

Prefeitura Municipal de Belo Horizonte – PMBH

Secretaria Municipal de Obras e Infraestrutura – SMOBI

Superintendência de Desenvolvimento da Capital – SUDECAP

Diretoria de Planejamento e Controle de Empreendimentos – DPLC-SD

Gerência de Normas e Padrões Técnicos – GENPA-SD

PROCEDIMENTOS DE PROJETOS SUDECAP

Este documento faz parte dos Procedimentos de Projetos SUDECAP disponíveis no Portal PBH.

São reservados à Prefeitura Municipal de Belo Horizonte todos os direitos autorais. Desde que o documento seja referenciado, é permitida a reprodução do seu conteúdo. A violação dos direitos autorais sujeita os responsáveis às sanções cíveis, administrativas e criminais previstas da legislação.

CAPÍTULO 15

ESTRUTURA DE CONCRETO

PUBLICAÇÃO: 10/08/2022

ATUALIZAÇÃO: 14/04/2026

SUMÁRIO

15	ESTRUTURA DE CONCRETO	15-2
15.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	15-2
15.2	CONDIÇÕES ESPECÍFICAS	15-3
15.3	DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA DO PROJETO	15-5
15.4	NORMAS E PRÁTICAS COMPLEMENTARES	15-12
15.5	BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA	15-13
	REFERÊNCIAS	15-13

15 ESTRUTURA DE CONCRETO

15.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A estrutura de um empreendimento, tanto de edificação quanto de infraestrutura urbana, é o que o sustenta, sendo composto por vários elementos, por exemplo: lajes, vigas, pilares, tirantes, treliças, arcos. O objetivo da estrutura é viabilizar a construção e a estabilidade do empreendimento ao tornar-se o caminho percorrido pelas forças que atuam sobre ele para chegarem ao solo, sendo imprescindível atender aos requisitos de segurança, durabilidade, estética, funcionalidade, etc. determinados nas normas técnicas (Rebello, 2000). Com base neste conceito, é adotada a seguinte divisão do projeto estrutural nos Procedimentos de Projetos SUDECAP em função dos fluxos de trabalho:

- Projeto de CONTENÇÃO – CAPÍTULO 13;
- Projeto de FUNDAÇÃO – CAPÍTULO 14;
- Projeto de SUPERESTRUTURA, subdividido em:
 - Estrutura de Concreto – CAPÍTULO 15;
 - Estrutura de Aço – CAPÍTULO 16;
 - Alvenaria Estrutural – CAPÍTULO 17.
- Projeto de Estrutura de Cobertura – CAPÍTULO 25.

A definição do sistema estrutural a ser executado na obra deve ser feita em conjunto entre a CONTRATADA e a FISCALIZAÇÃO levando-se em consideração aspectos técnicos, logísticos e legais, por exemplo:

- Execução: influência no prazo do empreendimento (moldagem e execução da estrutura *in loco*, montagem de estruturas pré-fabricadas, sistema misto);
- Materiais disponíveis: combinação de diversos materiais (cimento, areia, água, aço, etc.) ou número mínimo de materiais (aço, madeira, etc.);
- Mão de obra: quantidade e qualificação dos operários para a execução da estrutura;
- Peso: influência no tipo e na quantidade de elementos da fundação;
- Desempenho térmico dos materiais: influência no conforto térmico do empreendimento;
- Requisitos de segurança: influência das características dos materiais (resistência aos esforços em função da altura ou dos vãos);
- Custo global das soluções em função da disponibilidade dos materiais próximos da obra, da disponibilidade e qualidade da mão de obra, da disponibilidade do espaço para armazenamento dos materiais, do gerenciamento dos resíduos, dos tipos e forma de aquisição dos equipamentos necessários, etc.

Neste capítulo, são abordadas as diretrizes para elaboração e apresentação dos projetos de estruturas de concreto simples, armado, protendido, pré-moldado e/ou paredes de concreto. O projeto da estrutura de concreto deve ser elaborado simultaneamente com todos os demais projetos do empreendimento para que todas as soluções propostas estejam compatibilizadas. Para elaborar o projeto de estrutura de concreto, o RESPONSÁVEL TÉCNICO deve apoiar-se nas informações pertinentes produzidas no LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES PRELIMINARES, no LEVANTAMENTO DE DADOS e no ESTUDO PRELIMINAR, como:

- Resultados das investigações geológico-geotécnicas;
- Levantamentos topográficos;
- Prospeções e levantamentos realizados para verificar as condições de segurança dos elementos estruturais existentes no empreendimento e das construções existentes na área de influência da obra;
- Implantação do empreendimento, como terraplenagem, contenções da área a edificar, etc.

Conforme definido na legislação e nas normas técnicas vigentes, antes da fase de construção, preferencialmente durante as ETAPAS DE PROJETOS, o projeto de estrutura de concreto deve ser objeto de Avaliação da Conformidade do Projeto Estrutural, a ser realizada por profissional habilitado, independente e diferente do RESPONSÁVEL TÉCNICO do projeto. A descrição desse serviço está contida no APÊNDICE K – AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE DE PROJETOS ESTRUTURAIS.

15.2 CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

Nos tópicos seguintes, são apresentadas algumas diretrizes de concepção do projeto de estrutura de concreto, que devem ser avaliadas pelo RESPONSÁVEL TÉCNICO e entendidas como balizadoras e não restritivas e/ou exclusivas, sendo primordial o conhecimento e o atendimento aos demais princípios técnicos e científicos aplicáveis.

15.2.1 Concepção

As soluções do projeto de estrutura de concreto devem ser propostas compatibilizadas com as soluções dos demais projetos do empreendimento, como arquitetura, urbanismo, terraplenagem, geométrico, das instalações elétricas e eletrônicas, hidrossanitárias e mecânicas, etc., em todas as ETAPAS DE PROJETO, para que todos os detalhes que interferem com os sistemas sejam elaborados em conjunto, de forma a estarem perfeitamente harmonizados entre si e visando:

- Fornecer os subsídios necessários para que as alternativas de partido arquitetônico não venham a ser inviabilizadas técnica, econômica ou esteticamente por fatores estruturais;
- Fornecer o posicionamento e dimensões das peças estruturais que vierem a servir de condicionante na definição dos projetos de arquitetura e/ou urbanismo do empreendimento;
- Fornecer as informações necessárias para a elaboração do Plano de Execução da Obra (PEO) – APÊNDICE H;
- Conhecer todas as instalações e utilidades a serem implantadas no empreendimento, que sejam condicionantes na escolha e dimensionamento do sistema estrutural, como o Sistema de Proteção Individual de Queda (SPIQ), comumente chamado de Linha de Vida, descrito no APÊNDICE H – PLANO DE EXECUÇÃO DA OBRA;
- Retirar os subsídios para o cálculo definitivo das ações atuantes no empreendimento a partir da análise do projeto como um todo – desenhos e especificações.

Na concepção do projeto de estrutura de concreto, o RESPONSÁVEL TÉCNICO deve escolher esquemas estruturais que conduzam aos melhores resultados tanto do ponto de vista técnico quanto econômico e funcional, adequando-os às condições da obra. Nesse sentido, é imprescindível atender aos critérios usuais da Teoria e Estabilidade das Estruturas e a todos os requisitos estabelecidos nas normas técnicas vigentes, conforme o caso, por exemplo:

- Classe de agressividade ambiental;
- Nível de controle tecnológico;
- Tipo de ambiente e grau de agressividade;
- Vida útil do projeto;
- Classe de resistência do concreto;
- Estanqueidade e/ou drenagem dos elementos em relação à água de chuva e de limpeza;
- Acesso para inspeção e manutenção;
- Especificação dos cobrimentos das peças estruturais;
- Revestimentos adotados;
- Características dos materiais:
 - Resistência característica à compressão;
 - Módulo de deformação tangente inicial;
 - Relação água/cimento do concreto.
- Ações a serem aplicadas na estrutura:
 - Cargas permanentes;
 - Cargas variáveis/acidentais (pessoas, mobiliário, veículos, materiais diversos, etc.);
 - Cargas excepcionais;
 - Ações devidas ao vento;
 - Imperfeições globais;
 - Variações volumétricas (retração, variação térmica, etc.);
 - Recalques diferenciais;
 - Empuxos de terra e água atuantes e ações de subpressão;
 - Ações dinâmicas de equipamentos;
 - Ações decorrentes da execução da obra (tráfego de caminhão betoneira, rolo compressor, guindaste, etc.);
 - Ações excepcionais;

- Ações provenientes de estruturas complementares.
- Trabalho das peças em regime de serviço e com segurança adequada ao estado de ruína.

15.2.2 Materiais e Técnicas Construtivas

A racionalização dos processos construtivos deve ser levada em consideração objetivando a redução dos prazos e custos da obra, bem como a possibilidade de aumento da qualidade da construção. Assim, deve-se analisar as especificações do Caderno de Encargos SUDECAP para utilização de materiais e esquemas de execução e verificar a possibilidade de adoção de materiais, processos e elementos padronizados e industrializados no projeto do empreendimento e seus elementos, bem como:

- Propor técnicas construtivas adequadas à indústria, aos materiais e à mão de obra locais;
- Propor soluções compatíveis com a disponibilidade financeira da CONTRATANTE;
- Propor, quando necessário, sistema de impermeabilização para os elementos e componentes do empreendimento;
- Priorizar soluções que contribuam para a redução e racionalização do consumo de materiais, bem como para a minimização do desperdício e da geração de resíduos, como modulação, padronização e flexibilidade dos componentes;
- Analisar o ciclo de vida, a energia incorporada, a operação e a manutenção dos materiais, componentes e sistemas construtivos;
- Priorizar a utilização de materiais atóxicos e sem compostos orgânicos voláteis (COV), recicláveis ou reciclados;
- Especificar madeiras e outros materiais certificados;
- Especificar materiais de fácil execução, conservação e manutenção e que atendam aos parâmetros de desempenho, por exemplo:
 - Resistência mecânica;
 - Resistência a agentes naturais, químicos, físicos e biológicos;
 - Resistência ao fogo;
 - Estanqueidade a chuva, vento, insolação e agentes agressivos;
 - Saúde, higiene e qualidade do ar;
 - Conforto térmico, acústico e lumínico;
 - Durabilidade;
 - Sustentabilidade;
 - Impacto ambiental.
- Definir revestimentos que apresentem resultados estéticos, tanto externa quanto internamente, compatíveis com os objetivos e a representatividade dos espaços urbanos e das edificações, priorizando soluções de materiais permeáveis nas áreas pavimentadas (vias, calçadas, sarjetas, estacionamentos, etc.);
- Especificar acabamentos e arremates que permitam acomodações para as diferenças de dilatação de materiais diferentes que não podem ser ligados diretamente;
- Prever espaços suficientes para a entrada de vibrador, de forma a assegurar concretagem eficiente entre as armaduras longitudinais e evitar concentrações de barras de armadura, especialmente em regiões de emendas por traspasse;
- Prever janelas nas formas dos pilares com altura superior a 2,50 metros (dois metros e cinquenta centímetros), para diminuir a altura de lançamento do concreto e, conseqüentemente, evitar os "ninhos" na sua base.

15.2.3 Ensaios

A fim de garantir que o material recebido para a execução da estrutura atenda à segurança definida nos projetos, devem ser realizados ensaios nesses materiais durante a execução da obra. A seguir são apresentados ensaios mínimos aplicáveis às estruturas de concreto, os quais devem ser indicados e podem ser complementados com outros prescritos em normas técnicas que o RESPONSÁVEL TÉCNICO considerar pertinentes, em função da especificidade da estrutura considerada:

- Ensaio de Compressão (Concreto):
 - Consiste no ensaio de compressão em corpos de prova de concreto, visando determinar sua resistência à compressão;

- Deve ser realizado conforme a NBR 5738:2015 e a NBR 5739:2018;
- Amostragem: 02 (dois) corpos de prova por cada betonada, em 100% (cem por cento) das betonadas utilizadas, e para cada idade do corpo de prova: 07 (sete), 14 (quatorze), 21 (vinte e um) ou 28 (vinte e oito) dias, conforme recomendação do projetista.
- Ensaio de Módulo de Elasticidade (Concreto):
 - Consiste no ensaio de compressão em corpos de prova de concreto, visando determinar seu módulo de elasticidade à compressão;
 - Deve ser realizado conforme a NBR 5738:2015 e a NBR 8522:2021;
 - Amostragem: 03 (três) corpos de prova por cada betonada, em 100% (cem por cento) das betonadas utilizadas, na idade de 28 (vinte e oito) dias, conforme recomendação do projetista. Dois desses corpos de prova, após a retirada dos equipamentos de medição da deformação, podem ser utilizados para a determinação da resistência à compressão.
- Ensaio de Abatimento do Tronco de Cone (*Slump Test*) (Concreto):
 - Consiste no ensaio para determinar a consistência do concreto fresco através da medida do seu assentamento;
 - Deve ser realizado conforme a NBR 16886:2020 e a NBR 16889:2020;
 - Amostragem: 01 (um) ensaio por betonada.
- Ensaio de Tração (Aço):
 - Consiste no ensaio de tração em corpos de prova de aço, visando determinar se os valores de tensões e deformações são compatíveis com os valores da norma;
 - Deve ser realizado conforme a NBR 7480:2007 e a NBR ISO 6892-1:2018;
 - Amostragem: 06 (seis) corpos de prova para até 30 (trinta) toneladas.
- Ensaio de Dobramento (Aço):
 - Consiste em dobrar um corpo de prova assentado em dois apoios afastados a uma distância especificada até que seja atingido um ângulo de dobramento especificado. Verifica-se, então, se houve ruptura ou fissuração na zona tracionada do corpo de prova;
 - Deve ser realizado conforme a NBR ISO 7438:2022;
 - Amostragem: 06 (seis) corpos de prova para até 30 (trinta) toneladas.

Observação: O RESPONSÁVEL TÉCNICO deve indicar todos os ensaios nos documentos do projeto e incluí-los na Planilha de Serviços e Quantitativos para que eles sejam feitos de forma independente dos efetuados pelo(s) fornecedor(es).

15.3 DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA DO PROJETO

O projeto de estrutura de concreto deve ser elaborado em três ETAPAS DE PROJETO sucessivas: Anteprojeto, Projeto Básico e Projeto Executivo. O desenvolvimento consecutivo destas etapas tem como ponto de partida o escopo contido no PINE e confirmado ou definido no Relatório de Conhecimento do Empreendimento e o Estudo Preliminar do empreendimento, que deve apresentar as características de todos os espaços necessários à realização das atividades previstas para o empreendimento.

Nos tópicos seguintes, estão listados os documentos técnicos específicos do projeto de estrutura de concreto que devem ser apresentados em cada ETAPA DE PROJETO, com seus respectivos conteúdos, em complementação aos documentos gerais do projeto do empreendimento, como o Memorial Descritivo, a Planilha de Serviços e Quantitativos, o Plano de Execução da Obra, etc. Dependendo das especificidades do empreendimento, conforme avaliação do RESPONSÁVEL TÉCNICO e/ou da FISCALIZAÇÃO, podem ser necessárias informações e/ou representações além das listadas.

Todos os desenhos técnicos do projeto de estrutura de concreto devem conter, ou junto ao desenho ou no formato:

- Escala(s) utilizada(s);
- Unidade(s) de medida(s) adotada(s);
- Uma única referência de nível (RN) para todo o projeto em função do Levantamento Topográfico, podendo ser a cota real a partir das curvas de nível (por exemplo: +815,75) ou uma cota definida a partir das dimensões dos elementos construídos (por exemplo: +0,00);
- Legendas da representação diferenciada dos elementos do projeto, por exemplo:

- Os elementos existentes, a serem ampliados e/ou reformados;
- Os elementos a serem demolidos e/ou removidos, que devem ser representados com linha tracejada;
- As edificações existentes, que devem ser representadas em plantas com o contorno em traço contínuo e com o interior com hachura em traço contínuo a 45° (quarenta e cinco graus);
- As árvores a serem mantidas, suprimidas, transplantadas ou plantadas;
- As áreas permeáveis e impermeáveis;
- Os materiais de acabamento;
- Os equipamentos da estrutura;
- Os pilares que nascem, continuam e morrem.
- Designação das peças estruturais (baseada na NBR 7191):
 - Lajes: L;
 - Vigas: V;
 - Pilares: P;
 - Tirantes: T;
 - Diagonais: D;
 - Sapatas: S;
 - Blocos: B;
 - Paredes: PAR;
 - Contenção: CONT;
 - Muro: MUR;
 - A numeração dos elementos estruturais deve ser feita, em planta, de forma sequencial a partir do canto superior esquerdo do formato, da esquerda para a direita e de cima para baixo; os pilares que nascem em diferentes pavimentos devem ser numerados em sequência, considerando a projeção de todos os pavimentos.

15.3.1 Anteprojeto

O Anteprojeto de estrutura de concreto deve conter os seguintes documentos técnicos específicos, com seus conteúdos e sua forma de apresentação:

- Planta de locação de pilares:
 - Indicar o Norte;
 - Indicar mapa chave do empreendimento;
 - Indicar as cargas nas fundações;
 - Indicar os eixos da(s) estrutura(s), as cotas e os ângulos formados entre esses eixos;
 - Indicar as cotas necessárias à locação da estrutura;
 - Indicar a projeção do perímetro da edificação ou estrado da passarela, ponte, viaduto, etc.;
 - Indicar e nomear os diversos edifícios ou blocos existentes, a construir e as áreas *non aedificandi*;
 - Caracterizar os elementos naturais e indicar as interferências das intervenções propostas com esses elementos: lençol freático superficial, espécies arbóreas protegidas por lei, maciços em situações de instabilidade e demais elementos significativos;
 - Caracterizar os elementos do projeto e existentes com os quais possa haver interferência: muros de divisa, muretas, cercas, guarda-corpos, peitoris, corrimãos, soleiras, equipamentos das instalações elétricas e eletrônicas, hidrossanitárias, mecânicas, de drenagem, como canaletas, caixas de passagem e de inspeção, poços de visita, padrões de entrada de energia e de água, redes enterradas e demais elementos significativos;
 - Indicar e cotar, quando aplicável, os limites externos do(s) terreno(s), do(s) CP(s) e da(s) edificação(ões): projeção da(s) cobertura(s), recuos e afastamentos, áreas permeáveis e impermeáveis;
 - Indicar e cotar os marcos topográficos e os níveis principais;
 - Indicar as marcações dos cortes na estrutura;
 - Indicar os detalhes e representá-los, em escalas ampliadas, quando necessário;
 - Apresentar em escala mínima 1:50 ou a critério da FISCALIZAÇÃO.

- Desenhos de formas:
 - Caracterizar a geometria dos elementos estruturais;
 - Indicar as cotas de todas as dimensões necessárias à execução da estrutura;
 - Indicar a designação e o número de todos os elementos estruturais;
 - Indicar o corte transversal dos elementos estruturais;
 - Indicar as marcações dos cortes na estrutura;
 - Indicar as aberturas e os rebaixos nas lajes, quando houver;
 - Indicar as vigas invertidas, quando houver;
 - Indicar o caimento para a escoamento das águas pluviais e o sistema de impermeabilização das lajes de cobertura sem telhado, quando houver;
 - Indicar o sistema de impermeabilização dos elementos estruturais, quando aplicável;
 - Indicar as juntas de dilatação e de concretagem, quando aplicável;
 - Indicar, no mínimo, os cortes longitudinais e transversais preferencialmente nas mesmas posições dos cortes do projeto de arquitetura;
 - Indicar o tipo e a quantidade dos materiais utilizados na estrutura (por exemplo: volume de concreto por classe de resistência, área de forma, etc.);
 - Representar os elementos do projeto em Plantas, Cortes e Elevações;
 - Indicar os detalhes e representá-los, em escalas ampliadas, quando necessário;
 - Apresentar em escala mínima 1:50 ou a critério da FISCALIZAÇÃO.

15.3.2 Projeto Básico

O Projeto Básico de estrutura de concreto deve apresentar os seguintes documentos técnicos específicos, com seus conteúdos e sua forma de apresentação:

- Planta de locação de pilares:
 - Indicar o Norte;
 - Indicar mapa chave do empreendimento;
 - Indicar as cargas nas fundações;
 - Indicar os eixos da(s) estrutura(s), as cotas e os ângulos formados entre esses eixos, amarrando os eixos a, pelo menos, dois pontos georreferenciados;
 - Indicar as cotas necessárias à locação da estrutura;
 - Indicar a projeção do perímetro da edificação ou estrado da passarela, ponte, viaduto, etc.;
 - Indicar e nomear os diversos edifícios ou blocos existentes, a construir e as áreas *non aedificandi*;
 - Caracterizar os elementos naturais e indicar as interferências das intervenções propostas com esses elementos: lençol freático superficial, espécies arbóreas protegidas por lei, maciços em situações de instabilidade e demais elementos significativos;
 - Caracterizar os elementos do projeto e existentes com os quais possa haver interferência: muros de divisa, muretas, cercas, guarda-corpos, peitoris, corrimãos, soleiras, equipamentos das instalações elétricas e eletrônicas, hidrossanitárias, mecânicas, de drenagem, como canaletas, caixas de passagem e de inspeção, poços de visita, padrões de entrada de energia e de água, redes enterradas e demais elementos significativos;
 - Indicar e cotar, quando aplicável, os limites externos do(s) terreno(s), do(s) CP(s) e da(s) edificação(ões): projeção da(s) cobertura(s), recuos e afastamentos, áreas permeáveis e impermeáveis;
 - Indicar e cotar os marcos topográficos e os níveis principais;
 - Indicar as marcações dos cortes na estrutura;
 - Indicar os detalhes e representá-los, em escalas ampliadas, quando necessário;
 - Apresentar plantas em escala mínima 1:50 ou a critério da FISCALIZAÇÃO;
 - Apresentar quadro-resumo dos pilares (mapa de cargas) com as seguintes informações: Nomes, Seções, Coordenadas de locação (X, Y), Carregamentos verticais (tf), Forças horizontais nas direções X e Y (tf) e os Momentos fletores nas direções X e Y (kgf.m), quando aplicável. Todos os esforços devem ser indicados com a combinação dos seus valores mínimos e máximos. Dispensável se tais informações forem apresentadas no projeto de fundação.

- Desenhos de formas:
 - Caracterizar a geometria dos elementos estruturais;
 - Indicar as cotas de todas as dimensões necessárias à execução da estrutura;
 - Indicar a designação e o número de todos os elementos estruturais;
 - Indicar o corte transversal dos elementos estruturais;
 - Indicar as marcações dos cortes;
 - Indicar os pilares que nascem, continuam e morrem;
 - Indicar as mudanças de seção transversal dos pilares (a que morre e a que continua) junto ao nome do pilar, quando aplicável;
 - Indicar as aberturas e os rebaixos nas lajes, quando houver;
 - Indicar as vigas invertidas, quando houver;
 - Indicar o valor e a posição da contraflecha em vigas e lajes, quando houver;
 - Indicar as sobrecargas utilizadas no cálculo;
 - Indicar o caimento para a escoamento das águas pluviais e o sistema de impermeabilização das lajes de cobertura sem telhado, quando houver;
 - Indicar o sistema de impermeabilização dos elementos estruturais, quando aplicável;
 - Indicar as juntas de dilatação e de concretagem, quando aplicável;
 - Indicar, no mínimo, os cortes longitudinais e transversais preferencialmente nas mesmas posições dos cortes do projeto de arquitetura;
 - Indicar as janelas de concretagem nas formas dos pilares com altura superior a 2,50 metros (dois metros e cinquenta centímetros);
 - Indicar o tipo e a quantidade dos materiais utilizados na estrutura (por exemplo: volume de concreto por classe de resistência, área de forma, etc.);
 - Representar os elementos do projeto em Plantas, Cortes e Elevações;
 - Indicar os detalhes e representá-los, em escalas ampliadas, quando necessário;
 - Apresentar em escala mínima 1:50 ou a critério da FISCALIZAÇÃO.
- Desenhos das armações:
 - Caracterizar as barras e os estribos dos elementos estruturais;
 - Indicar o número da posição, a quantidade de barras, o diâmetro da barra, o espaçamento das barras (quando necessário), o comprimento total da barra, os trechos retos e as dobras;
 - Indicar as cotas necessárias para o correto dobramento das barras e estribos;
 - Indicar o ângulo de dobramento, quando aplicável;
 - Indicar a designação e o número de todos os elementos estruturais;
 - Indicar o comprimento do trecho de traspasse das barras, quando aplicável;
 - Indicar os cobrimentos utilizados na proteção das armaduras de cada peça do sistema estrutural em notas junto aos desenhos;
 - Mostrar a disposição das armaduras nos desenhos de Corte;
 - Dispor a armadura passiva preferencialmente na direção transversal à armadura de protensão e especificamente nas regiões de introdução das forças de protensão;
 - Prever, em vigas com alturas maiores que 60 (sessenta) centímetros, as armaduras de pele distribuídas nas faces laterais da zona tracionada;
 - Representar os elementos do projeto em Plantas, Cortes e Elevações;
 - Indicar os detalhes e representá-los, em escalas ampliadas, quando necessário;
 - Apresentar em escala mínima 1:50 ou a critério da FISCALIZAÇÃO;
 - Apresentar lista de ferros constando: numeração sequencial das posições (que pode ser global ou por elemento), tipos (resistência dos aços), diâmetros, quantidades, comprimentos unitários e totais, tabelas das cordoalhas, tabelas das bainhas;
 - Apresentar o quadro-resumo de aço contemplando: tipos (resistência dos aços), diâmetros, comprimentos totais por diâmetros, peso linear de cada diâmetro, peso total (por diâmetro, por tipo e geral).
- Detalhes construtivos:
 - Caracterizar os elementos estruturais específicos (escadas, rampas, arquibancadas, fosso de elevadores e de plataformas elevatórias, reservatórios, cintas, etc.);
 - Representar os detalhes do vão do fosso do elevador livre de interferências com a fundação;
 - Representar os detalhes das armaduras de reforço, no caso de aberturas e furos em elementos estruturais;
 - Representar os detalhes das armaduras e o acabamento das juntas de dilatação e de concretagem, quando aplicável;

- Representar o raio de dobra das armaduras, quando aplicável;
- Representar o enrijecimento das platibandas e/ou empenas, quando necessário;
- Representar os apoios móveis e/ou engastados e os aparelhos de apoio;
- Representar as ligações com as fundações e as contenções, quando aplicável;
- Indicar os pontos de ancoragem do SPIQ (Linhas de Vida) e suas capacidades para cada direção, conforme definido no Plano de Execução da Obra;
- Indicar, juntamente com as armaduras, o posicionamento dos moldes e das zonas maciças nas lajes nervuradas, quando necessário;
- Indicar o tipo e a quantidade dos materiais utilizados na estrutura (volume de concreto por classe de resistência e área de forma);
- Representar os elementos do projeto em Plantas, Cortes e Elevações;
- Apresentar em escala mínima 1:20 ou a critério da FISCALIZAÇÃO.
- Notas (de acordo com as soluções adotadas):
 - Relação água/cimento máxima para o concreto;
 - Consumo mínimo de cimento por metro cúbico de concreto;
 - Tipo e diâmetro máximo do agregado graúdo;
 - Aditivos no concreto;
 - Módulo de elasticidade;
 - Classe de agressividade ambiental considerada;
 - Tipo de cimento;
 - Tipos de barras e fios de aço;
 - Tipo de cordoalha;
 - Tipo de bainha;
 - Nível de controle tecnológico;
 - Tipo e tempo mínimo recomendado para a cura do concreto;
 - Resistência característica à compressão do concreto (f_{ck});
 - Resistência dos aços utilizados;
 - Força de protensão;
 - Etapas de concretagem;
 - Sobrecargas utilizadas no cálculo;
 - Referência ao Relatório de Sondagem.
- Plano de concretagem (no caso de elementos estruturais de grandes dimensões):
 - Especificar a execução adequada de concretagem, incluindo a forma de tratamento das juntas.
- Plano de desforma e descimbramento (no caso de elementos estruturais de grandes dimensões):
 - Especificar o processo de instalação das formas e dos cimbramentos;
 - Especificar o processo de retirada dos escoramentos, inclusive reescoramentos, visando evitar problemas na estabilidade da estrutura por introdução de solicitações não previstas no cálculo estrutural.

15.3.3 Projeto Executivo

Os seguintes documentos técnicos específicos, com seus conteúdos e sua forma de apresentação compreendem o Projeto Executivo de estrutura de concreto:

- Planta de locação de pilares:
 - Indicar o Norte;
 - Indicar mapa chave do empreendimento;
 - Indicar as cargas nas fundações;
 - Indicar os eixos da(s) estrutura(s), as cotas e os ângulos formados entre esses eixos, amarrando os eixos a, pelo menos, dois pontos georreferenciados;
 - Indicar as cotas necessárias à locação da estrutura;
 - Indicar a projeção do perímetro da edificação ou estrado da passarela, ponte, viaduto, etc.;
 - Indicar e nomear os diversos edifícios ou blocos existentes, a construir e as áreas *non aedificandi*;
 - Caracterizar os elementos naturais e indicar as interferências das intervenções propostas com esses elementos: lençol freático superficial, espécies arbóreas protegidas por lei, maciços em

- situações de instabilidade e demais elementos significativos;
- Caracterizar os elementos do projeto e existentes com os quais possa haver interferência: muros de divisa, muretas, cercas, guarda-corpos, peitoris, corrimãos, soleiras, equipamentos das instalações elétricas e eletrônicas, hidrossanitárias, mecânicas, de drenagem, como canaletas, caixas de passagem e de inspeção, poços de visita, padrões de entrada de energia e de água, redes enterradas e demais elementos significativos;
 - Indicar e cotar, quando aplicável, os limites externos do(s) terreno(s), do(s) CP(s) e da(s) edificação(ões): projeção da(s) cobertura(s), recuos e afastamentos, áreas permeáveis e impermeáveis;
 - Indicar e cotar os marcos topográficos e os níveis principais;
 - Indicar as marcações dos cortes na estrutura;
 - Indicar os detalhes e representá-los, em escalas ampliadas, quando necessário;
 - Apresentar plantas em escala mínima 1:50 ou a critério da FISCALIZAÇÃO;
 - Apresentar quadro-resumo dos pilares (mapa de cargas) com as seguintes informações: Nomes, Seções, Coordenadas de locação (X, Y), Carregamentos verticais (tf), Forças horizontais nas direções X e Y (tf) e os Momentos fletores nas direções X e Y (kgf.m), quando aplicável. Todos os esforços devem ser indicados com a combinação dos seus valores mínimos e máximos. Dispensável se tais informações forem apresentadas no projeto de fundação.
- **Desenhos de formas:**
 - Caracterizar a geometria dos elementos estruturais;
 - Indicar as cotas de todas as dimensões necessárias à execução da estrutura;
 - Indicar a designação e o número de todos os elementos estruturais;
 - Indicar o corte transversal dos elementos estruturais;
 - Indicar as marcações dos cortes;
 - Indicar os pilares que nascem, continuam e morrem;
 - Indicar as mudanças de seção transversal dos pilares (a que morre e a que continua) junto ao nome do pilar, quando aplicável;
 - Indicar as aberturas e os rebaixos nas lajes, quando houver;
 - Indicar as vigas invertidas, quando houver;
 - Indicar o valor e a posição da contraflecha em vigas e lajes, quando houver;
 - Indicar os carregamentos utilizados no cálculo de cada pavimento;
 - Indicar o caimento para escoamento das águas pluviais e o sistema de impermeabilização das lajes de cobertura sem telhado, quando houver;
 - Indicar o sistema de impermeabilização dos elementos estruturais, quando aplicável;
 - Indicar as juntas de dilatação e de concretagem, quando aplicável;
 - Indicar, no mínimo, os cortes longitudinais e transversais preferencialmente nas mesmas posições dos cortes do projeto de arquitetura;
 - Indicar as janelas de concretagem nas formas dos pilares com altura superior a 2,50 metros (dois metros e cinquenta centímetros);
 - Indicar o tipo e a quantidade dos materiais utilizados na estrutura (volume de concreto por classe de resistência e área de forma);
 - Representar os elementos do projeto em Plantas, Cortes e Elevações;
 - Indicar os detalhes e representá-los, em escalas ampliadas, quando necessário;
 - Apresentar em escala mínima 1:50 ou a critério da FISCALIZAÇÃO.
 - **Desenhos das armações:**
 - Caracterizar as barras e os estribos dos elementos estruturais;
 - Indicar o número da posição, a quantidade de barras, o diâmetro da barra, o espaçamento das barras (quando necessário), o comprimento total da barra, os trechos retos e as dobras;
 - Indicar as cotas necessárias para o correto dobramento das barras e estribos;
 - Indicar o ângulo de dobramento, quando aplicável;
 - Indicar a designação e o número de todos os elementos estruturais;
 - Indicar o comprimento do trecho de traspasse das barras, quando aplicável;
 - Indicar os cobrimentos utilizados na proteção das armaduras de cada peça do sistema estrutural em notas junto aos desenhos;
 - Mostrar a disposição das armaduras nos desenhos de Corte;
 - Dispor a armadura passiva preferencialmente na direção transversal à armadura de protensão e especificamente nas regiões de introdução das forças de protensão;
 - Prever, em vigas com alturas maiores que 60 (sessenta) centímetros, as armaduras de pele

- distribuídas nas faces laterais da zona tracionada;
- Representar os elementos do projeto em Plantas, Cortes e Elevações;
 - Indicar os detalhes e representá-los, em escalas ampliadas, quando necessário;
 - Apresentar em escala mínima 1:50 ou a critério da FISCALIZAÇÃO.
 - Apresentar lista de ferros constando: numeração sequencial das posições (que pode ser global ou por elemento), tipos (resistência dos aços), diâmetros, quantidades, comprimentos unitários e totais, tabelas das cordoalhas, tabelas das bainhas;
 - Apresentar o quadro-resumo de aço contemplando: tipos (resistência dos aços), diâmetros, comprimentos totais por diâmetros, peso linear de cada diâmetro, peso total (por diâmetro, por tipo e geral).
- **Detalhes construtivos:**
 - Caracterizar os elementos estruturais específicos (escadas, rampas, arquibancadas, fosso de elevadores e de plataformas elevatórias, reservatórios, cintas, etc.);
 - Representar os detalhes do vão do fosso do elevador livre de interferências com a fundação;
 - Representar os detalhes das armaduras de reforço, no caso de aberturas e furos em elementos estruturais;
 - Representar os detalhes das armaduras e o acabamento das juntas de dilatação e de concretagem, quando aplicável;
 - Representar o raio de dobra das armaduras, quando aplicável;
 - Representar o enrijecimento das platibandas e/ou empenas, quando necessário;
 - Representar os apoios móveis e/ou engastados e os aparelhos de apoio;
 - Representar as ligações com as fundações e as contenções, quando aplicável;
 - Indicar os pontos de ancoragem do SPIQ (Linhas de Vida) e suas capacidades para cada direção, conforme definido no Plano de Execução da Obra;
 - Indicar, quando o método construtivo for condicionante para a execução da estrutura, os pontos de içamento previstos e os pesos das peças da estrutura, além de outras informações que se demonstrarem relevantes;
 - Indicar as posições a serem ocupadas temporariamente por equipamentos principais ou auxiliares de montagem sobre a estrutura, posição de amarração de cabos ou espias, entre outros, conforme definido no Plano de Execução da Obra;
 - Indicar, juntamente com as armaduras, o posicionamento dos moldes e das zonas maciças nas lajes nervuradas, quando necessário;
 - Indicar o tipo e a quantidade dos materiais utilizados na estrutura (volume de concreto por classe de resistência e área de forma);
 - Representar os elementos do projeto em Plantas, Cortes e Elevações;
 - Apresentar em escala mínima 1:20 ou a critério da FISCALIZAÇÃO.
 - **Notas (de acordo com as soluções adotadas):**
 - Relação água/cimento máxima para o concreto;
 - Consumo mínimo de cimento por metro cúbico de concreto;
 - Tipo e diâmetro máximo do agregado gráúdo;
 - Aditivos no concreto;
 - Módulo de elasticidade;
 - Classe de agressividade ambiental considerada;
 - Tipo de cimento;
 - Tipos de barras e fios de aço;
 - Tipo de cordoalha;
 - Tipo de bainha;
 - Nível de controle tecnológico;
 - Tipo e tempo mínimo recomendado para a cura do concreto;
 - Resistência característica à compressão do concreto (f_{ck});
 - Resistência dos aços utilizados;
 - Força de protensão;
 - Etapas de concretagem;
 - Referência ao Relatório de Sondagem.
 - **Plano de concretagem (no caso de elementos estruturais de grandes dimensões):**
 - Especificar a execução adequada de concretagem, incluindo a forma de tratamento das juntas.

- Plano de desforma e descimbramento (no caso de elementos estruturais de grandes dimensões):
 - Especificar o processo de instalação das formas e dos cimbramentos;
 - Especificar o processo de retirada dos escoramentos, inclusive reescoramentos, visando evitar problemas na estabilidade da estrutura por introdução de solicitações não previstas no cálculo estrutural.
- Memória de cálculo:
 - Descrição da estrutura;
 - Premissas;
 - Documentos de referência;
 - Códigos e normas;
 - Materiais;
 - *Softwares* utilizados;
 - Carregamentos (carga permanente (cp), sobrecarga (sc), vento, temperatura, equipamentos, excepcionais);
 - Modelo: geometria e sistema estrutural (modelo estrutural, esquema estático dos eixos e filas, tabelas de entrada de dados no programa);
 - Verificação dos deslocamentos máximos;
 - Verificação dos elementos estruturais quanto à resistência;
 - Quadro de cargas.

15.4 NORMAS E PRÁTICAS COMPLEMENTARES

CBMMG IT 06 – Segurança estrutural das edificações.

CBMMG IT 09 – Carga de incêndio nas edificações e espaços destinados ao uso coletivo.

NBR 5674 – Manutenção de edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção.

NBR 5738 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.

NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.

NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento.

NBR 6120 – Ações para o cálculo de estruturas de edificações.

NBR 6123 – Forças devidas ao vento em edificações.

NBR 7187 – Projeto de pontes, viadutos e passarelas de concreto.

NBR 7188 – Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas.

NBR 7191 – Execução de desenhos para obras de concreto simples ou armado.

NBR 7480 – Aço destinado às armaduras para estruturas de concreto armado – Requisitos.

NBR 7482 – Fios de aço para estruturas de concreto protendido – Especificação.

NBR 7483 – Cordoalhas de aço para estruturas de concreto protendido – Especificação.

NBR 7808 – Símbolos gráficos para projetos de estruturas.

NBR 8522 – Concreto endurecido – Determinação dos módulos de elasticidade e de deformação.

NBR 8681 – Ações e segurança nas estruturas – Procedimento.

NBR 8800 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.

NBR 8953 – Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência.

NBR 9062 – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado.

NBR 9077 – Projeto de saídas de emergência.

NBR 12722 – Discriminação de serviços para construção de edifícios – Procedimento.

NBR 14323 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio.

NBR 14432 – Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento.

NBR 14931 – Execução de estruturas de concreto – Procedimento.

NBR 15200 – Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio.

NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações.

NBR 15575 – Edificações habitacionais – Desempenho.

NBR 15696 – Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto – Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos.

NBR 16055 – Paredes de concreto moldada no local para a construção de edificações – Requisitos e procedimentos.

NBR 16752 – Desenho técnico – Requisitos para apresentação em folhas de desenho.

NBR 16861 – Desenho técnico – Requisitos para representação de linhas e escrita.

NBR 16886 – Concreto – Amostragem de concreto fresco.

NBR 16889 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.

NBR 16945 – Classificação da resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações.

NBR 17006 – Desenho técnico – Requisitos para representação dos métodos de projeção.

NBR 17067 – Desenho técnico – Requisitos para as especificidades das representações ortográficas.

NBR 17068 – Desenho técnico – Requisitos para representação de dimensões e tolerâncias.

NBR ISO 6892-1 – Materiais metálicos – Ensaio de Tração – Parte 1: Método de ensaio à temperatura ambiente.

NBR ISO 7438 – Materiais metálicos – Ensaio de dobramento.

PROC-IBR-EDIF 004/2015 – Análise de projeto de estruturas em concreto armado.

PROC-IBR-EDIF 011/2015 – Análise das especificações, quantidades e preços da estrutura em concreto armado.

15.5 BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

CARVALHO, L. F. **Sistema construtivo em paredes de concreto para edifícios**: dimensionamento da estrutura e aspectos construtivos. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/BUOS-9JTK7S>. Acesso em: 12 jul. 2022.

EL DEBS, M. K. **Concreto pré-moldado**: fundamentos e aplicações. São Paulo, SP: Oficina de Textos.

HANAI, J. B. **Fundamentos do concreto protendido**. São Carlos: USP, 2005. *E-book*. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2255776/mod_resource/content/1/Fundamentos%20do%20Concreto%20Protendido%20-%20J%20B%20Hanai.pdf. Acesso em: 12 jul. 2022.

MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: microestrutura, propriedades e materiais. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

RECENA, F. A. P., **Dosagem e controle de qualidade de concretos convencionais de cimento Portland**. 5. ed. Porto Alegre: EdIPUCRS, 2017.

SANTOS, J. S. **Desconstruindo o projeto estrutural de edifícios**: concreto armado e protendido. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

REFERÊNCIAS

REBELLO, Y. C. P. **A concepção estrutural e a arquitetura**. São Paulo: Zigurate Editora, 2000.