ASSOCIAÇÃO DOS MUNICÍPIOS DO ALTO VALE DO ITAJAÍ

PREFEITURA MUNICIPAL DE ITUPORANGA
SANTA CATARINA

ESTUDOS COMPLEMENTARES, MEMORIAL DE CÁLCULO ESTRUTURAL E MEMORIAL DESCRITIVO

VOLUME 01

Elaboração: **EXCELÊNCIA PROJETOS E ASSESSORIA LTDA**

EXCELÊNCIA PROJETOS E ASSESSORIA
CNPJ - 29.174.101/0001-60
Vanderlei Cardoso
Engenheiro Civil
CREA-SC 108762-6

NOVEMBRO 2025

ASSOCIAÇÃO DOS MUNICÍPIOS DO ALTO VALE DO ITAJAÍ

PREFEITURA MUNICIPAL DE ITUPORANGA
SANTA CATARINA

ESTRADA: ESTRADA GERAL TRÊS BARRAS;

TRECHO: LOCAÇÃO -27.500301, -49,575641;

MUNICÍPIO: ITUPORANGA/SC;

EXTENSÃO: 15,00m;

DIREÇÃO: AMAVI – ASSOCIAÇÃO DOS MUNICÍPIOS DO ALTO VALE DO ITAJAÍ;

COORDENAÇÃO: AMAVI – ASSOCIAÇÃO DOS MUNICÍPIOS DO ALTO VALE DO ITAJAÍ;

ELABORAÇÃO: EXCELÊNCIA PROJETOS E ASSESSORIA LTDA;

CONTRATANTE: AMAVI – ASSOCIAÇÃO DOS MUNICÍPIOS DO ALTO VALE DO ITAJAÍ;

RESP. TÉCNICO: VANDERLEI CARDOSO – CREA-SC 108762-6;

TERMO DE CREDENCIAMENTO Nº: 03-2025

LICITAÇÃO Nº: EDITAL DE CREDENCIAMENTO 03/2025-AMAVI

ORDEM DE COMPRA Nº: 033/2025

DATA	SITUAÇÃO	REVISÃO
10/11/2025	PROJETO EXECUTIVO	00

ÍNDICE

APRESENTAÇÃO 5

1 APRESENTAÇÃO 6

LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS 7

2 LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS 8

2.1 INTRODUÇÃO 8
2.2 CADASTRO COMPLEMENTAR 8
2.3 DESENHO DA PLANTA TOPOGRÁFICA 8

MEMORIAL DESCRITIVO DA OBRA 10

3 MEMORIAL DESCRITIVO DA OBRA 11

3.1 DESCRIÇÃO DA OBRA 11
3.1.1 JUSTIFICATIVA DA SOLUÇÃO ADOTADA 16
3.2 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS 16
3.2.1 NORMAS E DISPOSIÇÕES GERAIS 16
3.3 ESPECIFICAÇÃO DE CONCRETO MAGRO 17
3.3.1 GENERALIDADES 17
3.3.2 DISPOSIÇÕES GERAIS 17
3.3.3 EXECUÇÃO 17
3.3.4 RESUMO 18
3.4 ESPECIFICAÇÃO DE CONCRETO ESTRUTURAL 18
3.4.1 APRESENTAÇÃO 18
3.4.2 OBJETIVO 18
3.4.3 REFERÊNCIAS 18
3.4.4 DEFINIÇÕES 19
3.4.5 CONCRETO 19
3.4.6 ELEMENTO ESTRUTURAL 19
3.4.7 CONDIÇÕES GERAIS 20
3.4.8 CONDIÇÕES ESPECÍFICAS 20
3.4.9 EQUIPAMENTOS 22
3.4.10 EXECUÇÃO 22
3.4.11 INSPEÇÃO 27

3.4.12 CONTROLE DA EXECUÇÃO: 28
3.4.13 ARGAMASSA: 29
3.4.14 CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO 31
3.5 FÔRMAS 31
3.5.1 CONDIÇÕES GERAIS 32
3.5.2 CONDIÇÕES ESPECÍFICAS 32
3.5.3 INSPEÇÕES 35
3.5.4 DRENOS E PINGADEIRAS 36
MEMORIAIS DE CÁLCULO ESTRUTURAL 37
4 MEMORIAIS DE CÁLCULO ESTRUTURAL 38
4.1 INTRODUÇÃO 38
4.2 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS 40
4.2.1 CORTE LONGITUDINAL E DETALHES 41
4.2.2 PLANTA SUPERIOR 42
4.3 PROGRAMA DE CÁLCULO 42
4.3.1 UNIDADES UTILIZADAS 43
4.4 MATERIAIS E PROPRIEDADES 44
4.4.2 FLUÊNCIA, RETRAÇÃO DOS MATERIAIS 46
4.4.3 MODULO DE ELASTICIDA 47
4.5 CARREGAMENTOS DA SUPERESTRUTURA 48
4.5.1 CARREGAMENTOS PERMANENTES 48
4.5.2 CARREGAMENTOS MÓVEIS VÃO 48
4.5.3 ESFORÇOS HORIZONTAIS 49
4.5.4 VARIAÇÃO DE TEMPERATURA 49
4.5.5 RETRAÇÃO + FLUÊNCIA DO CONCRETO 50
4.6 COMBINAÇOES DE CÁLCULO 50
4.6.1 COEFICIENTE DE AÇÃO DAS AÇÕES 50
4.6.2 COMBINAÇÕES ELS 51
4.6.3 COMBINAÇÕES ELU 51

APRESENTAÇÃO

1 APRESENTAÇÃO

O presente documento, denominado Volume 01 – Relatório Técnico da Ponte Três Barras, integra o conjunto de peças que compõem o Projeto de Engenharia para a ampliação da Obra de Arte Especial existente, cujo objetivo é a adequação estrutural da largura atual de 4,10 m para 7,00 m, garantindo maior capacidade funcional, segurança operacional e conformidade com as normas vigentes aplicáveis às OAEs.

A estrutura possui extensão total de 15,00 m, sendo este volume dedicado à apresentação das análises técnicas, critérios de projeto, verificações estruturais, parâmetros geométricos e diretrizes executivas que fundamentam a solução de engenharia adotada.

O relatório foi elaborado pela empresa EXCELÊNCIA PROJETOS E ASSESSORIA LTDA, em atendimento às disposições contratuais firmadas com a Prefeitura Municipal de Ituporanga e com a AMAVI – Associação dos Municípios do Alto Vale do Itajaí, observando integralmente as normas técnicas brasileiras aplicáveis (ABNT NBR 6118, NBR 7187, NBR 7188, NBR 9062, entre outras), bem como as regulamentações específicas para Obras de Arte Especiais.

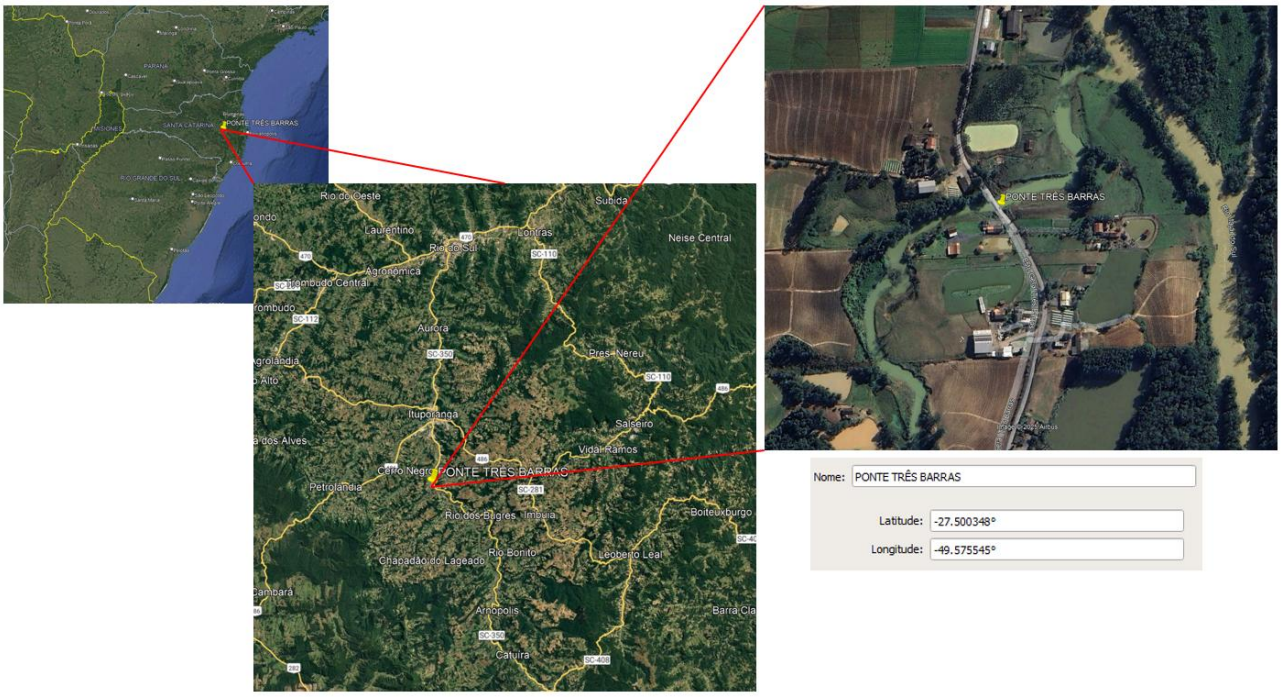


Imagem 1 – Locação da OAE

LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS

2 LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS

2.1 INTRODUÇÃO

Os serviços topográficos integrantes do relatório para o projeto consistiram na implantação e rastreamento pelo SGB (Sistema Geodésico Brasileiro) da poligonal principal, implantação e leitura dos marcos que compõem as poligonais do levantamento planialtimétrico da OAE.

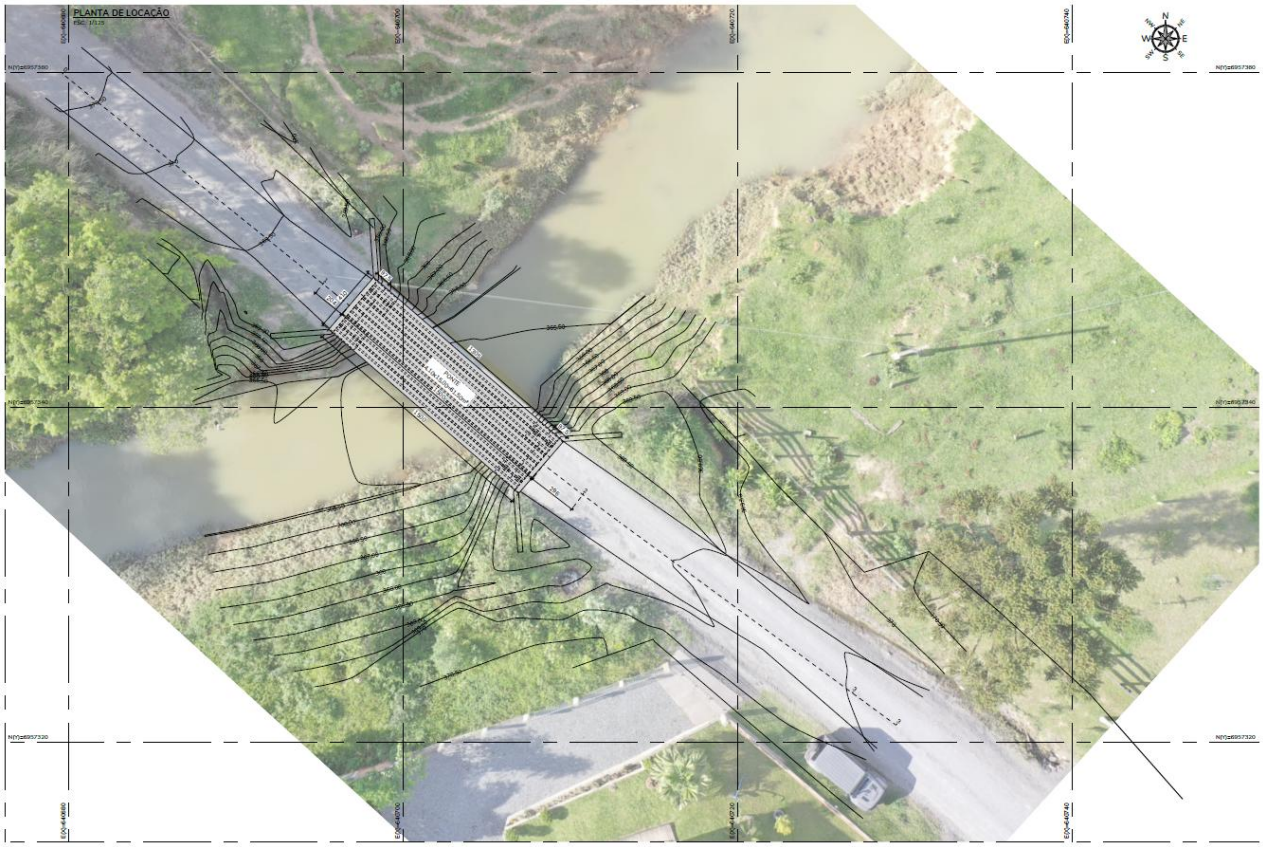
Os serviços de campo e escritório foram realizados de acordo com as normas e especificações, IS-204 – Estudos Topográficos para Projetos Básicos de Engenharia – DNIT (2006), IS-205 – Estudos Topográficos para Projetos Executivos de Engenharia – DNIT (2006), a norma NBR 13133/94 - Execução de levantamento topográfico, as exigências do Cliente e a observância das boas técnicas.

2.2 CADASTRO COMPLEMENTAR

O levantamento cadastral da faixa de domínio foi executado por processo de irradiação de pontos com a utilização de estação total, quando foram levantados todos os pontos de interesse ao projeto tais como: benfeitorias existentes, obras-de-arte especiais, obras-de-arte correntes, redes elétricas e de telefonia, plantio, vegetação (arbustos) e obstáculos visuais.

2.3 DESENHO DA PLANTA TOPOGRÁFICA

Os dados do levantamento planialtimétrico foram compilados em seus respectivos arquivos eletrônicos e processados através de softwares topográficos compatíveis com o sistema adotado gerando a planta topográfica do levantamento.

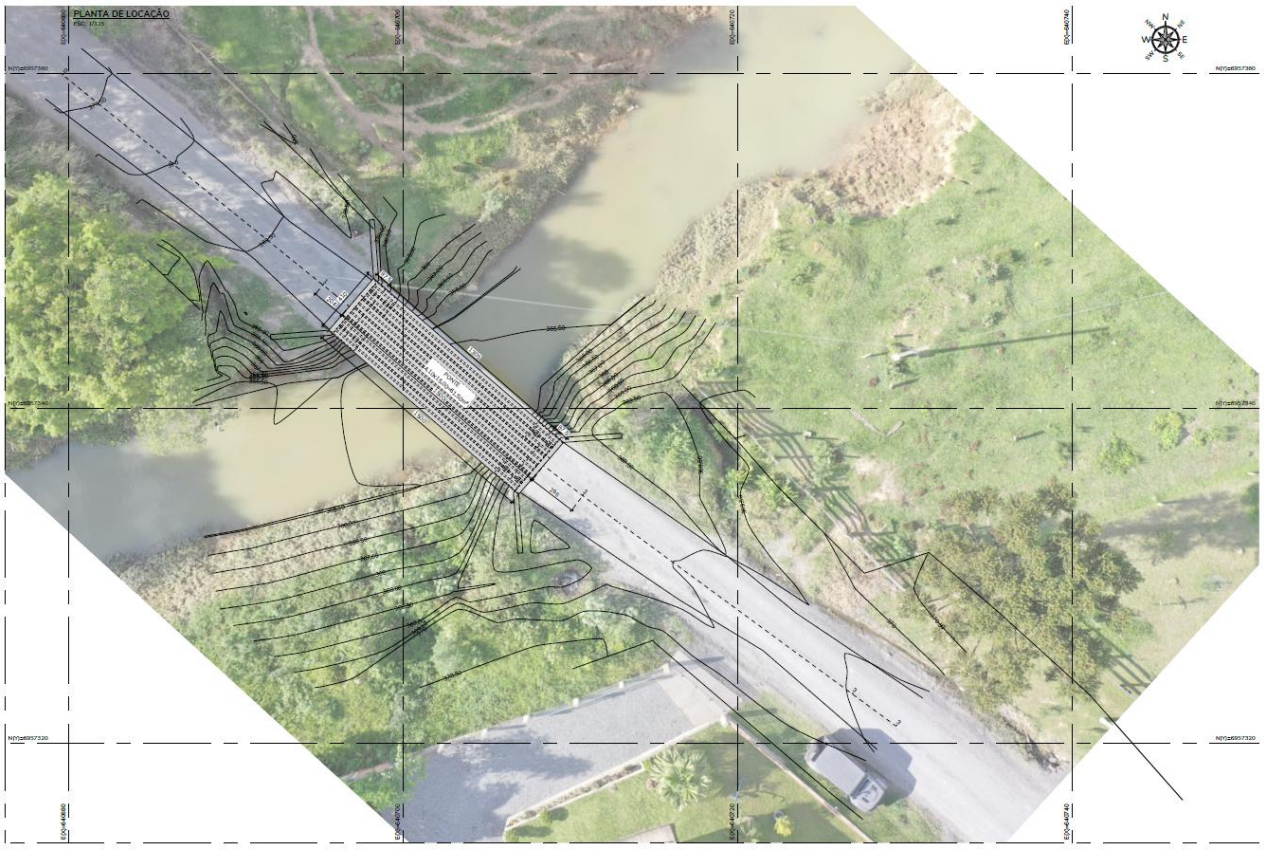

PLANTA DE LOCAÇÃO

MEMORIAL DESCRITIVO DA OBRA

3 MEMORIAL DESCRITIVO DA OBRA

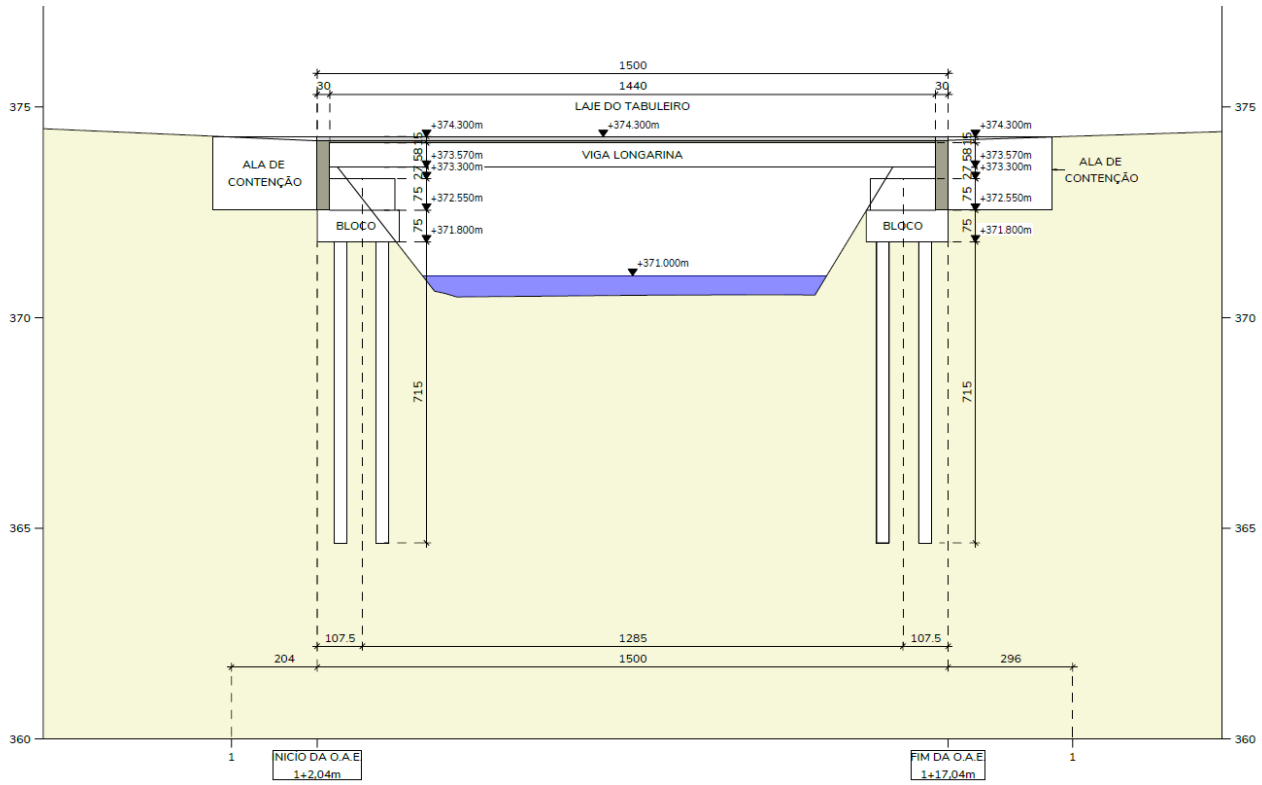
3.1 DESCRIÇÃO DA OBRA

A presente Obra de Arte Especial é uma ponte localizada na Estrada Geral Três Barras, no Município de Ituporanga - SC.

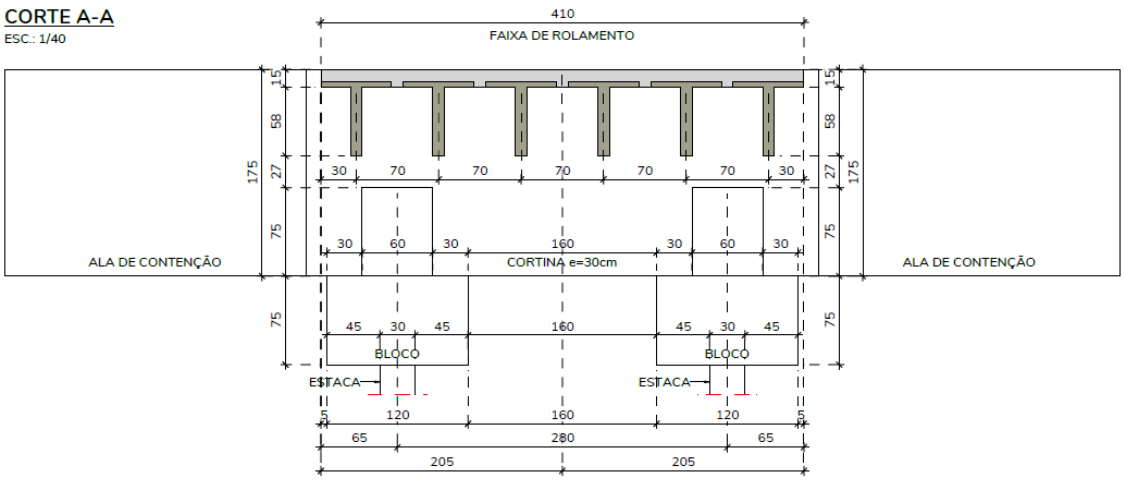


O projeto adota como marco referencial todas as cotas altimétricas e demais elementos fornecidos pelo contratante, os quais servem de base para a elaboração dos documentos técnicos.

A obra existente no local foi originalmente projetada para suportar cargas da Classe 24T, possuindo extensão total de 15,00 m e largura total de 4,10 m. No perfil longitudinal, a estrutura apresenta declividade igual a 0,0%, enquanto no perfil transversal verifica-se superelevação nula 0,0% na faixa de rolamento, caracterizando uma seção plana sem inclinação para escoamento.



A seção transversal da obra é constituída por pista de rolamento única, com largura total de 4,10 m, desprovida de elementos de proteção lateral, tais como guarda-corpos ou barreiras de contenção.



Diante do exposto, verifica-se que a estrutura da ponte em questão apresenta elevada fragilidade estrutural, uma vez que sua largura reduzida e a ausência de sistemas adequados de proteção lateral oferecem condições precárias de segurança aos usuários. Adicionalmente, o estudo hidrológico elaborado para a obra evidenciou que a ponte permanece submersa durante eventos de cheia, demonstrando que, além de estreita, a estrutura é curta e implantada em cota baixa, ficando sujeita ao galgamento do curso d'água.

Nosso escritório formalizou alertas técnicos ao Município e à AMAVI sobre tais condicionantes. Contudo, mesmo diante das recomendações apresentadas, foi solicitado apenas o alargamento da ponte, ampliando sua largura de 4,10 m para 7,00 m, mantendo-se a cota original da estrutura, sem elevação do tabuleiro.

O dispositivo adotado foi desenvolvido com base nas recomendações técnicas contidas no Manual de Projeto de Engenharia Rodoviária editado pelo DNIT, considerando-se como veículo tipo, caminhão de carga classe 45T. O projeto de alargamento foi também concebido de acordo com o preconizado nas Normas Brasileiras, em particular a NBR 7187 (Projeto e Execução de Pontes de Concreto Armado e Protendido) e NBR 6118 / 2024.

A superestrutura da ponte é constituída por 1 vão, onde o comprimento das vigas é de 15,00m sendo que a viga longarina possui vão central de 15,00m. O vão é constituído por 6 vigas do padrão antigo da Defesa Civil e duas novas vigas calculadas para carregamento de TB-45 dispostas com um entre eixo transversal de 1,02m.

Estas vigas longitudinais estão apoiadas diretamente sobre a cortina de conteção ligadas aos pilares e ao bloco de fundação, as vigas longarinas estão consolidadas na laje de pista.

A consolidação formará o pórtico necessário ao suporte da estrutura calculada, sendo que está solidarização das vigas longitudinais com a laje de pista, forma o conjunto de sistema de pórtico, que estabiliza a estrutura evitando a utilização de vigas transversinas no centro do vão. As vigas estão dimensionadas para trabalhar em forma de T, utilizando a laje como parte integrante deste conjunto.

A modelagem desta estrutura em pórticos e sistema de grelha de vigas e lajes planas permite ao calculista uma análise integral de todas as variáveis e deformações da estrutura, dando liberdade na sua utilização com tecnologia avançada.

O conjunto forma assim um sistema reticulado do tipo grelha, possuindo alta hiperestaticidade interna. A consolidação da estrutura toda se dá com a concretagem in-loco unindo as peças e integrando a estrutura, através da laje.

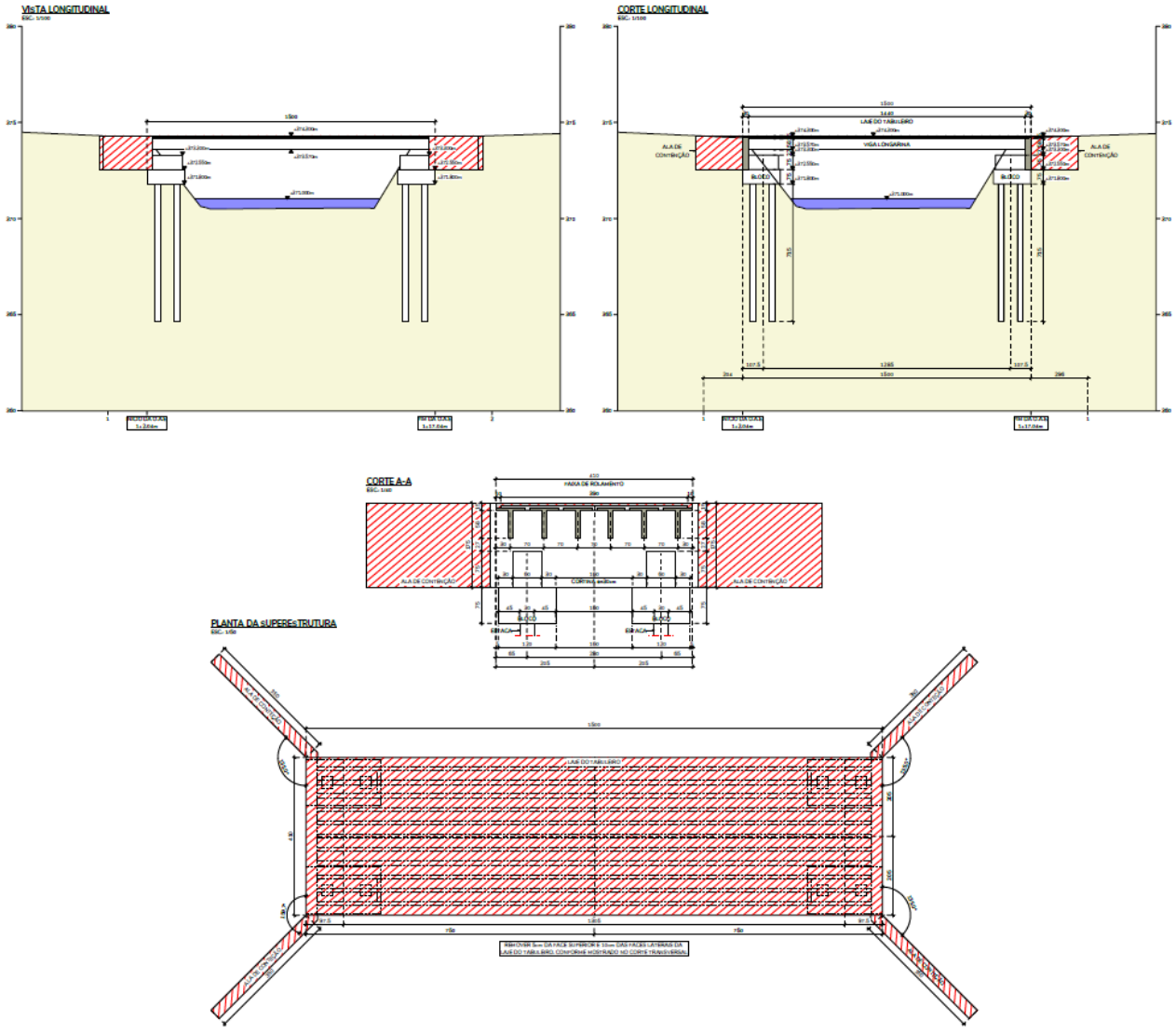
A infraestrutura, de cabeceira formada por cortina de contenção ligadas aos blocos de fundação que estão ligadas as estacas do tipo pré-moldadas de 30x30cm.

A estrutura está dimensionada para absorver as cargas resultantes da transferência dos esforços verticais e horizontais da superestrutura. Esforços adicionais foram considerados de acordo com as Normas Brasileiras em especial a NBR 6118/2014.

Nas extremidades, estão detalhadas as cortinas frontais para fechamento transversal e alas laterais de contenção horizontal.

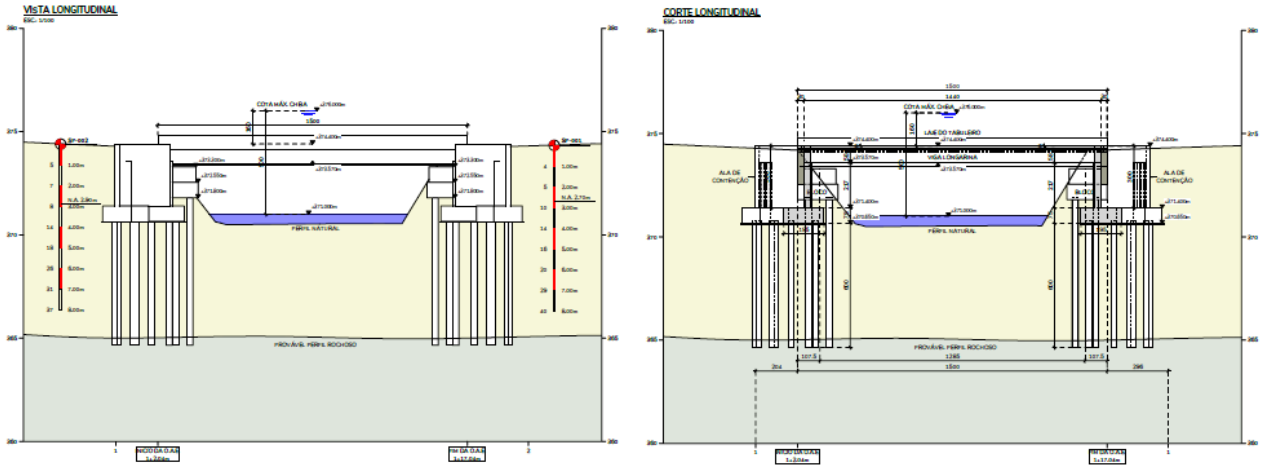
Na primeira fase do projeto, será executada a demolição integral das alas de contenção existentes e da camada superior da laje de tabuleiro, uma vez que estas se encontram totalmente deterioradas e incapazes de desempenhar sua função estrutural e hidráulica. A operação de demolição deverá observar os critérios estabelecidos pelas normas técnicas brasileiras, em especial:

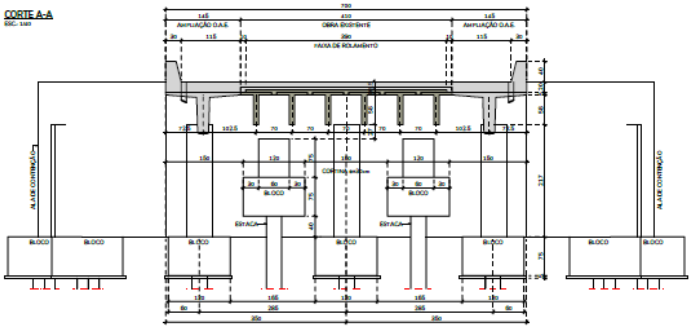
A demolição deverá ocorrer de forma controlada, garantindo a estabilidade da mesoestrutura remanescente, o não comprometimento do leito do rio e o atendimento às recomendações de segurança para trabalhadores e usuários do entorno. Também deverão ser observadas as diretrizes ambientais aplicáveis, mitigando o arraste de resíduos para o corpo hídrico, conforme estabelece a Resolução CONAMA nº 430/2011.



Na segunda fase de alargamento da OAE, deverão ser executados os nichos de abertura na laje do tabuleiro existente, destinados à passagem e cravação das estacas, garantindo o acesso adequado para os equipamentos de fundação. Após a execução das estacas, serão construídos os blocos de fundação e, em seguida, a cortina de contenção, a qual deverá ser erguida até a cota de apoio das vigas longarinas.

Quando a concretagem da cortina atingir a cota de apoio, deverá ser realizado o lançamento das vigas pré-moldadas. Posteriormente ao posicionamento das vigas, procede-se à concretagem final da cortina de contenção, englobando e conectando todas as vigas longarinas à cortina, de modo a assegurar o trabalho conjunto da superestrutura e da mesoestrutura, configurando um pórtico rígido. Essa solução promove maior estabilidade global e eficiência estrutural, em conformidade com os princípios estabelecidos pela ABNT NBR 6118:2023 e ABNT NBR 7187:2023, referentes ao projeto e comportamento de estruturas de concreto armado e de obras de arte especiais.





3.1.1 JUSTIFICATIVA DA SOLUÇÃO ADOTADA

A escolha do sistema estrutural adotado para a superestrutura norteou-se principalmente na eliminação sistemática de todas as variáveis menos ponderáveis que pudessem incidir na alteração do cronograma da obra, e consequentemente em prazos construtivos previstos. A solução por vigas pré-moldadas, com o posterior lançamento das vigas principais longitudinais foi escolhida, pois permite o uso de equipamento e mão de obra local, adotando a política de utilização total de recursos regionais.

Como consequência destas características, integradas e interdependentes, alcançou além de uma excelente qualidade técnica e estética, uma economia substancial, quando a solução adotada é comparada com uma estrutura – de mesma espessura construtiva – em concreto armado convencional moldado no local.

Com relação à solução adotada para a meso e infraestrutura, somente temos a dizer que, com base na verificação in-loco e, nas características da superestrutura e condições específicas desta obra, constitui-se uma solução clássica, de utilização corrente e rotineira, de execuções rápidas e simples.

Nossa proposta de solução estrutural tanto para a super, quanto para a interação meso e infraestrutura, constituem-se, numa solução racional para o aproveitamento de peças resistentes que transfiram, praticamente sem transição, os esforços e coações para o solo de fundação, acrescendo-se ainda em vantagens técnicas e econômicas provenientes da utilização de pré-moldagem padronizadas de baixo custo e prazo de fornecimento.

3.2 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

3.2.1 NORMAS E DISPOSIÇÕES GERAIS

Juntamente com esta especificação devem ser obedecidas todas as normas da ABNT, mas principalmente as seguintes:

NBR-6122 - Projeto e execução de fundações

NBR-7678 - Segurança na execução de obras e serviços de construção – Procedimento

Todos os serviços a serem executados, deverão ser baseados nos desenhos do Projeto básico e no desenvolvimento do projeto final executivo, tanto no que diz respeito às cotas de assentamento das estruturas, vãos da estrutura e às tensões admissíveis requeridas para o terreno.

3.3 ESPECIFICAÇÃO DE CONCRETO MAGRO

3.3.1 GENERALIDADES

3.3.1.1 OBJETIVO

O objetivo desta especificação é estabelecer os requisitos mínimos a serem observados na execução de concreto magro, compreendendo, sem se limitar, ao fornecimento e aplicação de materiais, bem como todos os serviços necessários à perfeita execução dos trabalhos.

3.3.1.2 NORMAS

Juntamente com esta memória, a Especificação “Concreto”, e a Especificação “Escavação de Cavas e Valas” devem ser obedecidas todas as normas de ABNT, pertinentes ao assunto, mas principalmente as seguintes:

NBR-6118 - Projeto e execução de obras de concreto armado - Procedimento

NBR-6112 - Projeto e execução de fundações - Procedimento

3.3.1.3 DEFINIÇÃO

Entende-se como concreto magro ao concreto de regularização do fundo de cavas, que serve de suporte do concreto estrutural.

3.3.2 DISPOSIÇÕES GERAIS

Para fabricação, transporte e lançamento do concreto magro devem ser obedecidas às prescrições da Especificação “Concreto”.

A finalidade do concreto magro é a obtenção de uma superfície firme, limpa e que permita o posicionamento correto e rígido da fôrma e armação, e o lançamento do concreto estrutural em local isento de materiais que possam contaminá-lo.

Sob nenhum pretexto será permitido lançamento de concreto magro sobre barro, lama, solo ou aterro sem compactação, devendo-se tomar as providências para sempre lançar o concreto magro sobre solo firme.

Conforme NBR 6118/2003, o fck do concreto magro usado para regularização deve ser de 15 MPA, tipo C15 com consumo mínimo de cimento de 200 Kg/m3.

3.3.3 EXECUÇÃO

Concluída o aterro de cabeceira, quando for o caso, deve-se compactar convenientemente o solo, e posteriormente obedecer ao seguinte procedimento:

a) Para fundações, a espessura do concreto magro será de 10,0 cm, conforme indicação do projeto;

b) Para fundações, além da superfície de apoio, o concreto magro deve avançar mais 5cm para cada lado, para apoio da fôrma;

c) Se a cava estiver sujeita a presença de água, provocando o solapamento do concreto magro, deverão ser adotadas soluções de sobre-largura, ou aumento de espessura do concreto magro nas bordas, ou outra, a critério da executante;

d) As superfícies de apoio das formas da fundação deverão ser perfeitamente niveladas;

e) Após o lançamento e espalhamento, o concreto magro deverá ser energicamente apiloado com soquete com área de 20 x 20 cm e 5kg, para haver um perfeito contato do concreto com o solo.

Obs.: Parte deste memorial foi compilada das Normas Rodoviárias do MT – DNER/DNIT – Obras-de-arte especiais – Concretos e argamassas

3.3.4 RESUMO

Este documento define a sistemática empregada na execução de concretos e argamassas. Para tanto, são apresentados os requisitos concernentes a material, equipamento, execução, verificação final de qualidade, além dos critérios para aceitação, rejeição e medição dos serviços.

3.4 ESPECIFICAÇÃO DE CONCRETO ESTRUTURAL

3.4.1 APRESENTAÇÃO

Esta norma estabelece a sistemática a ser empregada na execução e no controle da qualidade do serviço em epígrafe.

3.4.2 OBJETIVO

Fixar as condições exigíveis para a execução e recebimento de concretos, argamassas e caldas de cimento.

3.4.3 REFERÊNCIAS

Para o entendimento desta Norma deverão ser consultados os documentos seguintes:

DNER-EM 034/97 - Água para concreto;

DNER-EM 036/95 - Recebimento e aceitação de cimento Portland comum e Portland de alto forno;

DNER-EM 037/97 - Agregado graúdo para concreto de cimento;

DNER-EM 038/97 - Agregado miúdo para concreto de cimento;

ABNT NBR-5738/16 - Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de Concreto;

ABNT NBR-5746 - Análise química de cimento Portland - determinação do enxofre na forma de sulfeto;

ABNT NBR - 5739 - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos;

ABNT NBR - 5750/98 - Amostragem de concreto fresco;

ABNT NBR - 6118/14 - Projeto e execução de obras de concreto armado;

ABNT NBR - 7187/03 - Projeto e execução de pontes de concreto armado e protendido;

ABNT NBR - 7212/12 - Execução de concreto dosado em central;

ABNT NBR - 7223/98 - Concreto - determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone;

ABNT NBR - 7681/13 - Calda de cimento para injeção;

ABNT NBR - 7682/13 - Calda de cimento - determinação do índice de fluidez;

ABNT NBR - 7683/13 - Calda de cimento - determinação dos índices de exsudação e expansão;

ABNT NBR - 7684/13 - Calda de cimento - determinação da resistência à compressão;

ABNT NBR - 7685/13 - Calda de cimento - determinação de vida útil;

ABNT NBR - 8953/15 - Concreto para fins estruturais - classificação por grupos de resistência;

ABNT NBR - 9062/17 - Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado;

ABNT NBR - 9606/98 - Determinação da consistência pelo espalhamento do tronco de cone;

ABNT NBR - 10839/89 - Execução de obras de arte especiais em concreto armado e protendido;

ABNT NBR - 12655/15 - Preparo, controle e recebimento do concreto;

Manual de Construção de Obras de Arte Especiais - DNER, 1995.

3.4.4 DEFINIÇÕES

Para os efeitos desta Norma, são adotadas as definições seguintes:

3.4.5 CONCRETO

Mistura de agregado com ligante (água e cimento) que endurece adquirindo características semelhantes à rocha.

3.4.6 ELEMENTO ESTRUTURAL

Parte da estrutura que apresenta uma configuração geométrica claramente definida, f_{ck} igual e mesmo tipo de solicitação (p.ex. fundações, blocos de apoios, pilares, encontros, paredes, vigas, transversinas, lajes e sobre laje).

3.4.7 CONDIÇÕES GERAIS

Deverão ser executados de acordo com as fôrmas e resistências características indicadas no projeto.

3.4.8 CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

3.4.8.1 MATERIAL

3.4.8.1.1 CIMENTO

Os cimentos devem satisfazer às Especificações brasileiras, podendo ser de qualquer tipo e classe, desde que o projeto não prefira ou faça restrição a este ou aquele. Nos concretos, argamassas e caldas em contato com armaduras de protensão, o cimento empregado não poderá apresentar teor de enxofre sob a forma de sulfeto superior a 0,2%.

Nos cimentos empregados exigir a apresentação do certificado de qualidade. Todo cimento deverá ser guardado em local seco e abrigado de agentes nocivos e, não deverá ser transportado em dias úmidos.

O cimento poderá ser armazenado nos sacos de 50 Kg e 40 Kg ou em silos, quando entregue a granel e para cimento de uma única procedência. O período de armazenamento não poderá comprometer a sua qualidade. Exceto em clima muito seco, deverá ser verificado, antes da utilização se o cimento ainda atende às Especificações.

Deverá ainda atender à Especificação DNER-EM 036/95.

3.4.8.1.2 AGREGADOS

Os agregados deverão constituir-se de materiais granulosos e inertes, substâncias minerais naturais ou artificiais, britados ou não, duráveis e resistentes, com dimensões máximas características e formas adequadas ao concreto a produzir. Deverão ser armazenados separadamente, isolados do terreno natural, em assoalho de madeira ou camada de concreto de forma a permitir o escoamento d'água. Não conter substâncias nocivas que prejudiquem a pega e/ou o endurecimento do concreto, ou minerais deletérios que provoquem expansões em contato com a umidade e com determinados elementos químicos.

Deverão atender à Especificação DNER-EM 037/97 e DNER-EM 038/97.

3.4.8.1.3 AGREGADO MIÚDO

É normalmente constituída por areia natural quartzosa, de dimensão máxima característica igual ou inferior a 4.8 mm. Ser bem graduada, sendo recomendadas as areias grossas que não apresentem substâncias nocivas, como torrões de argila, materiais orgânicos, etc.

Somente será admitida a sua utilização, após estudos em laboratórios. O emprego de agregados miúdos somente poderá ser proveniente de rocha sadia.

3.4.8.1.4 AGREGADO GRAÚDO

Deverão apresentar dimensão máxima característica entre 4.8 mm e 50 mm e ser naturais (cascalhos ou seixos rolados, britados ou não) ou artificiais (pedras britadas, britas, argilas expandidas, etc). Não apresentar substâncias nocivas, como torrões de argila, matéria orgânica, etc. O agregado graúdo será constituído pelas partículas de diversas graduações nas proporções indicadas nos traços do concreto e armazenado separadamente, em função destas graduações.

3.4.8.1.5 PEDRA DE MÃO

A pedra de mão para concreto ciclópico, de granito ou outra rocha estável, deverá ter qualidade idêntica à exigida para a pedra britada a empregar na confecção do concreto.

Deverá ser limpa e isenta de incrustações nocivas e sua máxima dimensão não inferior a 30 cm, nem superior à 1/4 da mínima do elemento a ser construído.

3.4.8.2 ÁGUA

A água para a preparação do concreto não deverá conter ingredientes nocivos em quantidades que afetem o concreto fresco ou endurecido ou reduzir a proteção das armaduras contra a corrosão. Deverá ser razoavelmente clara e isenta de óleo, ácidos, álcalis, matéria orgânica, etc., e obedecer à exigência do item 6.1.3 desta Norma. Guardá-las em caixas estanques e tampadas de modo a evitar contaminação por substâncias estranhas.

3.4.8.3 ADITIVOS

A utilização de aditivos deve implicar no perfeito conhecimento de sua composição e propriedades, efeitos no concreto e armaduras, sua dosagem típica, possíveis efeitos de dosagens diferentes, conteúdo de cloretos, prazo de validade e condições de armazenamento.

Somente usar aditivos expressamente previstos nos projetos, ou nos estudos de dosagem de concreto empregados na obra, realizados em laboratório e aprovados pela autoridade competente.

Para o concreto protendido os aditivos que contenham cloreto de cálcio ou quaisquer outros halogenetos serão rigorosamente proibidos. Não deverão conter ainda ingredientes que possam provocar a corrosão do aço, as mesmas recomendações para a calda de injeção.

3.4.8.4 ADIÇÕES

As adições não poderão ser nocivas ao concreto e deverão ser compatíveis com os demais componentes da mistura.

3.4.9 EQUIPAMENTOS

A natureza, capacidade e quantidade do equipamento a ser utilizado dependerão do tipo e dimensões do serviço a executar. Para os concretos preparados na obra poderá ser utilizada betoneira estacionária de no mínimo 320 l, com dosador de água, central de concreto ou caminhão betoneira. Para o lançamento poderão ser utilizados carrinhos-caçamba, caçambas, bombas, etc.

3.4.10 EXECUÇÃO

3.4.10.1 CONCRETO

O concreto pode se apresentar quanto a sua densidade como concreto normal, com massa específica entre 2000 e 2800 kg/m^3, como concreto leve, cuja massa específica não ultrapassa 2000 kg/m^3 e como concreto pesado com massa específica maior que 2800 kg/m^3. O concreto deve apresentar uma massa fresca trabalhável com os equipamentos disponíveis na obra, para que depois de endurecido se torne um material homogêneo e compacto.

3.4.10.2 DOSAGEM

Os concretos para fins estruturais deverão ser dosados, racional e experimentalmente, a partir da resistência característica à compressão estabelecida no projeto, do tipo de controle do concreto, trabalhabilidade adequada ao processo de lançamento empregado e das características físicas e químicas dos materiais componentes. O cálculo da dosagem deverá ser refeito cada vez que prevista uma mudança de marca, tipo ou classe de cimento, na procedência e qualidade dos agregados e demais materiais e quando não obtida à resistência desejada.

Os concretos são classificados conforme a resistência característica à compressão (f_{ck}) em grupos I e II e, dentro dos grupos, em classes, sendo o grupo I, subdividido em nove classes, do C15 ao C50 e o grupo II em quatro classes (C55, C60, C70 e C80).

Serão consideradas também para a dosagem dos concretos, condições peculiares como: impermeabilização, resistência ao desgaste, ação de águas agressivas, aspecto das superfícies, condições de colocação, etc.

A resistência de dosagem do concreto será função dos critérios utilizados para a definição da sua resistência característica, através do desvio padrão das amostras, dependendo do controle

tecnológico dos materiais na obra, e classificada de acordo com as condições apresentadas na tabela seguinte:

Condições	Classe de Resistência	Cimento	Água	Agregados
C	C15	Massa	Volume (1)	Volume
B	C15 a C20	Massa	Volume, com dispositivo dosador (1)	Volume (2)
	C15 a C25	Massa	Volume, com dispositivo dosador (1)	Massa combinada com volume (3)
A	C15 a C80	Massa	Massa (1)	Massa

(1) corrigido pela estimativa ou determinação da umidade dos agregados.

(2) volume do agregado miúdo corrigido através da curva de inchamento e umidade, determinada em pelo menos três vezes no mesmo turno de serviço.

(3) umidade da areia medida no canteiro, em balanças aferidas para permitir a rápida conversão de massa para volume de agregados.

3.4.10.3 PREPARO

Para os concretos executados no canteiro, antes do início da concretagem, deverá ser preparada uma amassada de concreto, para comprovação e eventual ajuste do traço definido no estudo de dosagem.

O preparo do concreto destinado às estruturas deverá ser mecânico, em pequenos volumes nas obras de pequena importância, não podendo ser aumentada, em hipótese alguma, a quantidade de água prevista para o traço.

Os sacos de cimento rasgados, parcialmente usados, ou com cimento endurecido, serão rejeitados.

Os componentes do concreto medidos de acordo com o item anterior devem ser misturados até formar uma massa homogênea. O tempo mínimo de mistura em betoneira estacionária é de 60 segundos, aumentados em 15 segundos para cada metro cúbico de capacidade nominal da betoneira, ou conforme especificação do fabricante. Para central de concreto e caminhão betoneira deverá ser atendida a ABNT NBR-7212. Após a descarga não poderão ficar retidos nas paredes do misturador volumes superiores a 5% do volume nominal.

Quando o concreto for preparado por empresa de serviços de concretagem, a central deverá assumir a responsabilidade por este serviço e cumprir as prescrições relativas às etapas de execução do concreto (ABNT NBR-12655), bem como, as disposições da ABNT NBR-7212.

O concreto deverá ser preparado somente nas quantidades destinadas ao uso imediato. Não será permitida a re-mistura do concreto parcialmente endurecido.

3.4.10.4 TRANSPORTE:

Quando a mistura for preparada fora do local da obra, o concreto deverá ser transportado em caminhões betoneiras, não podendo segregar durante o transporte, nem apresentar temperaturas fora das faixas de 5 °C a 30 °C. Em geral, descarregados em menos de 90 minutos após a adição de água. A velocidade do tambor giratório não deverá ser menor que duas nem maior que seis rotações por minuto. Qualquer motivo provável da aceleração da pega irá acelerar o período completo de descarregamento, ou serão empregados aditivos retardadores da pega. O intervalo entre as entregas deverá ser tal que não permita o endurecimento parcial do concreto já colocado, não excedendo o tempo máximo de 30 minutos.

O intervalo entre a colocação de água no tambor e a descarga final do concreto da betoneira nas formas não deverá exceder 60 minutos, devendo a mistura ser revolvida de modo contínuo para que o concreto não fique em repouso antes do seu lançamento por tempo superior a 30 minutos. No transporte horizontal deverão ser empregados carros especiais providos de rodas de pneus, e evitado o uso de carros com rodas maciças, de ferro ou carrinhos comuns.

3.4.10.5 LANÇAMENTO:

O lançamento do concreto só pode ser iniciado após o conhecimento dos resultados dos ensaios da dosagem, verificação da posição exata da armadura, limpeza das fôrmas, que quando de madeira devem estar suficientemente molhadas, e do interior removidos os cavacos de madeira, serragem e demais resíduos de operações de carpintaria. Serão tomadas precauções para não haver excesso de água no local de lançamento o que pode ocasionar a possibilidade do concreto fresco vir a ser lavado.

Não será permitido lançamento do concreto de uma altura superior a 2 m, ou acúmulo de grande quantidade em um ponto qualquer e posterior deslocamento ao longo das fôrmas. Na concretagem de colunas ou peças altas o concreto deverá ser introduzido por janelas abertas nas fôrmas, fechadas à medida que a concretagem avançar.

Calhas, tubos ou canaletas poderá ser usado como auxiliares no lançamento do concreto, dispostos de modo a não provocar segregação. Deverão ser mantidos limpos e isentos de camada de concreto endurecido, preferencialmente, executado ou revestidos com chapas metálicas.

O concreto somente poderá ser colocado sob água quando sua mistura possuir excesso de cimento de 20% em peso. Em hipótese alguma será empregado concreto submerso com consumo de cimento inferior a 350 kg/m³. Para evitar segregação o concreto deverá ser cuidadosamente colocado na posição final em uma massa compacta, por meio de funil ou de caçamba fechada, de fundo móvel, e não perturbado depois de ser depositado. Cuidados especiais serão tomados para manter a água parada no local de depósito. O concreto não deverá ser colocado diretamente em contato com a água corrente.

Quando usado funil, este deverá consistir de um tubo de mais de 25 cm de diâmetro, construído em seções acopladas umas às outras, por flanges providas de gachetas. O modo de operar deverá permitir movimento livre da extremidade de descarga e seu abaixamento rápido, quando necessário, para estrangular ou retardar o fluxo. O enchimento deverá processar-se por método que evite a lavagem do concreto. O terminal deverá estar sempre dentro da massa do concreto e o tubo conter uma quantidade suficiente de concreto para não haver penetração de água. O fluxo do concreto deverá ser contínuo e regulado de modo a obter camadas aproximadamente horizontais, até o término da concretagem.

Quando o concreto for colocado com caçamba de fundo móvel, esta deverá ter capacidade superior a meio metro cúbico (0,50 m³). Abaixar a caçamba, gradual e cuidadosamente, até apoiá-la na fundação preparada ou no concreto já colocado, elevá-la muito vagarosamente durante o percurso de descarga. Pretende-se, com isto, manter a água tão parada quanto possível no ponto de descarga e evitar agitação da mistura.

3.4.10.6 ADENSAMENTO DO CONCRETO

O concreto deverá ser bem adensado dentro das fôrmas, mecanicamente, usar vibradores, que poderão ser, internos, externos ou superficiais, com freqüência mínima de 3.000 impulsos por minuto. O número de vibradores deverá permitir adensar completamente, no tempo adequado, todo o volume de concreto a ser colocado. Somente será permitido o adensamento manual em caso de interrupção no fornecimento de força motriz e pelo mínimo período indispensável ao término da moldagem da peça em execução, com acréscimo de 10% de cimento, sem aumento da água de amassamento.

Normalmente serão utilizados vibradores de imersão internos, os externos apenas quando as dimensões das peças não permitirem inserção do vibrador, ou junto com os internos quando se desejar uma superfície de boa aparência, e os vibradores superficiais em lajes e pavimentos.

O vibrador de imersão deverá ser empregado na posição vertical evitando-se o contato demorado com as paredes das formas ou com a armação, bem como, a permanência demasiada em um mesmo ponto. Não será permitido o uso do vibrador para provocar o deslocamento horizontal do concreto nas fôrmas. O afastamento de dois pontos contíguos de imersão do vibrador deverá ser de, no mínimo, 30 cm.

3.4.10.7 CURA DO CONCRETO

Para atingir sua resistência total, o concreto deverá ser curado e protegido eficientemente contra o sol, vento e chuva. A cura deve continuar durante um período mínimo de 7 dias, após o lançamento, caso não existam indicações em contrário. Para o concreto protendido, a cura deverá prosseguir até que todos os cabos estejam protendidos. Sendo usado cimento de alta resistência inicial, esse período poderá ser reduzido.

A água para a cura deverá ser da mesma qualidade usada para a mistura do concreto. Poderão ser utilizados, principalmente, os métodos de manutenção das fôrmas, cobertura com filmes plásticos, colocação de coberturas úmidas, aspersão de água ou aplicação de produtos especiais que formem membranas protetoras.

3.4.10.8 JUNTAS DE CONCRETAGEM

O número de juntas de concretagem deverá ser o menor possível.

3.4.10.9 CONCRETO CICLÓPICO

Onde for necessário o emprego de concreto ciclópico adicionar concreto, preparado como mencionado no subitem anterior, com volume de até 30% de pedras de mão, lavadas, saturadas com água e envolvidas com 5 cm, no mínimo, de concreto.

Nenhum concreto a ser empregado em concreto ciclópico deverá ter resistência característica à compressão (f_{ck}) inferior a 15 MPA (150 kgf/cm²).

3.4.10.10 ARGAMASSA

As argamassas poderão ser preparadas em betoneiras. Sendo permitida a mistura manual, a areia e o cimento deverão ser misturados a seco até obter-se coloração uniforme, quando, então, será adicionada a água necessária para a obtenção da argamassa de boa consistência, para

manuseio e espalhamento fáceis com a colher de pedreiro. A argamassa não empregada em 45 minutos, após a preparação, será rejeitada e não será permitido seu aproveitamento, mesmo com adição de mais cimento.

As argamassas destinadas ao nivelamento das faces superiores dos pilares e preparo do berço dos aparelhos de apoio deverão ter resistência característica à compressão de 25 Mpa (250 kgf/cm²).

3.4.10.11 CALDA DE CIMENTO PARA INJEÇÃO:

Produto da mistura conveniente de cimento, água e, eventualmente, de aditivos, para preenchimento de bainhas ou dutos de armadura de protensão de peças de concreto protendido, a fim de proteger a armadura contra a corrosão e garantir a aderência posterior ao concreto da peça.

Recomenda-se injeção até, no máximo 8 dias após a protensão dos cabos.

O cimento utilizado deve ser o cimento Portland comum, ou outro tipo de cimento que satisfaça as seguintes exigências:

a) teor de cloro proveniente de cloreto: máximo igual a 0,10%;

b) teor de enxofre proveniente de sulfetos (ABNT NBR-NM 19:2004): máximo igual a 0,20%.

Não serão permitidos aditivos que contenham halogenetos ou reatores ao material de calda, deteriorem ou ataquem o aço.

O fator água/cimento não deverá ser superior a 0,45 em massa.

3.4.11 INSPEÇÃO

3.4.11.1 CONTROLE DO MATERIAL

A ABNT NBR-12655:2015 fixa as condições exigíveis para realização do controle tecnológico dos materiais componentes do concreto.

3.4.11.2 CIMENTOS

Os ensaios de cimento deverão ser feitos em laboratório, de acordo com as normas ABNT NBR – NM 10:2004 (quando necessário) e as ABNT NBR-07215, ABNT NBR-NM 76:1998, ABNT NBR-NM 43:2003, ABNT NBR-NM 65:2003 e ABNT NBR-11582, desnecessária a realização frequente de ensaios se existirem garantia de homogeneidade de produção para determinada marca de cimento.

O peso do saco de cimento deverá ser verificado para cada 50 sacos fornecidos, com tolerância de 2%.

3.4.11.3 AGREGADOS MIÚDOS E GRAÚDOS:

Deverão obedecer à ABNT NBR-7211.

3.4.11.4 ÁGUA

Controle da água desde que apresente aspecto ou procedência duvidosa. Para utilização em concreto armado ou protendido será considerada satisfatória se apresentar pH entre 5.8 e 8.0 e respeitar os seguintes limites máximos:

a) matéria orgânica: 3mg/l (oxigênio consumido);

b) resíduo sólido: 5000mg/l;

c) sulfatos: 300mg/l (íons SO_4);

d) cloretos: 500mg/l (íons Cl)

e) açúcar: 500mg/l.

Para casos especiais considerar outras substâncias prejudiciais.

O gelo a ser utilizado, quando necessário para resfriamento, da mistura (concreto ou calda de cimento) deverá obedecer aos requisitos acima.

3.4.12 CONTROLE DA EXECUÇÃO:

3.4.12.1 CONCRETO:

De acordo com a ABNT-NBR-12655 para a garantia da qualidade do concreto a empregar na obra, para cada tipo e classe de concreto, serão realizados os ensaios de controle, adiante relacionados, além de outros recomendados em projetos específicos:

a) ensaios de consistência, de acordo com a ABNT NBR-7223 e, ou ABNT NBR-NM 68:1998 (para concreto auto-adensável), sempre que ocorrerem alterações na umidade dos agregados, na primeira amassada do dia após o reinicio, seguido de interrupção igual ou superior a 2 horas, na troca de operadores e cada vez que forem moldados corpos de prova. Para concreto fornecido por terceiros deverão ser realizados ensaios a cada betonada;

b) ensaios de resistência à compressão de acordo com a ABNT NBR-5739, para aceitação ou rejeição dos lotes.

A consistência do concreto deverá atender aos valores estipulados nos métodos de ensaio. Acaso não os atenda na primeira amostra, repetir nova amostragem; se persistir, provavelmente não apresenta a necessária plasticidade e coesão. Verificar a causa e corrigir antes da utilização, com exceção para os concretos cuja plasticidade exceda os limites dos métodos de ensaio, como o concreto bombeado.

A amostragem mínima do concreto para ensaios de resistência à compressão deverá ser feita dividindo-se a estrutura em lotes. Cada lote corresponderá a um elemento estrutural, limitado pelos critérios da tabela adaptada da ABNT NBR-12655 apresentadas a seguir:

Limites superiores	Solicitação principal dos elementos da estrutura	
	Compressão ou Compressão e Flexão	Flexão Simples
Volume de concreto	50m³	100m³
Tempo de concretagem	3 dias de concretagem (1)	
(1) Este período deve estar compreendido no prazo total máximo de sete dias, inclui eventuais interrupções para tratamento de juntas.		

De cada lote retirar uma amostra, de no mínimo seis exemplares, para os concretos até a classe C50 e doze exemplares para as classes superiores a C50.

Cada exemplar é constituído por dois corpos de prova da mesma amassada para cada idade do rompimento, moldados no mesmo ato. A resistência do exemplar de cada idade é considerada a maior dos dois valores obtidos no ensaio. O volume de concreto para a moldagem de cada exemplar e determinação da consistência deverá ser de 1,5 vezes o volume necessário para estes ensaios e nunca menor que 30 litros.

A coleta deste concreto em betoneiras estacionárias deve ocorrer enquanto o concreto está sendo descarregado, representando o terço médio da mistura. Caso contrário, deve ser tomada imediatamente após a descarga, retirada de três locais diferentes, evitando-se os bordos. Homogeneizar o concreto sobre o recipiente com o auxílio de colher de pedreiro, concha metálica ou pá.

A coleta deste concreto em caminhão betoneira deverá ocorrer enquanto o concreto está sendo descarregado e obtido em duas ou mais porções, do terço médio da mistura.

Para o concreto bombeado, a coleta deve ser feita em uma só porção, colocando-se o recipiente sob o fluxo de concreto na saída da tubulação, evitando o início e o fim do bombeamento.

3.4.13 ARGAMASSA:

As argamassas serão controladas através dos ensaios de qualidade de água e de areia.

3.4.13.1 CONTROLE ESTATÍSTICO:

3.4.13.2 CONCRETO:

O controle poderá ser feito por amostragem parcial, quando são retirados exemplares de algumas betonadas de concreto atendidas às limitações já constantes do item 6.2.1, ou por

amostragem total, quando são retirados exemplares de todas as amassadas de concreto e o valor estimado da resistência característica à compressão ($f_{ck\ est}$), na idade específica, obtidos conforme tabela seguinte:

Resistência Característica Estimada $f_{ck\ est}$

Amostragem parcial		Amostragem total	
$6 \leq n < 20$	$n \geq 20$	$n \leq 20$	$n > 20$
$2\frac{f1+f2+\ldots fm-1}{m-1} - fm$ Se maior que $\Psi_6 f_1$	fcm - 1,65 S	f 1	f i

Sendo:

n = número de exemplares;

m = n/2, desprezando-se o valor mais alto de n, se n for impar;

f1, f2, ...fm = valores das resistências dos exemplares, em ordem crescente;

Ψ_6 = valores constantes da tabela valores de $\Psi_{6;}$

fcm = resistência média dos exemplares do lote, em MPa;

S = desvio padrão do lote para n - 1 resultados, em Mpa;

i = 0,05n, adotando-se a parte inteira imediatamente superior, para o valor de i fracionário.

A resistência do concreto através do controle tecnológico e rompimento de corpos-de-prova, pode ser feita com relação ao fck, representando de forma estatística a resistência de um determinado conjunto de corpos-de-prova.

No início da obra ou quando não se conhecer o valor do desvio padrão S, considerar os seguintes valores para Sd, de acordo com a condição de preparo:

Condição A: Sd = 4,0 Mpa

Condição B: Sd = 5,5 Mpa

Condição C: Sd = 7,0 Mpa

VALORES DE Ψ_6											
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

Em casos excepcionais, em lotes correspondentes a no máximo 10m³, com número de exemplares entre 2 e 5: $f_{ck\ est} = \Psi_6 f_1$.

3.4.13.3 ACEITAÇÃO E REJEIÇÃO

Realizar inspeção visual após a retirada das fôrmas e escoramento quanto à existência de brocas, falhas no posicionamento das armaduras, etc.

Os lotes de concreto serão aceitos automaticamente quando atingirem a idade de controle:

$$f_{ck\ est} \geq f_{ck}$$

Os serviços rejeitados deverão ser corrigidos, complementados ou refeitos.

3.4.14 CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO

3.4.14.1 CONCRETO

O concreto, simples, armado, protendido ou ciclópico, será medido por metro cúbico de concreto lançado no local, volume calculado em função das dimensões indicadas no projeto ou, quando não houver indicação no projeto, pelo volume medido no local de lançamento. Inclui o fornecimento dos materiais, preparo, mão de obra, utilização de equipamento, ferramentas, transportes, lançamento, adensamento, cura, controle e qualquer outro serviço necessário a concretagem.

3.4.14.2 ARGAMASSA:

A argamassa será medida por metro cúbico aplicado, em função das dimensões indicadas no projeto. Não caberá a medição em separado quando se tratar de alvenaria de pedra argamassada.

3.5 FÔRMAS

Moldes provisórios destinados a receber e conter o concreto, enquanto endurece.

- Fôrmas reutilizáveis Fôrmas elaboradas, em geral, de chapas de madeira compensada e impermeabilizada; dependendo da obra e do projeto dos painéis, o reaproveitamento pode ser superior a dez vezes.

- Fôrmas brutas Fôrmas de tábuas, que somente devem ser usadas para concreto não aparente; a reutilização é pequena.

- Fôrmas auto-portantes Fôrmas que dispensam escoramento; somente possíveis para pequenos vãos e cargas limitadas.

- Fôrmas metálicas Chapas metálicas finas e enrijecidas, usadas para estruturas repetitivas e com acabamento apurado, tais como elementos pré-moldados e pilares circulares.

3.5.1 CONDIÇÕES GERAIS

A responsabilidade pelo projeto, execução e remoção das fôrmas é do construtor. As fôrmas somente devem entrar em carga após a liberação da Fiscalização. Em virtude da importância, responsabilidade, custo relativo e multiplicidade de soluções, as fôrmas devem ser projetadas e dimensionadas com antecedência, antes do início da construção. As fôrmas devem ser projetadas e detalhadas de maneira que as lajes, vigas, paredes e outros elementos estruturais acabados tenham as dimensões, formas, alinhamentos e posições dentro das tolerâncias admissíveis. Fôrmas e escoramentos devem formar um sistema interdependente, com previsão de desmoldagem parcial ou total. Fôrmas e escoramentos devem ser dimensionados com previsão de ação de ventos e sobrecargas de equipamentos, pessoal e materiais.

3.5.2 CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

Projeto A escolha dos materiais adequados para execução das fôrmas deve atender a requisitos de economia, segurança e acabamento desejado para a obra. O projeto das fôrmas, bem como do escoramento, é de responsabilidade do construtor e deve ser apresentado completo, para exame da Fiscalização; o projeto deve atender a todas as normas e especificações, inclusive as locais, estaduais e federais. O projeto das fôrmas deve indicar, quando necessário, aberturas provisórias para limpeza e retirada de detritos. No projeto, devem ser previstos forma, prazo e condições para remoção das fôrmas.

3.5.2.1 INSUMOS

Madeira em tábuas Praticamente, todos os tipos de fôrmas necessitam de algum componente de madeira; há uma grande variedade de espécies de madeira e a escolha de algum tipo depende da disponibilidade e do custo. Quando permitidas as fôrmas de madeira, sob a forma de tábuas, devem ser escolhidas madeiras não muito secas, que incham quando molhadas, e nem muito verdes, que empenam quando secam. A qualidade do acabamento do concreto que se consegue com a madeira em forma de tábuas melhora muito quando se utiliza a madeira aparelhada, isto é, a madeira submetida a plainas e lixadeiras.

Madeira compensada Os compensados de madeira são o material mais usado para o revestimento de fôrmas; disponíveis em painéis grandes de 110 x 220 cm e espessuras industriais de 3 a 30 mm permitem, além de excelente acabamento, um grande reaproveitamento, de cinco a

dez vezes, principalmente se a face em contato direto com o concreto for impermeabilizada, por pinturas ou revestimento metálico.

Fôrmas metálicas Para grande número de repetições e acabamento mais apurado, nas vigas pré-moldadas e pilares circulares, por exemplo, as fôrmas metálicas são as mais indicadas. Em certas estruturas, tais como vigas de grandes vãos, a fôrma metálica é praticamente e economicamente insubstituível, visto que elimina apoios intermediários.

3.5.2.2 ACESSÓRIOS

Pregos Os pregos são os dispositivos mecânicos mais comuns para a junção de painéis de fôrmas e seu uso adequado contribui para a economia e a qualidade do trabalho. A preferência dos profissionais recai nas seguintes bitolas: para tábuas, sarrafos e contraplacados de 1 polegada de espessura, pregos de 18 x 27 (3,4 x 61 mm) e para tábuas, ripas e contraplacados de 0,5 polegada de espessura, pregos de 15 x 15 (2,4 x 34 mm).

Tirantes Os tirantes são dispositivos tensionados, adaptados para manter as fôrmas em seu lugar, impedindo-as de abrir, quando solicitadas pela pressão lateral do concreto fresco; podem ser simples vergalhões de aço ou sofisticados produtos industriais. O tirante é isolado da massa de concreto por um tubo plástico que o envolve e permite sua retirada após o endurecimento do concreto; os furos para passagem dos tirantes devem ser obturados com espessura mínima igual ao cobrimento adotado.

3.5.2.3 CARGAS ATUANTES

Cargas verticais As cargas verticais que incidem nas fôrmas são as cargas permanentes e as sobrecargas; as cargas permanentes são o peso próprio das fôrmas, o peso das armaduras e o peso do concreto fresco, e as sobrecargas incluem o peso dos equipamentos e materiais estocados, o peso dos operários e o impacto da movimentação das sobrecargas.

Pressão lateral do concreto fresco A pressão lateral do concreto fresco deve ser calculada em função das características do concreto, peso específico e fluidez, velocidade de lançamento e altura da massa de concreto; cuidados especiais devem ser tomados nas fôrmas dos pilares, onde o mais seguro é considerar toda a altura do pilar.

Cargas horizontais Fôrmas e escoramentos devem ser dimensionados e contraventados para resistir a solicitações do vento, lançamento do concreto, forças resultantes de apoios inclinados, protensão de cabos e movimentação e frenagem de equipamentos.

Fatores que afetam a pressão lateral do concreto O peso do concreto, com influência direta na pressão hidrostática, a vibração interna para adensamento do concreto, a temperatura do concreto por ocasião do lançamento e outras variáveis de menor importância afetam a pressão lateral do concreto e devem ser levadas em conta no dimensionamento das fôrmas. A revibração e a vibração externa, aceitas em certos tipos de construção, produzem solicitações superiores à vibração interna e tornam necessárias fôrmas especiais, reforçadas.

Remoção de fôrmas A remoção de fôrmas, desejável para permitir a execução de outras fases construtivas e possibilitar seu reaproveitamento, deve ser efetuada em bases absolutamente confiáveis. Fôrmas e escoramentos não devem ser removidos de vigas, lajes e paredes antes que estes elementos estruturais tenham adquirido resistência suficiente para suportar seu peso próprio e as sobrecargas permitidas nesta fase; além da resistência, um módulo de elasticidade mínimo deve ser atingido, para minimizar as deformações por fluência do concreto. Os prazos mínimos para retirada de fôrmas podem ser obtidos no ACI 347 e devem ser confrontados com a Norma ABNT NBR 6118:2007, adotando-se os prazos mais longos; os prazos sugeridos pelo ACI 347 são os seguintes: a) Paredes, colunas e faces de vigas: 12 horas; porém se estas fôrmas se referem a fôrmas de lajes ou fôrmas de fundos de vigas, a remoção deve ser governada por estas últimas. b) Fôrmas de fundo de vigas: • Vão livre entre apoios menor que 3,0 m e carga móvel estrutural menor que a carga permanente estrutural: 7 dias; se a carga móvel estrutural é maior que a carga permanente estrutural: 4 dias. • Vão livre entre apoios situados entre 3 m e 6 m e carga móvel estrutural menor que a carga permanente estrutural: 14 dias; se a carga móvel estrutural é maior que a carga permanente estrutural: 7dias. • Vão livre entre apoios maior que 6,0 m e carga móvel estrutural menor que a carga permanente estrutural: 10 dias; se a carga móvel estrutural é maior que a carga permanente estrutural: 7 dias.

Técnicas especiais de construção Algumas técnicas especiais de construção, às vezes mescladas com escoramentos, também especiais, são citadas a seguir.

Fôrmas deslizantes Nas fôrmas deslizantes o concreto plástico é colocado nas fôrmas que, por dispositivos apropriados, avançam, dando a conformação final à estrutura; as fôrmas deslizantes podem ser verticais, para colunas de grande altura, principalmente, ou horizontais, para canais. As fôrmas deslizantes por utilizar equipamentos específicos e por exigir o conhecimento de uma série de detalhes executivos, devem ser operadas por empresas especializadas. A movimentação das fôrmas é lenta, constante e dependente da consistência e resistência do concreto. Em virtude da movimentação das fôrmas deslizantes causar microfissuras no concreto, a espessura do cobrimento das armaduras deve ser acrescida de 2,5 cm.

Fôrmas trepantes Diferentemente das fôrmas deslizantes, que se movimentam constantemente, as fôrmas trepantes avançam aos saltos, em geral, em módulos de três metros. Em virtude de utilizar equipamentos especiais e mão-deobra especializada, as fôrmas trepantes somente devem ser operadas por empresas que tenham experiência comprovada na sua utilização. Não há necessidade de cobrimento adicional das armaduras.

Fôrmas auto-portantes As fôrmas auto-portantes são as que dispensam escoramentos; pouco usadas e somente para pequenos vãos, foram citadas e esquematizadas em uma edição do Beton-Kalender da década de 50 e utilizadas em algumas pontes brasileiras nas décadas de 60 e 70. Constam, essencialmente, de camadas de tábuas com a altura da peça a construir, cortadas de maneira a serem dispostas a 45º, superpostas, cruzadas e solidarizadas por pregos. Não é um tipo de fôrma confiável e sua utilização deve ser evitada.

Fôrmas de construção em avanços sucessivos As fôrmas de avanços sucessivos são associadas a treliças metálicas, macacos e tirantes e prestam-se à construção de pontes e viadutos rodoviários em avanços sucessivos; o conhecimento deste tipo de fôrmas está bastante difundido.

Fôrmas de construção em incrementos sucessivos As pontes de construção em incrementos sucessivos, “incremental launching”, são construídas a partir das extremidades, em comprimentos iguais à metade do comprimento dos vãos e que são empurrados para seu lugar definitivo. Podem ser construídas em grandes comprimentos, retas ou em curvas circulares. 6 Condicionantes ambientais Na hipótese, cada vez mais rara, de utilização de tábuas como fôrmas, somente devem ser utilizadas madeiras com aprovação para exploração. O material resultante da desforma deve ser removido do local e depositado em áreas previamente aprovadas para tal fim. Para minimizar as agressões ao meio ambiente é necessário o atendimento da Norma DNIT 070/2006 – PRO - Condicionantes ambientais das áreas de uso de obras – Procedimento e das prescrições resumidas, indicadas acima, assim como, das recomendações pertinentes constantes da subseção 5.1.2 do Manual para Atividades Ambientais Rodoviárias, do DNIT (IPR Publ. 730).

3.5.3 INSPEÇÕES

Controle dos insumos As tábuas corridas não devem apresentar nós em tamanhos prejudiciais e a madeira compensada deve ter comprovada resistência à água e à pressão do concreto.

Controle da execução Verificar cuidadosamente as dimensões, nivelamento, alinhamento e verticalidade das fôrmas, antes, durante e após a concretagem; não deve ser permitido ultrapassar a tolerância mencionada na seção 11 da ABNT NBR-6118:2007. O prazo mínimo para a desmoldagem é o previsto na ABNT NBR-6118:2007.

3.5.3.1 CONDIÇÕES DE CONFORMIDADE E NÃOCONFORMIDADE

Conformidade Devem ser consideradas conformes as fôrmas que atendam às condições estabelecidas nesta Norma.

Não-conformidade Devem ser rejeitadas as fôrmas que apresentarem defeitos que coloquem em risco a obra e não atendam às condições acima, as frágeis, as não estanques etc. 8 Critério de medição As fôrmas devem ser medidas por metro quadrado de superfície colocada, não cabendo medição em separado para escoras laterais, tirantes, travejamento e quaisquer outros serviços necessários, inclusive ao seu posicionamento.

3.5.4 DRENOS E PINGADEIRAS

Na Figura abaixo Seções Transversais, estão indicadas valetas de receptação de águas pluviais bem como diâmetros e espaçamentos de drenos; sendo adotada uma seção caixão ou com vazios internos, estanques, haverá necessidade de se colocar drenos nos pontos baixos.

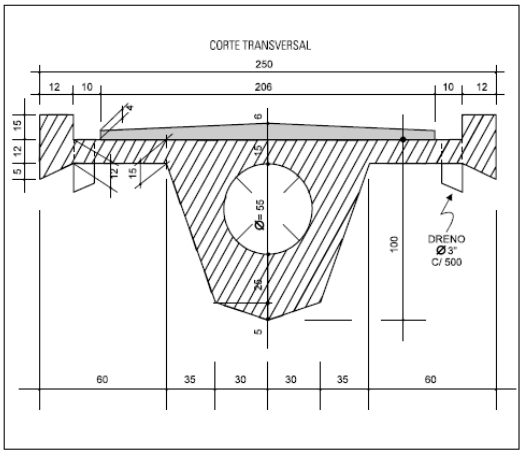


Figura 100 - SEÇÃO TRANSVERSAL E DETALHES

As pingadeiras, também indicadas na mesma Figura, devem ser efetivas e salientes, analogamente às demais obras-de-arte especiais; pingadeiras formadas através de recortes ou entalhes não funcionam e não devem ser usadas.

MEMORIAIS DE CÁLCULO ESTRUTURAL

4 MEMORIAIS DE CÁLCULO ESTRUTURAL

OAE – Ponte Classe 45 / item 3.5 DA NBR 7188/24

Materiais

Aço Comum: CA – 50 A fyk = 500 Mpa

Estaca Pré-Moldada 30x30cm

Concreto:	Lastro de Regularização	fck = 15 MPa
	Bloco Fundação	fck = 30 Mpa
	Cortina	fck = 30 Mpa
	Viga Longarina Pré-Moldada	fck = 40 Mpa
	Laje Tabuleiro	fck = 30 MPa
	Defensas	fck = 25 MPa
	Parede de Fechamento, Alas e Cortina	fck = 30 MPa

Bibliografia

NBR 6118, NBR 7187, NBR 7188, NBR 7197.

Fundamentos Da Técnica De Armar - P. B. Fusco.

Técnicas De Armar As Estruturas De Concreto - Péricles B. Fusco.

4.1 INTRODUÇÃO

Este relatório tem por objetivo apresentar os critérios, especificações técnicas e dimensionamentos correspondentes ao projeto executivo da Superestrutura da OAE (Obra de Arte Especial).

Inicialmente montamos todos os elementos estruturais da obra em questão em um modelo tridimensional. Aplicamos todos os esforços preconizados em Norma, sobre laje, viga e travessas, atuando simultaneamente com seus respectivos coeficientes de ponderação nas Combinações usualmente utilizadas para esse tipo de estrutura, onde ocorrem esforços longitudinais e transversais, a saber:

São feitos os levantamentos de todos os carregamentos atuantes sobre a OAE com os respectivos coeficientes de ponderação conforme preconiza a NBR-7187, NBR-7188 e NBR-6118.

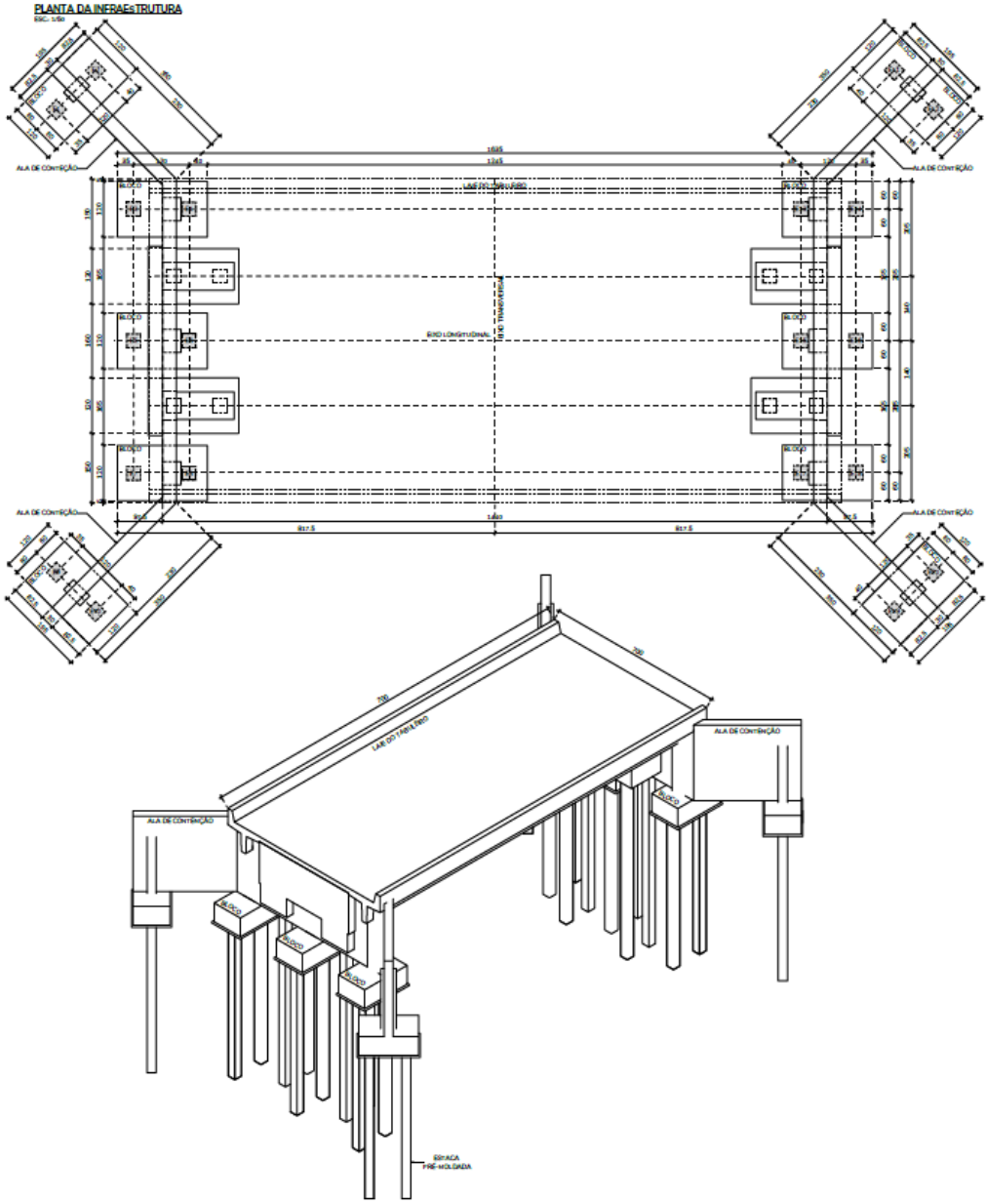
Confrontamos o resultado mais crítico de cada combinação com a capacidade resistente dos elementos estruturais aos quais são expostos e verificamos se ambos armados conforme desenho, atendem as hipóteses.

O mesmo procedimento foi adotado com a estrutura, aonde foi considerada uma envoltória de esforços devidos às cargas móveis.

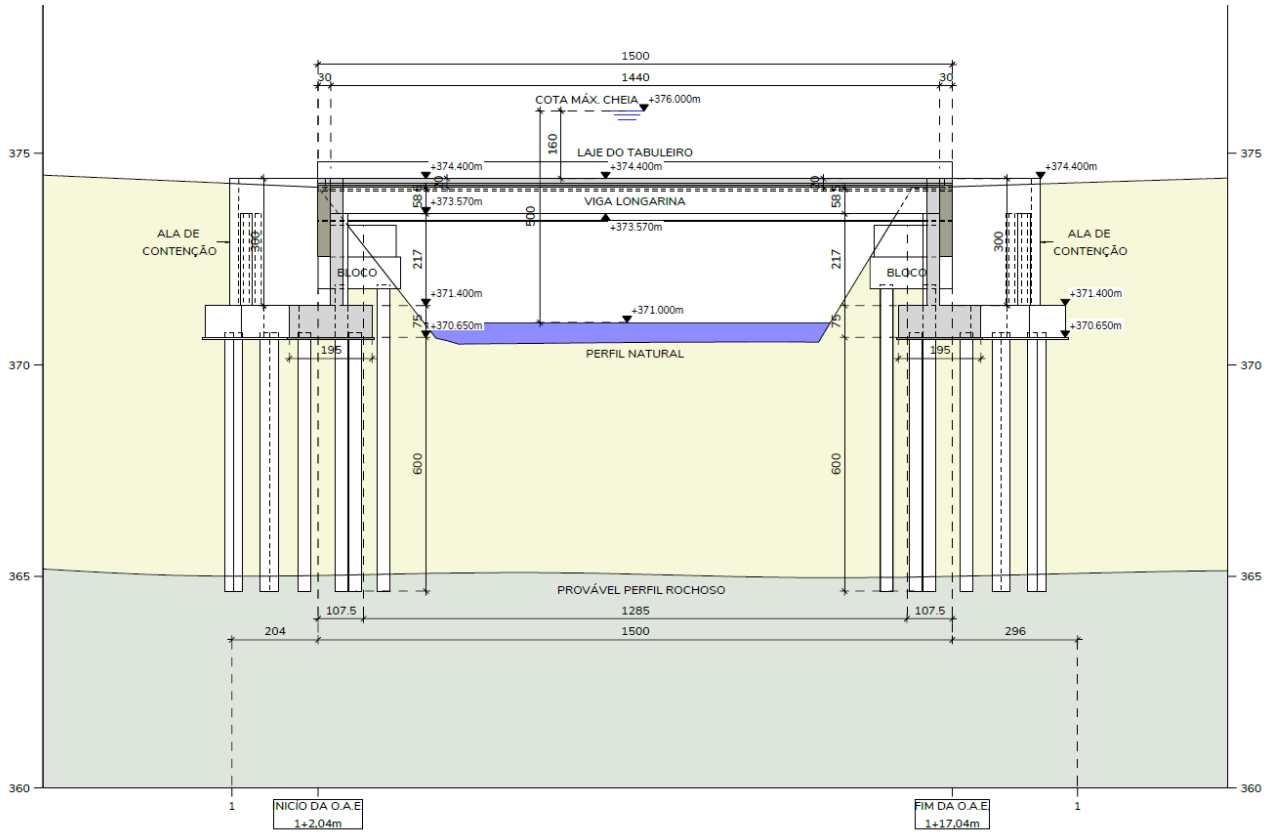
Sendo assim, consideramos que as armaduras indicadas, concretos e geometria, atendem ao dimensionamento nas piores hipóteses, na fase construtiva e ao longo de sua vida útil.

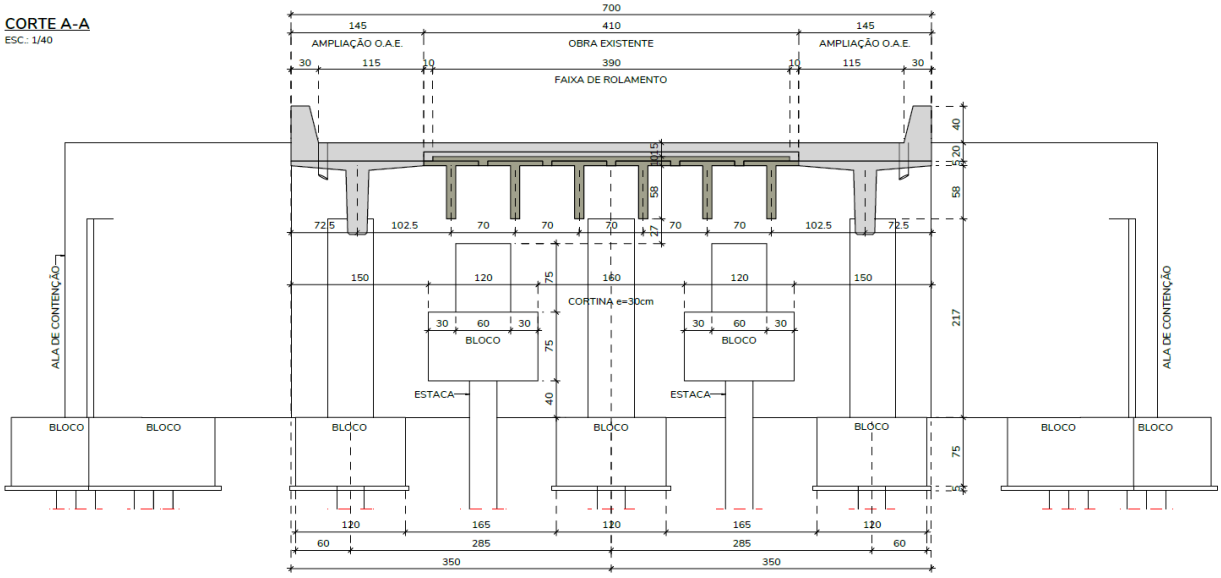
Utilizamos para o processamento da estrutura o programa: Software MIDAS Information Technology Co. Ltd – Versão 2025 (v2.2 Advanced).

4.2 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

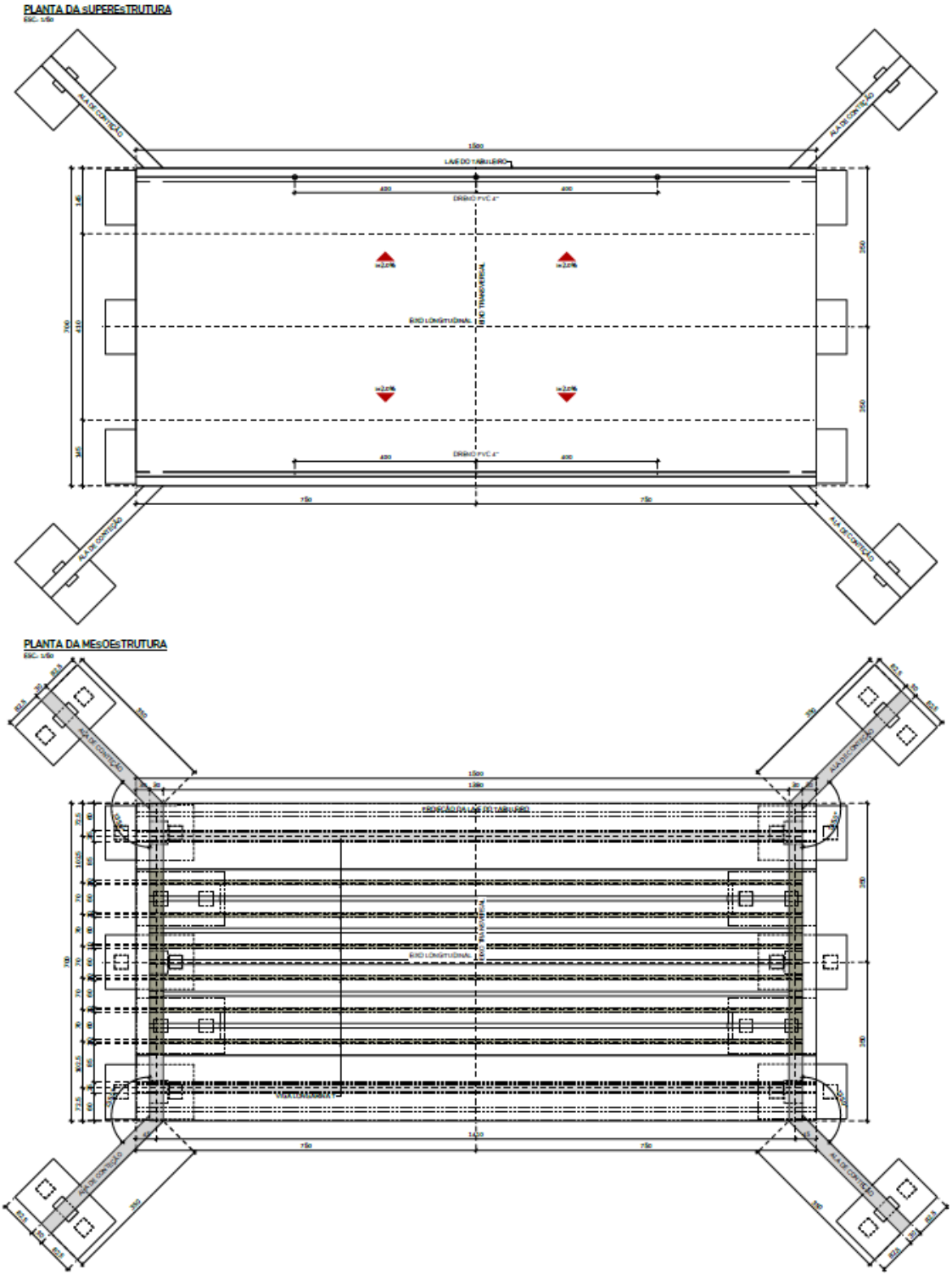


4.2.1 CORTE LONGITUDINAL E DETALHES





4.2.2 PLANTA SUPERIOR



4.3 PROGRAMA DE CÁLCULO

Discretização da estrutura para o modelo de cálculo;

A estrutura foi discretizada em elementos de barras e elementos compondo um modelo estrutural em grelha plana, também podendo ser visualizado em 3 dimensões. Este modelo foi gerado para

determinação dos esforços nos elementos estruturais vigas, travessas e lajes. Utilizamos o programa de cálculo **MIDAS versão 2025** (Structural Analysis Program).

O software análise estrutural, MIDAS, é um conjunto de programas destinados a geração da geometria do modelo, composição de cargas e verificação de resultados e análise estrutural.

As etapas de análise de um modelo são:

1- Geração da geometria, características das propriedades mecânicas das barras e restrições de apoio;

2- Discretização dos carregamentos da estrutura, tais como: peso próprio, sobrecargas, cargas móveis, vento, etc.;

3 - Cálculos do modelo;

4 - Verificações dos resultados.

4.3.1 UNIDADES UTILIZADAS

$Força - tf$

$Mola - tf/m$

$Momento\ fletor - tf \times m$

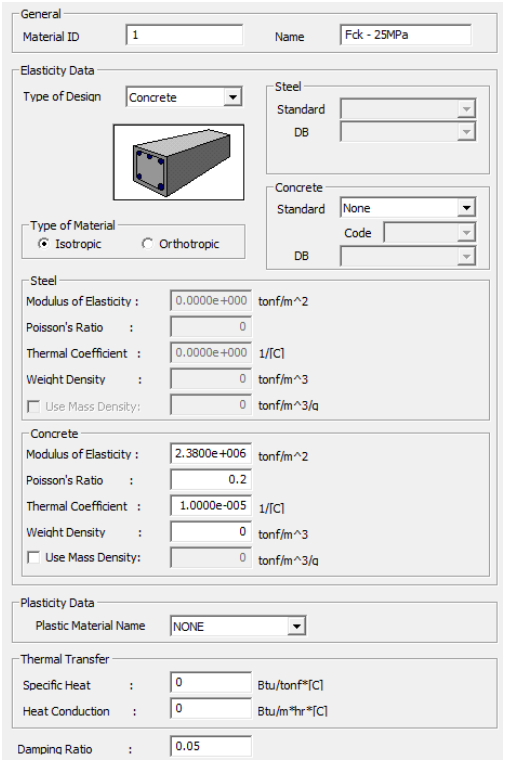
$Cortante - tf$

$Deslocamento\ - mm$

$Momento\ torsor - tf \times m$

4.4 MATERIAIS E PROPRIEDADES

4.4.1.1 CONCRETO GUARDA RODAS – FCK = 25MPA



Concreto classe C25:(item 8.2.10.1 da NBR-6118 – fig. 8.2).

Classe do concreto (MPa):	25
Coef. minoração da resitência do concreto:	1.4

$$\sigma_c = 0{,}85\frac{f_{ck}}{\gamma_c}\left[1-\left(1-\frac{\varepsilon_c}{0{,}002}\right)^2\right]$$

ε_c	σ_c (MPa)
0.0000	0.00
0.0002	2.88
0.0004	5.46
0.0006	7.74
0.0008	9.71
0.0010	11.38
0.0012	12.75
0.0014	13.81
0.0016	14.57
0.0018	15.03
0.0020	15.18
0.0035	15.18

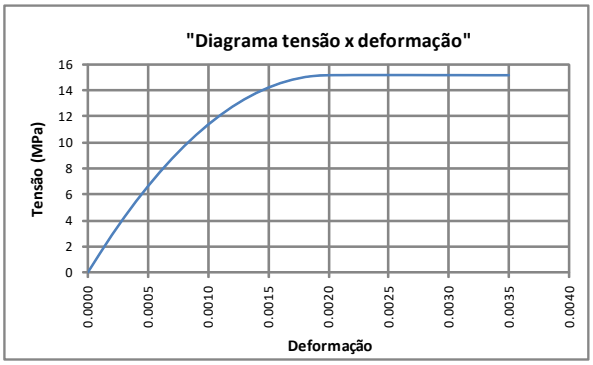
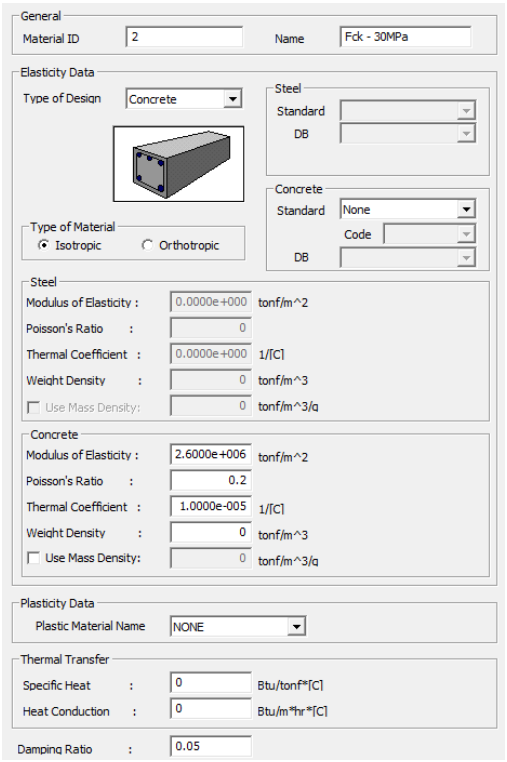


Diagrama conforme item 8.2.10.1 da NBR-6118

Módulo de elasticidade secante (item 8.2.8 da NBR-6118):	23800 MPa
Peso específico (item 8.2.2 da NBR-6118):	2500 kgf/m³
Coeficiente de Poisson (item 8.2.9 da NBR-6118):	0.2

4.4.1.2 CONCRETO LAJE TABULEIRO E TRANSVERSINA – FCK = 30MPA



Concreto classe C30:(item 8.2.10.1 da NBR-6118 – fig. 8.2).

Classe do concreto (MPa):	30
Coef. minoração da resitência do concreto:	1.4

$$\sigma_c = 0{,}85\frac{f_{ck}}{\gamma_c}\left[1-\left(1-\frac{\varepsilon_c}{0{,}002}\right)^2\right]$$

ε_c	σ_c (MPa)
0.0000	0.00
0.0002	3.46
0.0004	6.56
0.0006	9.29
0.0008	11.66
0.0010	13.66
0.0012	15.30
0.0014	16.58
0.0016	17.49
0.0018	18.03
0.0020	18.21
0.0035	18.21

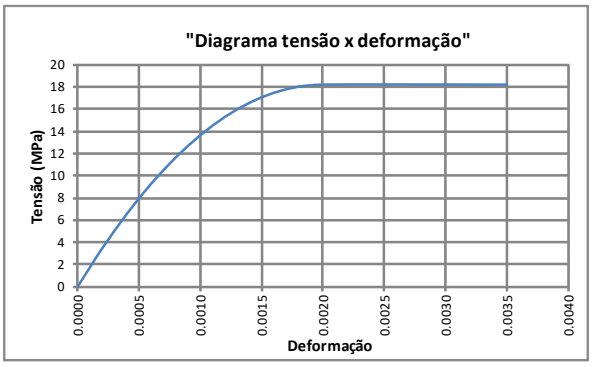


Diagrama conforme item 8.2.10.1 da NBR-6118

Módulo de elasticidade secante (item 8.2.8 da NBR-6118):	26072 MPa
Peso específico (item 8.2.2 da NBR-6118):	2500 kgf/m³
Coeficiente de Poisson (item 8.2.9 da NBR-6118):	0.2

4.4.1.3 AÇO DE ARMADURA PASSIVA: CA-50 (ITEM 8.3.6 DA NBR-6118 – FIG. 8.4)

Tensão de escoamento da arm. passiva (MPa):	500
Coef. minoração da resitência do aço:	1.15

$$\sigma_s = E \cdot \varepsilon \ (para\ 0 < a < \frac{f_{yk}/\gamma_s}{E})$$

$$\sigma_s = f_{yk}/\gamma_s \ (para\ \frac{f_{yk}/\gamma_s}{E} < \varepsilon < 0{,}01)$$

ε_c	σ_s (MPa)
0.00000	0
0.00207	435
0.01000	435

Diagrama conforme item 8.4.5 da NBR-6118

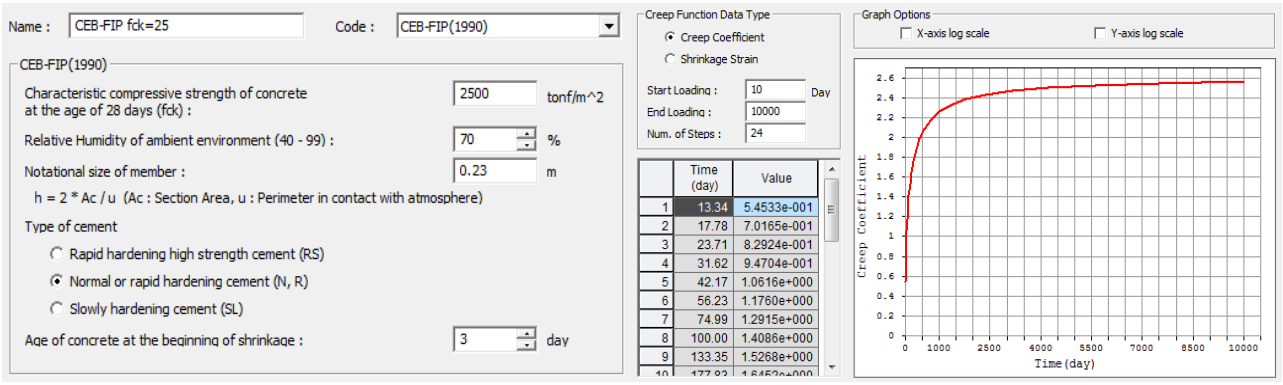
Módulo de elasticidade (item 8.3.5 da NBR-6118): 210000 MPa

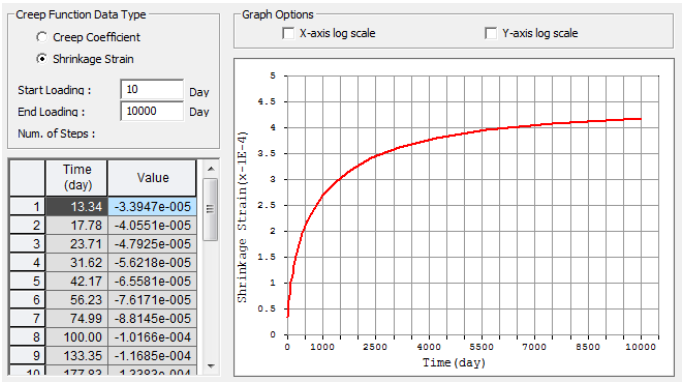
4.4.2 FLUÊNCIA, RETRAÇÃO DOS MATERIAIS

O programa Midas considera os efeitos de fluência, retração e avanço do módulo de elasticidade ao longo do tempo.

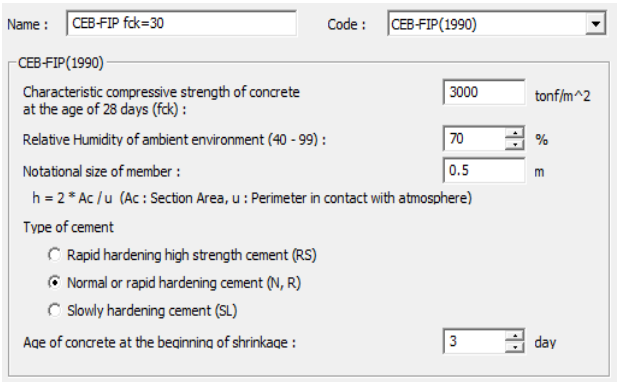
Para a retração e fluência utilizaremos a formulação do CEB (creep = fluência / shrinkage = retração).

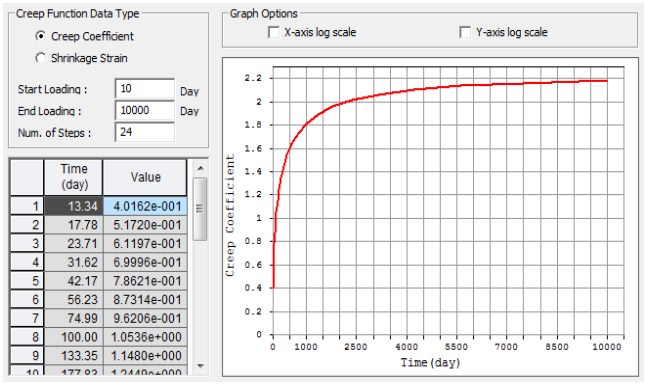
4.4.2.1 CONCRETO - FCK = 25MPA

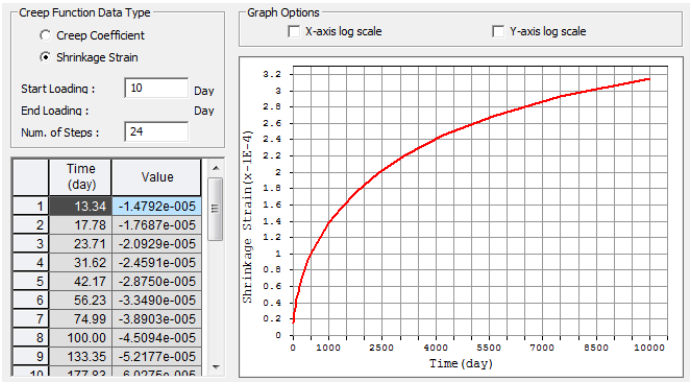




4.4.2.2 CONCRETO - FCK = 30MPA

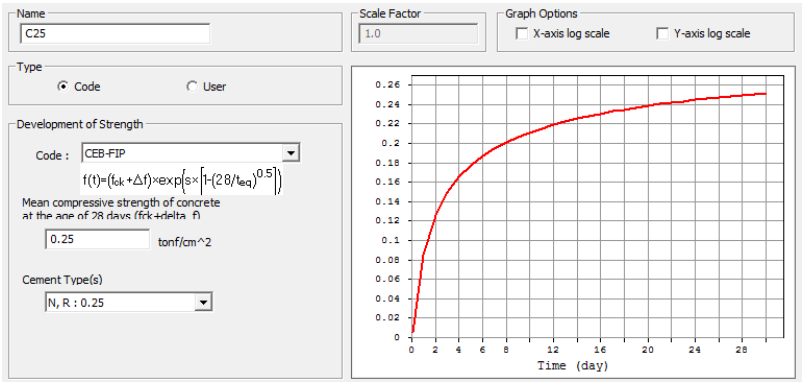




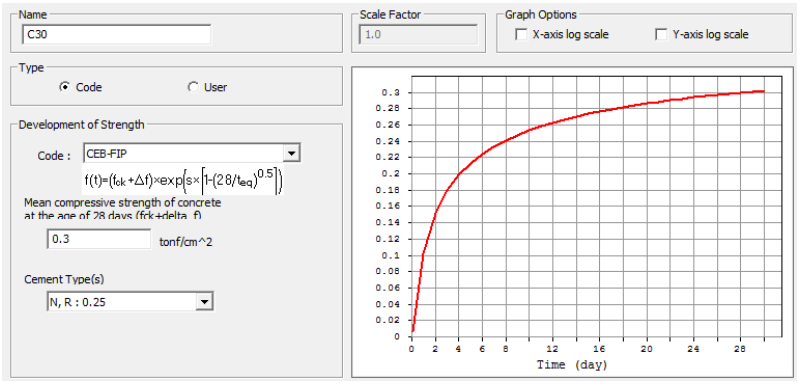


4.4.3 MODULO DE ELASTICIDA

4.4.3.1 CONCRETO - FCK = 25MPA



4.4.3.2 CONCRETO - FCK = 30MPA



4.5 CARREGAMENTOS DA SUPERESTRUTURA

4.5.1 CARREGAMENTOS PERMANENTES

Para obter estes valores, adotou-se:

Peso próprio do Longarinas: $p = A_{seção} \cdot \gamma_c$, onde:

$A_{seção}$: área da seçã;

$\gamma_c = 2{,}5\ tf/m^3$: peso específico do concreto.

4.5.1.1 PAVIMENTO E OUTROS (G3)

g3$_{pavimento}$= $0{,}050 \times 2{,}4 =$ $\mathbf{0{,}120\ tf/m^2}$

g3$_{garda\ rodas}$ = $0{,}0275 \times 2{,}5 =$ $\mathbf{0{,}069\ tf/m}$

g3$_{recapa}$: Será calculado, conforme NBR-07187/2003, item 7.1.2. $\mathbf{0{,}200 tf/m^2}$

4.5.2 CARREGAMENTOS MÓVEIS VÃO

4.5.2.1 COEFICIENTE DE IMPACTO VERTICAL

$CIV = 1{,}35, para\ estruturas\ com\ vão\ menor\ do\ que\ 10{,}00m;$

$CIV = 1 + 1{,}06 \times \left(\frac{20}{Liv + 50}\right), Para\ estruturas\ com\ vão\ entre\ 10{,}00m\ e\ 200{,}00m$

$Liv =$ é o vão em metros para o cálculo CIV, conforme NBR 7188/2013, item 5.1.2.1.

$$CIV = 1 + 1{,}06 \times \left(\frac{20}{15{,}00 + 50}\right) = 1{,}35$$

4.5.2.2 COEFICIENTE NÚMERO DE FAIXAS

$CNF = 1 - 0{,}05 \times (n - 2) > 0{,}9$

$n = \text{É}\ o\ número\ inteiro\ de\ daixas\ de\ trafego.$

$CNF = 1 - 0{,}05 \times (1 - 2) > 0{,}90$

$CNF = 1{,}05 > 0{,}90$

4.5.2.3 MULTIDÃO (Q)

Para obter estes valores, adotou-se:

Carregamento devido multidão: $q_m = L_{lc} \cdot q \cdot CIV \cdot CNF$, onde:

$L_{lc} = 3{,}00m$: largura da linha de influência;

$q = 0{,}5\ tf/m^2$: carga de multidão;

$q_m = 3{,}00m \times 0{,}5\ tf/m^2 \times 1{,}35 \times 1 = 2{,}025\ tf/m.$

4.5.2.4 VEÍCULO: TB-45

Carregamento devido TB-45: $Q_{TB} = n_{TB} \cdot Q_{eixo} \cdot CIV \cdot CNF$, onde:

$n_{TB} = 2$: número de trens-tipo (a favor da segurança, admitiu-se a possibilidade de que haja um trem-tipo em cada linha de influência);

Será desconsiderada a carga da multidão sobre o veículo.

$TB45 = 45tf$

$Veiculo = 3{,}00 \times 6{,}00 = 18{,}00m^2$

$Multidão = 0{,}500tf/m^2$

$0{,}500tf/m^2 \times 18{,}00m^2 = 9{,}00tf$

$p = 45ton - 9{,}00ton = 36{,}00tf$

$$Q_{eixo} = \frac{36{,}00tf}{3\ eixos} = 12tf$$

$Q_{eixo} = 12tf$: peso do eixo do trem-tipo;

$Q_{TB} = 12tf \times 1{,}35 \times 1 = 16{,}20\ tf/m$

4.5.3 ESFORÇOS HORIZONTAIS

4.5.4 VARIAÇÃO DE TEMPERATURA

Força longitudinal devido à variação de temperatura nas barras:

$\Delta T = \pm 10ºC\ conforme\ item\ 11.4.2.1\ b\ da\ NBR\ 6118.$

$Coeficiente\ de\ dilatação\ térmica: \alpha = 10^{-5} m/m.ºC$

Enquanto o gradiente de temperatura entre topo e fundo da Laje é de $\Delta T = 5ºC$

4.5.5 RETRAÇÃO + FLUÊNCIA DO CONCRETO

Consideramos a retração e fluência do concreto calculada automaticamente pelo programa, de acordo com os parâmetros apresentados no item 4.4.

4.6 COMBINAÇOES DE CÁLCULO

4.6.1 COEFICIENTE DE AÇÃO DAS AÇÕES

Tabela 11.1 – Coeficiente $\gamma_f = \gamma_{f1} \cdot \gamma_{f3}$

Combinações de ações	Ações							
	Permanentes (*g*)		Variáveis (*q*)		Protensão (*p*)		Recalques de apoio e retração	
	D	*F*	*G*	*T*	*D*	*F*	*D*	*F*
Normais	1,4 [a]	1,0	1,4	1,2	1,2	0,9	1,2	0
Especiais ou de construção	1,3	1,0	1,2	1,0	1,2	0,9	1,2	0
Excepcionais	1,2	1,0	1,0	0	1,2	0,9	0	0

onde

D é desfavorável, *F* é favorável, *G* representa as cargas variáveis em geral e *T* é a temperatura.

[a] Para as cargas permanentes de pequena variabilidade, como o peso próprio das estruturas, especialmente as pré-moldadas, esse coeficiente pode ser reduzido para 1,3.

Tabela 11.2 – Valores do coeficiente γ_{f2}

Ações		γ_{f2}		
		ψ_0	ψ_1 [a]	ψ_2
Cargas acidentais de edifícios	Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas [b]	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevada concentração de pessoas [c]	0,7	0,6	0,4
	Biblioteca, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3

[a] Para os valores de ψ_1 relativos às pontes e principalmente para os problemas de fadiga, ver Seção 23.
[b] Edifícios residenciais.
[c] Edifícios comerciais, de escritórios, estações e edifícios públicos.

4.6.2 COMBINAÇÕES ELS

Combinações de Estado Limite de Serviço.

Tabela 11.4 – Combinações de serviço

Combinações de serviço (ELS)	Descrição	Cálculo das solicitações
Combinações quase permanentes de serviço (CQP)	Nas combinações quase permanentes de serviço, todas as ações variáveis são consideradas com seus valores quase permanentes $\psi_2 F_{qk}$	$F_{d,ser} = \Sigma F_{gi,k} + \Sigma \psi_{2j} F_{qj,k}$
Combinações frequentes de serviço (CF)	Nas combinações frequentes de serviço, a ação variável principal F_{q1} é tomada com seu valor frequente $\psi_1 F_{q1k}$ e todas as demais ações variáveis são tomadas com seus valores quase permanentes $\psi_2 F_{qk}$	$F_{d,ser} = \Sigma F_{gik} + \psi_1 F_{q1k} + \Sigma \psi_{2j} F_{qjk}$
Combinações raras de serviço (CR)	Nas combinações raras de serviço, a ação variável principal F_{q1} é tomada com seu valor característico F_{q1k} e todas as demais ações são tomadas com seus valores frequentes $\psi_1 F_{qk}$	$F_{d,ser} = \Sigma F_{gik} + F_{q1k} + \Sigma \psi_{1j} F_{qjk}$

onde

$F_{d,ser}$ é o valor de cálculo das ações para combinações de serviço;

F_{q1k} é o valor característico das ações variáveis principais diretas;

ψ_1 é o fator de redução de combinação frequente para ELS;

ψ_2 é o fator de redução de combinação quase permanente para ELS.

4.6.3 COMBINAÇÕES ELU

Combinações de Estado Limite de Último.

Tabela 11.3 – Combinações últimas

Combinações últimas (ELU)	**Descrição**	**Cálculo das solicitações**
Normais	Esgotamento da capacidade resistente para elementos estruturais de concreto armado [a]	$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{\varepsilon g} F_{\varepsilon gk} + \gamma_q \left(F_{q1k} + \Sigma \psi_{0j} F_{qjk}\right) + \gamma_{\varepsilon q} \psi_{0\varepsilon} F_{\varepsilon qk}$
	Esgotamento da capacidade resistente para elementos estruturais de concreto protendido	Deve ser considerada, quando necessário, a força de protensão como carregamento externo com os valores $P_{kmáx}$ e $P_{kmín}$ para a força desfavorável e favorável, respectivamente, conforme definido na Seção 9
	Perda do equilíbrio como corpo rígido	$S(F_{sd}) \geq S(F_{nd})$ $F_{sd} = \gamma_{gs} G_{sk} + R_d$ $F_{nd} = \gamma_{gn} G_{nk} + \gamma_q Q_{nk} - \gamma_{qs} Q_{s,\,min}$, onde: $Q_{nk} = Q_{1k} + \Sigma \psi_{0j} Q_{jk}$
Especiais ou de construção [b]	$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{\varepsilon g} F_{\varepsilon gk} + \gamma_q \left(F_{q1k} + \Sigma \psi_{0j} F_{qjk}\right) + \gamma_{\varepsilon q} \psi_{0\varepsilon} F_{\varepsilon qk}$	
Excepcionais [b]	$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{\varepsilon g} F_{\varepsilon gk} + F_{q1exc} + \gamma_q \Sigma \psi_{0j} F_{qjk} + \gamma_{\varepsilon q} \psi_{0\varepsilon} F_{\varepsilon qk}$	

onde

F_d	é o valor de cálculo das ações para combinação última;
F_{gk}	representa as ações permanentes diretas;
$F_{\varepsilon k}$	representa as ações indiretas permanentes como a retração $F_{\varepsilon gk}$ e variáveis como a temperatura $F_{\varepsilon qk}$;
F_{qk}	representa as ações variáveis diretas das quais F_{q1k} é escolhida principal;