ter a espessura mínima de $4 \text{ cm} + \Phi$, ou $4 \text{ cm} + 2\Phi$ no caso de haver cruzamento destas tubulações;
- A espessura das nervuras não pode ser inferior a 5 cm;
- Nervuras com espessura menor que 8 cm não podem conter armadura de compressão.

6.2.9. Cura, retirada das fôrmas e do escoramento

a. Cura e outros cuidados

Enquanto não atingir endurecimento satisfatório, o concreto deverá ser protegido contra agentes prejudiciais, tais como mudanças bruscas de temperatura, secagem, chuva forte, água torrencial, congelamento, agentes químicos, bem como choques e vibrações, de intensidade tal, que possam produzir fissuração na massa do concreto ou prejudicar a sua aderência à armadura. Ressalta-se que, no caso de chuva forte e água torrencial, deve-se evitar que essa água adicional seja incorporada à mistura durante o período de pega do concreto, a fim de não se alterar o fator água/cimento adotado e comprometer a resistência do material. Com o término da pega e o início do processo de endurecimento do concreto, deve-se dar início ao processo de cura da peça concretada.

A proteção contra a secagem prematura, pelo menos durante os 7 primeiros dias após o lançamento do concreto, aumentado este mínimo quando a natureza do cimento o exigir, poderá ser efetuada mantendo-se umedecida a superfície ou protegendo com uma película impermeável ou cura química. O endurecimento do concreto poderá ser antecipado por meio de tratamento térmico adequado e devidamente controlado, não se dispensando as medidas de proteção contra a secagem.

b. Retirada das fôrmas e do escoramento

b.1. Prazos

A retirada das fôrmas e do escoramento só poderá ser efetuada quando o concreto se achar suficientemente endurecido para resistir às ações que sobre ele atuarem e não conduzir a deformações inaceitáveis, tendo em vista o baixo valor inicial de seu módulo de elasticidade e a maior probabilidade de grande deformação lenta quando o concreto é solicitado com pouca idade. Assim, a retirada de fôrmas deve ser bem planejada e seguida de reescoramento. Já a retirada total ou sequencial dos escoramentos deve ser condizente com o ganho de resistência e o incremento do módulo de elasticidade da peça escorada.

b.2. Precauções

No ato de desfôrma das peças, é obrigatória a amarração prévia das fôrmas a serem retiradas, como forma de evitar a sua queda e por consequência riscos de acidente e danos à futuras reutilizações. É importante que em todo sistema de fôrma sejam previstas faixas de reescoramento, cujas escoras não serão removidas no ato da desfôrma, ali permanecendo, como forma de se evitar a deformação plástica imediata e instantânea das peças de concreto.

A retirada do escoramento e das fôrmas deverá ser efetuada sem choques e de acordo com o plano de desforma previamente estabelecido de acordo com o tipo da estrutura e de maneira a não comprometer a segurança e o desempenho em serviço da estrutura. Para efetuar sua remoção devem ser considerados os seguintes aspectos:

- Peso próprio da estrutura ou da parte a ser suportada por um determinado elemento estrutural;
- Cargas devidas a fôrmas ainda não retiradas de outros elementos estruturais (pavimentos);
- Sobrecargas de execução, como movimentação de operários e material sobre o elemento estrutural;
- Sequência de retirada das fôrmas e escoramentos e a possível permanência de escoramentos localizados;
- Operações particulares e localizadas de retirada de fôrmas (como locais de difícil acesso);
- Condições ambientais a que será submetido o concreto após a retirada das fôrmas e as condições de cura;
- Possíveis exigências relativas a tratamentos superficiais posteriores.

c. Tempo de permanência de escoramentos e fôrmas

De acordo com a NBR 14931, em elementos de concreto é fundamental que a remoção das fôrmas e escoramentos seja efetuada em conformidade com a programação prevista no projeto estrutural. Escoramentos e fôrmas não devem ser removidos, em nenhum caso, até que o concreto tenha adquirido resistência suficiente para:

- Suportar a carga imposta ao elemento estrutural nesse estágio;
- Evitar deformações que excedam as tolerâncias especificadas;
- Resistir a danos na superfície durante a remoção.

Deve ser dada especial atenção ao tempo especificado para a retirada do escoramento e das fôrmas que possam impedir a livre movimentação de juntas de retração ou dilatação, bem como de articulações.

Se a fôrma for parte integrante do sistema de cura, como no caso de pilares e laterais de vigas, o tempo de remoção deve considerar os requisitos de cura e cuidados especiais constantes na Seção 10 da NBR 14931. A retirada das fôrmas e do escoramento só pode ser feita quando o concreto estiver suficientemente endurecido para resistir às ações que sobre ele atuarem e não conduzir a deformações inaceitáveis, tendo em vista o baixo valor do módulo de elasticidade do concreto (E_{ci}) e a maior probabilidade da grande deformação diferida no tempo quando o concreto é solicitado com pouca idade.

Para o atendimento dessas condições, o responsável pelo projeto da estrutura deve informar ao FISCAL da Obra, que repassará à CONTRATADA, os valores mínimos de resistência à compressão e módulo de elasticidade que devem ser obedecidos concomitantemente para a retirada das fôrmas e do escoramento, bem como, a necessidade de um plano particular de retirada do escoramento.

A retirada do escoramento e das fôrmas deve ser efetuada sem choques e obedecer ao plano de desfôrma elaborado, de acordo com o tipo da estrutura.

6.2.10. Recebimento da estrutura de concreto

A estrutura de concreto deve ser recebida desde que cumpridas as exigências da NBR 14931, verificadas no documento de “como construído”, atendendo também ao estabelecido nas especificações de projeto e nas normas de projeto, em especial na NBR 6118.

a. Controle tecnológico

O controle tecnológico deverá ser realizado segundo as prescrições contidas nas normas técnicas pertinentes, entre elas as da NBR 6118 e NBR 14931, controlando todos os materiais a serem utilizados, bem como através de laboratório idôneo e certificado em padrão de referência ISO. Enfatiza-se a necessidade da realização de uma inspeção visual detalhada, pela FISCALIZAÇÃO, como parte importante desse controle, buscando-se detectar nichos, brocas, vazios, segregações, exposições de armaduras e outras patologias na estrutura. A partir deste controle é que se consegue definir uma metodologia de recuperação a ser adotada, se for o caso.

Em caso de dúvidas ou na presença de pequenas e precoces deteriorações nas estruturas que possam vir a comprometer a qualidade e durabilidade das mesmas, será, a critério da FISCALIZAÇÃO e da equipe técnica da PBH, recomendada a realização de ensaios especiais, preferencialmente não destrutivos, como forma de melhor balizar decisões sobre a recuperação, o reforço, o desmanche, a modificação do processo construtivo e até mesmo do projeto. Dentre eles enquadram-se ensaios de prova de carga realizados diretamente na estrutura. Qualquer ônus deste tipo de trabalho é de responsabilidade da CONTRATADA.

b. Recebimento e aceitação do concreto

Em consonância com a Seção 6 da NBR 12655, para cada tipo e classe de concreto a ser colocado em uma estrutura, devem ser realizados os ensaios de controle, além de ensaios e determinações para o controle das propriedades especiais.

b.1. Ensaio de consistência

Devem ser realizados ensaios de consistência pelo abatimento do tronco de cone, conforme a NBR NM 67, ou de espalhamento e habilidade passante em fluxo livre, no caso de concreto auto adensável, conforme a NBR 15823-2 e NBR 15823-3, respectivamente.

Para o concreto preparado pelo construtor da obra, devem ser realizados ensaios de consistência sempre que ocorrerem alterações na umidade dos agregados e nas seguintes situações:

- Na primeira amassada do dia;
- Ao reiniciar o preparo após uma interrupção da jornada de concretagem de pelo menos 2 h;
- Na troca dos operadores;
- Cada vez que forem moldados corpos de prova.

Para o concreto preparado por empresa de serviços de concretagem, devem ser realizados ensaios de consistência a cada betonada. No caso de concreto autoadensável, a frequência de realização dos ensaios está estabelecida na NBR 15823-1

b.2. Ensaios de resistência à compressão

Os resultados dos ensaios de resistência, conforme a NBR 5739, realizados em amostras, devem ser

utilizados para aceitação ou rejeição dos lotes.

b.3. Formação de lotes

A amostragem do concreto para ensaios de resistência à compressão deve ser feita dividindo-se a estrutura em lotes que atendam a todos os limites da Tabela 11. De cada lote deve ser retirada uma amostra, com número de exemplares de acordo com o tipo de controle.

Tabela 11 - Valores máximos para a formação de lotes de concreto ^a (Fonte: NBR 12655)

Identificação (o mais exigente para cada caso)	Solicitação principal dos elementos da estrutura	
	Compressão ou compressão e flexão	Flexão simples ^b
Volume do concreto	50 m³	100 m³
Número de andares	1	1
Tempo de concretagem	Três dias de concretagem ^c	

^a No caso de controle por amostragem total, cada betonada deve ser considerada um lote.

^b No caso de complemento de pilar, o concreto faz parte do volume do lote de lajes e vigas.

^c Este período deve estar compreendido no prazo total máximo de sete dias, que inclui eventuais interrupções para tratamento de juntas.

b.4. Amostragem

As amostras devem ser coletadas aleatoriamente durante a operação de concretagem, conforme a NBR NM 33. Cada exemplar deve ser constituído por dois corpos de prova da mesma amassada, conforme a NBR 5738, para cada idade de rompimento, moldados no mesmo ato. Toma-se como resistência do exemplar o maior dos dois valores obtidos no ensaio de resistência à compressão.

b.5. Tipos de controle da resistência do concreto

Consideram-se dois tipos de controle de resistência: o controle estatístico do concreto por amostragem parcial e o controle do concreto por amostragem total. Para o controle por amostragem parcial é prevista uma forma de cálculo do valor estimado da resistência característica, $f_{ck,est}$, do lote de concreto em estudo. Para o controle por amostragem total a 100 % das betonadas a análise da conformidade deve ser realizada em cada betonada.

b.5.1. Controle do concreto por amostragem total (100 %)

Consiste na amostragem 100%, ou seja, todas as betonadas são amostradas e representadas por um exemplar que define a resistência à compressão daquele concreto naquela betonada. Neste caso, o valor da resistência característica à compressão do concreto estimada ($f_{ck,est}$) é dado por:

$$f_{ck,est} = f_{c,betonada}$$

onde

f_c , betonada é o valor da resistência à compressão do exemplar que representa o concreto da betonada.

b.5.2. Controle estatístico do concreto por amostragem parcial

Para este tipo de controle, em que são retirados exemplares de betonadas distintas, as amostras devem ser de no mínimo seis exemplares para os concretos do grupo I (classes até C50, inclusive) e 12 exemplares para os concretos do grupo II (classes superiores a C50), conforme estabelece a NBR 8953:

- Para lotes com números de exemplares $6 \leq n < 20$, o valor estimado da resistência característica à compressão ($f_{ck,est}$), na idade especificada, é dado por:

$$f_{ck,est} = 2 \times \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{m-1}}{m - 1} - f_m$$

onde

m é igual a $n/2$. Despreza-se o valor mais alto de n , se for ímpar;

$f_1, f_2, \dots, f_m$ são os valores das resistências dos exemplares, em ordem crescente.

Não se pode tomar para $f_{ck,est}$ valor menor que $\psi_6 \cdot f_1$, adotando-se para ψ_6 os valores da Tabela 12, em função da condição de preparo do concreto e do número de exemplares da amostra, admitindo-se interpolação linear.

Tabela 12 - Valores de ψ_6 (Fonte: Adaptado de NBR 12655)

Condição de preparo	Número de exemplares (n)										
	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	≥ 16
A	0,82	0,86	0,89	0,91	0,92	0,94	0,95	0,97	0,99	1,00	1,02
B ou C	0,75	0,80	0,84	0,87	0,89	0,91	0,93	0,96	0,98	1,00	1,02

NOTA: Os valores de n entre 2 e 5 são empregados para os casos excepcionais (item 6.2.10.b.5.3).

As condições de preparo do concreto são dadas por:

- **Condição A** (aplicável a todas as classes de concreto): o cimento e os agregados são medidos em massa, a água de amassamento é medida em massa ou volume com dispositivo dosador e corrigida em função da umidade dos agregados;
- **Condição B** (pode ser aplicada às classes C10 a C20): o cimento é medido em massa, a água de amassamento é medida em volume mediante dispositivo dosador e os agregados medidos em massa combinada com volume, de acordo com o exposto no item 6.2.8.a;
- **Condição C** (pode ser aplicada apenas aos concretos de classe C10 e C15): o cimento é medido em massa, os agregados são medidos em volume, a água de amassamento é medida em volume e a sua quantidade é corrigida em função da estimativa da umidade dos agregados da determinação da consistência do concreto, conforme disposto na NBR NM 67 ou outro método normalizado.

Ressalta-se novamente que os concretos das classes C10 e C15 não são mais usados para fins estruturais, inclusive em elementos de fundação. De acordo com a NBR 6118, a menor classe de resistência para um concreto com emprego estrutural é a C20.

- Para lotes representados por amostra com número de exemplares $n \geq 20$:

$$f_{ck,est} = f_{cm} - 1,65 \times s_d$$

Sendo

$$s_d = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (f_i - f_{cm})^2}$$

onde

f_{cm} é a resistência média dos exemplares do lote, expressa em megapascals (MPa);

s_d é o desvio padrão dessa amostra de n exemplares, expresso em megapascals (MPa).

b.5.3. Casos excepcionais

Nos casos de concreto produzido por betonadas de pequeno volume e sempre que o número total de betonadas (lote) seja superior ao de exemplares da amostra que representa esse lote, pode-se dividir a estrutura em lotes correspondentes a no máximo 10 m³ e amostrá-los com número de exemplares entre 2 e 5. Nestes casos, denominados excepcionais, o valor estimado da resistência característica é dado por:

$$f_{ck,est} = \Psi_6 \times f_1$$

onde

Ψ_6 é dado pela Tabela 12, para os números de exemplares de 2 a 5.

b.6. Conformidade dos lotes de concreto

Os lotes de concreto, no caso de amostragem parcial, e os exemplares, no caso de amostragem total, devem ser aceitos, quando o valor estimado da resistência característica ou o valor de cada exemplar de uma amostragem a 100 %, atender à resistência característica do concreto à compressão especificada no projeto

estrutural.

b.7. Aceitação do concreto

O concreto deve ser aceito desde que atendidas todas as condições estabelecidas na NBR 12655. Em caso de existência de não-conformidade, deve-se consultar a NBR 7680.

6.2.11. Critérios de levantamento, medição e pagamento

a. Levantamento (Quantitativos de Projeto)

Deverá ser efetuado por nível, separando-se as peças por tipo (exemplo: pilares, vigas, lajes, escadas, paredes, etc.).

Serviços de fôrma, armação e concreto estrutural devem ser levantados separadamente, referenciados por suas respectivas unidades, a saber: m², kg e m³.

a.1. Particularidades

a.1.1. Fôrmas

- Será considerada a área real de contato com o concreto;
- Os fundos de viga não serão considerados como laje e serão descontadas as áreas correspondentes a interseção com pilares;
- As vigas devem ser levantadas trecho por trecho, evitando-se, com isso, considerar fôrmas nas laterais das interseções;
- Para os pilares, considera-se o perímetro da seção do pilar e a altura compreendida entre o piso concretado da laje inferior e o fundo da laje superior, descontando-se as interseções com as vigas.

a.1.2. Concreto

O volume das interseções dos diversos elementos estruturais será levantado uma só vez. Concretos com resistências (fck) diferentes, serão levantados separadamente.

Em lajes nervuradas serão descontados os volumes dos elementos inertes (blocos ou gomos vazios).

No caso de laje nível zero, para o item que remunera a mão de obra mecanizada para acabamento de laje, será considerada a mesma área (m²) da laje.

a.1.3. Armação

Muitas vezes o quadro resumo dos projetos já inclui perdas. A quantidade levantada deverá ser exata, sem perdas, as quais já estão consideradas na composição de preço unitário.

b. Medição

b.1. Fôrmas

Será efetuada por metro quadrado (m²) nas quantidades obtidas, utilizando-se os critérios de levantamento.

b.2. Concreto

Será efetuada por metro cúbico (m³) nas quantidades obtidas, utilizando-se os critérios de levantamento.

b.3. Armação

Será efetuada por quilograma (kg) nas quantidades obtidas, utilizando-se os critérios de levantamento.

c. Pagamento

c.1. Formas

Os serviços serão pagos pelo preço unitário contratual, contemplando toda a mão de obra, materiais e ferramentas necessários à execução das formas e escoramentos, bem como desfôrma, organização e limpeza da área.

Está considerada a reutilização dos compensados e tábuas, no mínimo 3 vezes.

c.2. Concreto

Os serviços serão pagos pelo preço unitário contratual, contemplando fornecimento, transporte, aplicação (lançamento e adensamento), cura, bem como equipamentos e ferramentas necessários.

No caso de laje nível zero, deverá ser efetuado pagamento complementar da mão de obra que contempla

acabamento e polimento do concreto com equipamento mecanizado.

c.3. Armação

Os serviços serão pagos pelo preço unitário contratual, contemplando o fornecimento, corte, montagem, colocação e perdas. Estão consideradas todas as ferramentas e materiais necessários, inclusive arame, espaçadores, gabaritos e caranguejos de apoio de negativos.

6.3 REFERÊNCIAS

CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações / ed. Geraldo C. Iasa. v.1. – São Paulo: IBRACON, 2005. 1.600p.

NBR 6118:2014 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento

NBR 12655:2015 - Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento

NBR 16697:2018 - Cimento Portland - Requisitos

NR 18:2018 e atualizações - Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção