

MANUAL DE BOAS PRÁTICAS

MONTAGEM DAS ARMADURAS DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

*Jorge Nakajima
Larissa Arakawa Martins
Maurício Silveira Martins*

Realização



Apoio



MANUAL DE BOAS PRÁTICAS

MONTAGEM DAS ARMADURAS DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Volume Único

Jorge Nakajima

Larissa Arakawa Martins

Maurício Silveira Martins

Realização



Apoio



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Nakajima, Jorge

Manual de boas práticas : montagem das armaduras
de estruturas de concreto armado : volume único /
Jorge Nakajima, Larissa Arakawa Martins, Maurício
Silveira Martins. -- São Paulo : Ed. dos Autores,
2025. -- (Manual de boas práticas)

Bibliografia.

ISBN 978-65-01-11308-1

1. Concreto armado 2. Engenharia civil (Estruturas)
3. Estruturas de concreto I. Martins, Larissa Arakawa. II.
Martins, Maurício Silveira. III. Título.
IV. Série.

25-258741

CDD-624.1834

Índices para catálogo sistemático:

1. Estruturas de concreto armado : Engenharia civil 624.1834

Eliete Marques da Silva - Bibliotecária - CRB-8/9380

Copyright © 2025 França e Associados Projetos Estruturais

Todos os direitos reservados. Este trabalho - ou qualquer parte dele - não
pode ser reproduzido ou usado sem autorização expressa, por escrito, do
autor ou do editor.

PREFÁCIO

Antonio Carlos Zorzi

Consultor em Engenharia

Ex-Diretor Corporativo de Engenharia da Cyrela Brazil Realty

Em 2002, na defesa de minha dissertação de mestrado, cujo tema foi “Sistemas de fôrmas para estruturas de concreto”, fazia parte da banca examinadora o Dr. Ricardo França, diretor do escritório França e Associados, onde trabalha o engenheiro Jorge Nakajima, mais conhecido pelo apelido Satoro.

Finalizadas suas perguntas durante a banca, o engenheiro França fez um comentário sobre eu dar continuidade a minhas pesquisas e trabalhar em uma tese de doutorado abordando os cuidados na montagem das armaduras. França destacou a importância do tema, as frequentes falhas detectadas em obras e a escassez de bibliografia.

Apesar da importância e atratividade do assunto, não dei continuidade à realização da sugestão devido ao significativo aumento do volume de trabalho na Cyrela, como também por eu não possuir suficiente conhecimento dos conceitos de cálculo estrutural, condição que considero fundamental para a realização de um bom trabalho sobre armaduras.

Passados 18 anos, recebo um e-mail do Satoro me convidando para escrever um dos prefácios deste manual, convite este que me deixou profundamente honrado e orgulhoso.

Satoro nos apresenta o *Manual de Boas Práticas - Montagem das Armaduras de Estruturas de Concreto Armado*, vindo contribuir de maneira brilhante no preenchimento da lacuna de conhecimento existente no projeto, na execução e no controle de estruturas de concreto armado.

Pude acompanhar algumas das visitas de Satoro em obras da Cyrela. Um dos cuidados dele era saber se o detalhamento dos projetos de armaduras, além de obviamente atender às recomendações técnicas normativas, também atendia às necessidades efetivas dos usuários nos canteiros de obras. Isso permitiu compreender as reais dificuldades no campo e otimizar o detalhamento e as soluções nos projetos.

Outro cuidado de Satoro em suas visitas foi se atentar a falhas de montagem usualmente encontradas nos canteiros, orientando e treinando os profissionais envolvidos para que entendessem “o porquê das coisas”. Com isso, conseguiu destacar com as equipes de campo os principais conceitos para o bom desempenho das armaduras nas estruturas de concreto, otimizando a conexão entre projeto e montagem.

Esta associação entre projetar, acompanhar pontualmente a execução, retroalimentar melhorias no detalhamento em projeto, detectar falhas de montagem no campo e treinar/orientar as equipes de montagem permitiu ao Satoro consolidar seu conhecimento neste *Manual de Boas Práticas*.

Com impressionante riqueza visual nas figuras apresentadas, este Manual aborda aspectos fundamentais da correta montagem das armaduras de pilares, vigas e lajes. De sobra, em capítulo específico, ainda discorre sobre a durabilidade dessas armaduras.

Jorge Nakajima, nosso querido Satoro, é engenheiro civil formado pela FESP e com especialização em Gestão de Projetos de Sistemas Estruturais pelo PECE-POLI-USP. Desde 2001 atua no escritório de projetos estruturais França e Associados.

Na editoração e na parte visual do Manual, cumpre destacar a fundamental participação de Larissa Arakawa Martins. Larissa tem dupla formação – é arquiteta e engenheira civil – pela FAU-USP e pela UMC, respectivamente, é Doutora em Arquitetura pela University of Adelaide, Austrália, e também integra a equipe do escritório de projetos.

No apoio geral à iniciativa e na colaboração sobre os temas de durabilidade das estruturas, destaca-se também o envolvimento de Maurício Silveira Martins. Maurício é engenheiro civil formado pela UFRGS, especialista em Projetos e Estruturas de Concreto Armado pela mesma instituição e Mestre em Habitação - Sistemas Construtivos pelo IPT; e hoje faz parte do time de Marketing Construção Civil da Gerdau.

As riquíssimas recomendações constantes deste Manual certamente contribuirão para o aperfeiçoamento técnico do setor e se tornam consulta obrigatória para engenheiros de produção, projetistas estruturais, professores, gerenciadores, peritos e estudantes.

PREFÁCIO

Jorge Batlouni Neto

*Diretor da Tecnum Construtora
Vice-presidente do SindusCon-SP*

Os primeiros projetos de estruturas que o escritório França & Associados projetou para nós datam de meados da década de 1990. De lá para cá, uma parceria muito rica foi desenvolvida nos inúmeros edifícios por eles projetados. Sem dúvida, a qualidade dos projetos, da concepção ao detalhamento, tem sido um fator muito importante.

Este livro, fruto da experiência dos autores Jorge Nakajima, Larissa Arakawa Martins e Maurício Silveira Martins, e da tradição do escritório França e Associados Projetos Estruturais e da Gerdau, onde trabalham, traz conceitos que foram sendo desenvolvidos e aprimorados no decorrer do tempo.

Este trabalho aborda, de forma muito didática, o detalhamento das armaduras de um conjunto de peças estruturais que nem sempre recebem a devida importância nos cursos de Engenharia. São os blocos de coroamento das fundações, caixas d'água, piscinas e escadas. Ele apresenta o correto posicionamento das armaduras, levando em conta a atuação dos esforços e as dificuldades de execução nos canteiros de obra.

Os detalhes apresentados em todo o livro têm como objetivo indicar a forma de se posicionar dos vergalhões de aço. O posicionamento preciso das armaduras é fundamental para que a estrutura tenha seu comportamento em uso da maneira como o projetista da estrutura a concebeu, resistindo aos esforços que atuarão nas peças da estrutura e garantindo que o desempenho seja atendido, inclusive quanto à durabilidade. Além disso, em vários momentos, os autores apresentam a sequência mais adequada de montagem para que o armador, nas condições da obra, tenha sempre acesso aos trechos do elemento estrutural, mesmo àqueles que possuem densidade elevada de armadura. Essa preocupação com a exequibilidade (construtibilidade), da forma como é apresentada, é inédita na literatura da engenharia civil, visando minimizar as dificuldades de execução que são enfrentadas nos canteiros de obra.

Assim, na primeira parte do livro, os autores tratam do detalhamento dos elementos de fundação, muito importantes na transmissão dos esforços da estrutura às fundações. O detalhamento completo da armadura desses elementos e da sua execução apurada é fundamental, pois são peças enterradas, o que torna muito difícil o acesso a futuras inspeções, manutenções ou correções. Por isso, o custo para uma eventual intervenção se torna muito elevado. Deve-se ressaltar, ainda, que a execução desses elementos de fundação pode ocorrer em condições adversas, como, por exemplo, chuvas intensas e interferências do lençol freático, o que exige um projeto executivo que permita uma condição favorável de trabalho.

Um dos grandes diferenciais desta obra é a forma gráfica, com figuras tridimensionais, utilizando-se de cores diferentes para as muitas posições da armadura, o que facilita muito o entendimento dos detalhes e permite ao leitor prever as possíveis interferências. Ressalta-se a importância da correta posição dos espaçadores, representados nos desenhos de forma muito clara. Deve-se salientar, também, o cuidado na escolha dos ângulos favoráveis na apresentação das imagens tridimensionais, que facilitam muito a compreensão. Isso só foi possível com o avanço dos softwares de computação gráfica, de cálculo e desenho, e da ferramenta BIM (Building Information Modeling).

Com todas essas informações, o engenheiro que está atuando no campo poderá aperfeiçoar a montagem das armaduras, aplicando os conceitos apresentados neste livro, reproduzindo a sequência proposta de montagem dos vergalhões de aço.

O formato escolhido pelos autores, ou seja, um Manual de boas práticas, é uma ferramenta poderosa para aproximar a teoria da Engenharia Civil com a prática da sua execução. Este trabalho, inédito na engenharia das estruturas de concreto brasileira, vai auxiliar tanto os engenheiros projetistas de estruturas no detalhamento dos seus projetos quanto os engenheiros residentes nas obras, nas montagens e nas inspeções da qualidade das armações montadas, tornando-se um guia de consulta recorrente, fazendo com que os conceitos possam ser absorvidos para sempre.

Que novos manuais de boas práticas sejam produzidos, com a qualidade deste livro, para aprimorar a Engenharia Civil do nosso país.

APRESENTAÇÃO

Por **Ricardo Leopoldo e Silva França**

Sócio-diretor da França e Associados Projetos Estruturais



Desde a criação da França e Associados, há mais de 40 anos, procurei fazer uma ponte entre as preocupações que tinha como professor de estruturas da EPUSP e a criação de um projeto estrutural inovador. Projeto este em que se buscava uma boa solução estrutural adequada ao partido arquitetônico e com construtibilidade e custos otimizados.

Ao longo dos anos, a equipe do escritório foi aumentando, com a contratação, preferencialmente, de colaboradores que estivessem nas etapas iniciais de suas carreiras, como estagiários. Graças a indicações de colegas de profissão que lecionavam em diferentes faculdades, montamos uma equipe de profissionais que, mesmo depois de formados, nunca deixaram de ser estudantes empenhados e com grande interesse em trabalhar em estruturas.

Além disso, nossa política sempre foi incentivar a formação contínua através de cursos de aperfeiçoamento, mestrados e doutorados. Com isso houve um crescimento significativo da abrangência de nosso conhecimento nas várias áreas do projeto estrutural. Buscamos fazer uma divisão de estudos para que pudéssemos abranger várias áreas do conhecimento crescente da engenharia estrutural. Esses estudos e trabalhos paralelos à atividade de projeto geraram vários projetos de pesquisa, participações em revisão de normas brasileiras e internacionais na área de estruturas e palestras em diversos eventos.

Por meio desse rico ambiente de aperfeiçoamento e aprendizado, temos, hoje, especialistas em:

- Concepção estrutural;
- Novos processos construtivos, peças pré-moldadas, edifícios em paredes estruturais e outros;
- Protensão aderente e não aderente;
- Estruturas esbeltas;
- Dinâmica das estruturas;
- Análise dos efeitos do vento em edifícios;

- Segurança das estruturas ao fogo;
- Confiabilidade;
- Soluções estruturais visando a sustentabilidade;
- Conceito de Biela-Tirante para detalhamento de ligações estruturais e peças especiais;
- BIM (Building Information Modelling) em estruturas;
- Softwares para cálculo estrutural, como o TQS;
- Rotinas para cálculo estrutural em outros programas; e
- Construtibilidade e interação com as equipes de obra, visando maior eficiência no processo construtivo e maior clareza de nossos desenhos.

Nesse último tema, destacou-se o Eng. Jorge Nakajima. Por meio de seu trabalho e o de sua equipe, a produção de todos os desenhos de armação dos edifícios projetados em nosso escritório é organizada seguindo a Metodologia de Lean Construction, com muito sucesso. Ele e sua equipe cuidam, além da produção e validação desses desenhos, do estudo aprofundado do software da TQS.

Além disso, acompanham, em várias obras, os trabalhos dos carpinteiros de fôrmas e dos armadores, buscando interagir para detectar dificuldades, propor melhorias e retroalimentar nossos processos de projeto estrutural. A série de materiais Boas Práticas se desenvolveu, assim, como fruto de todas essas atividades e experiências.

Vale ressaltar que a metodologia BIM (Building Information Modeling - Modelagem da Informação da Construção) é usada hoje, em nosso escritório, na parte da fôrma (formato) das peças estruturais, lajes, vigas, pilares, escadas e detalhes especiais. Os Manuais de Boas Práticas, assim, dão passos importantes tanto na facilitação do entendimento da montagem das armaduras quanto na criação de futuras implementações do BIM para o projeto de armaduras de estruturas em concreto armado.

A colaboração da Larissa Arakawa Martins, arquiteta e engenheira, no trabalho da elaboração dos portfólios do escritório, assim como em toda nossa comunicação em diferentes mídias, tem sido muito rica e eficiente; e, com o Eng. Jorge, produziu este valioso material que você tem em mãos agora.

Em nome de todos os colaboradores da França e Associados Projetos Estruturais, agradeço este esplêndido trabalho elaborado pelo Eng. Jorge Nakajima e pela Arq./Eng. Larissa A. Martins. Boa Leitura!

APRESENTAÇÃO

Por **Debora Junge Baum**

Gerente Geral de Marketing da Gerdau

Nesta edição dos Manuais, os autores apresentam de forma clara e didática este compilado essencial de boas práticas na armadura de estruturas de concreto armado. Contamos com toda a experiência teórica e prática da empresa França e Associados Projetos Estruturais, bem como com o apoio e a coautoria da Gerdau no capítulo de durabilidade, tema crucial para o desenvolvimento sustentável da construção civil no Brasil e no mundo.

Os volumes anteriores tiveram uma excelente receptividade e repercussão no meio técnico e acadêmico, reforçando a importância deste conhecimento e dos manuais na Construção Civil. Vimos o uso do conteúdo dos manuais nos canteiros de obra do Brasil e, na academia, como forma de enriquecer a docência técnica da engenharia. A boa prática agrega conhecimento prático e técnico aos profissionais que atuam na construção civil brasileira. Uma armadura projetada de forma otimizada e adequada, aliada à escolha de materiais e a uma etapa de execução eficiente, tem a missão de produzir estruturas duráveis e seguras para o usuário final.

Com 123 anos de história, a Gerdau é a maior empresa brasileira produtora de aço e uma das principais fornecedoras de aços longos nas Américas e de aços especiais no mundo. No Brasil, também produz aços planos, além de minério de ferro para consumo próprio. Além disso, possui uma divisão de novos negócios, a Gerdau Next, com o objetivo de empreender em segmentos adjacentes ao aço. Com o propósito de empoderar pessoas que constroem o futuro, a companhia está presente em vários países e conta com mais de 30 mil colaboradores diretos em todas as suas operações. Maior recicladora da América Latina, a Gerdau tem na sucata uma importante matéria-prima: 71% do aço que produz é feito a partir desse material. Todo ano, 11 milhões de toneladas de sucata são transformadas em diversos produtos de aço. A companhia também é a maior produtora de carvão vegetal do mundo, com mais de 250 mil hectares de base florestal no estado de Minas Gerais. Como resultado de sua matriz produtiva sustentável, a Gerdau possui, atualmente, uma das menores médias de emissão de gases de efeito estufa (CO₂e), de 0,86t de CO₂e por tonelada de aço, o que representa aproximadamente a metade da média global do



setor, de 1,91t de CO₂e por tonelada de aço (worldsteel). Para 2031, a meta da Gerdau é diminuir as emissões de carbono para 0,82t de CO₂e por tonelada de aço. As ações da Gerdau estão listadas nas Bolsas de Valores de São Paulo (B3) e Nova York (NYSE).

Essa identidade da Gerdau, de impactar positivamente o meio e a sociedade em que atua, é claramente identificada com a publicação dos manuais. Manuais estes que apoiam na capacitação da cadeia da construção civil, uma das indústrias mais importantes do País, e uma das que mais emprega e gera renda, dignidade e riqueza ao País. Poder contribuir só nos engrandece como empresa, sociedade e profissionais técnicos.

A eficiência na construção é também tema que permeia as ações da Gerdau. A busca por melhoria na produtividade e na qualidade das estruturas é tema central para garantir constante crescimento e desenvolvimento da indústria da construção no País. A evolução da eficiência passa por temas como capacitação, inovação em produtos e soluções e, certamente, pela união da cadeia da construção civil.

Vale ressaltar que, apesar de ser um setor bastante tradicional, a construção civil também carrega o desejo da população de ser mais sustentável, consumindo produtos com maior durabilidade, com menor impacto ambiental em sua produção e que necessitam manutenção reduzida durante a vida útil da edificação. A contínua inovação tecnológica adiciona mais desafios na execução das estruturas: edificações mais altas, mais esbeltas, resistências elevadas de materiais. Dessa forma, atualizar os times de campo com as melhores práticas de montagem da armadura se torna tarefa primordial na garantia da qualidade das nossas edificações.

Este Manual revisado e atualizado vem somar conhecimento prático e técnico sobre armadura e manutenção de estruturas de concreto armado, assim como seguir incentivando pesquisas e desenvolvimentos nesses temas. Esperamos que este material siga seu propósito de capacitar os times de obra e possibilitar qualidade superior às nossas estruturas.

Boa leitura!

SUMÁRIO

10 INTRODUÇÃO

12 COMO USAR ESTE MANUAL CONVENÇÕES PARA ESPAÇADORES CONVENÇÕES PARA ARMADURAS GLOSSÁRIO

18 CAPÍTULO 1 DURABILIDADE *Degradação das estruturas de concreto* *Corrosão das armaduras* *Durabilidade das estruturas de concreto* *Proteção dos vergalhões de espera* *Inspeção de estruturas de concreto* *Planejamento da manutenção* *Normas de apoio* *Perda de seção por corrosão* *Dicas para o canteiro*

36 CAPÍTULO 2 DETALHES GERAIS DAS ARMADURAS *Limite dos vergalhões* *Tolerâncias* *Espaçadores*

46 CAPÍTULO 3 ARMADURAS DE SAPATAS *Espaçadores em sapatas* *Sapata isolada* *Sapata corrida* *Sapata associada*

54 CAPÍTULO 4 ARMADURAS DE BLOCOS DE COROAMENTO *Bloco de coroamento sobre uma estaca* *Bloco de coroamento sobre duas estacas* *Bloco de coroamento sobre três estacas* *Bloco de coroamento sobre quatro estacas* *Bloco de coroamento sobre estaca metálica* *Posicionamento da armadura superior*

75 CAPÍTULO 5 ARMADURAS DE VIGAS DA FUNDAÇÃO *Viga baldrame* *Viga de travamento* *Viga alavanca*

84**CAPÍTULO 6****ARMADURAS DE PILARES**

Posicionamento de arranques dos pilares
Espaçadores em pilares
Estribos de pilares
Ganchos dos estribos de pilares
Estribo suplementar (grampo)
Engarrafamento
Recomposição de estribos e grampos

100**CAPÍTULO 7****ARMADURAS DE VIGAS**

Espaçadores em vigas
Ganchos dos estribos de vigas
Posicionamento das armaduras de vigas
Encontro viga x pilar
Encontro viga x viga
Reforço na viga com furo (abertura)

114**CAPÍTULO 8****ARMADURAS DE LAJES**

Amarrações em lajes
Espaçadores em lajes
Armaduras positivas
Armaduras positivas em viga invertida
Reforço na laje com furo (abertura)
Armaduras contra força cortante
Armaduras negativas
Armaduras negativas em tela soldada

138**CAPÍTULO 9****ARMADURAS DE LAJES-COGUMELO
E LAJES LISAS**

Conectores / studs
Armaduras contra colapso progressivo
Gaiolas para armadura negativa
Sequência de montagem de lajes-cogumelo

148**CAPÍTULO 10****ARMADURAS DE CORTINAS**
Cortina moldada in loco**153****CAPÍTULO 11****ARMADURAS DE RESERVATÓRIOS E PISCINAS**
Armaduras de reservatórios
Armaduras de piscinas**164****CAPÍTULO 12****ARMADURAS DE ESCADAS**
Detalhes gerais sobre espaçadores
Escada apoiada em patamares
Escada apoiada em patamar e pilar**170****CONCLUSÃO
REFERÊNCIAS
AGRADECIMENTOS**

INTRODUÇÃO

A série de Manuais de Boas Práticas, da qual esta edição faz parte, teve seu marco de início no ano de 2013. Com mais de 30 anos de experiência e presença no mercado de projetos de estruturas para edificações, o escritório França e Associados Projetos Estruturais passou, naquele ano, por uma remodelação que propôs novos métodos organizacionais e metodológicos em todos os seus setores. O objetivo da mudança na época era atender às novas demandas do mercado e trazer melhorias aos processos internos do escritório.

Um setor novo de Produção, dedicado exclusivamente ao detalhamento de armaduras de elementos em concreto armado, também nasceu nesse mesmo ano, como resultado dessa evolução. Promovendo um novo olhar mais atento às diversas particularidades que tal detalhamento abrangia, o novo setor se moldou em volta de uma rigorosa padronização de critérios, da atenção ao aumento da produtividade e do esforço cuidadoso em produzir projetos 100% exequíveis, independentemente de sua complexidade. Três pilares essenciais para o sucesso que observamos no escritório durante aquela década.

Embora nem sempre em primeiro plano, a premissa de exequibilidade das armaduras projetadas sempre esteve presente no escritório. No entanto, foi a partir do final da década de 2010 que o incentivo para revolucionar nosso entendimento do assunto surgiu, desta vez não internamente, no ambiente do escritório, mas diretamente do lugar onde as armaduras eram utilizadas de fato: no canteiro de obras. Em uma visita a um dos mais desafiadores projetos estruturais que o escritório já desenvolveu – o empreendimento Cyrela by Pininfarina –, o engenheiro Antonio Carlos Zorzi, então diretor de engenharia da construtora, e nosso parceiro de longa data, propôs que considerássemos as visitas às obras com um olhar diferente. Em vez de focar apenas em soluções para detalhes específicos de cada obra – o que vinha sendo feito até então muito bem –, ele nos sugeriu uma análise mais crítica, focando em práticas comuns a todas as obras, que gerassem conhecimento aplicável à exequibilidade de todos os nossos projetos. Daquele momento em diante, a visão do escritório quanto à relação projeto-obra nunca mais foi a mesma.

Desde então, acompanhamentos aprofundados de canteiros de obras tornaram-se atividades constantes no dia a dia dos engenheiros da França e Associados. Identificar e disseminar as “boas práticas” nessas visitas tornou-se então natural e parte intrínseca de nosso trabalho. Nossos clientes e parceiros hoje nos veem presentes em canteiros de obras frequentemente, estudando os gargalos de processos, aprendendo com armadores, mestres e engenheiros, e aperfeiçoando detalhes de projeto que têm consequências significativas na montagem das armaduras em todos os canteiros de nossas obras.

Paralelamente, a organização de mesas-redondas em obras para debater detalhes de montagem e a apresentação frequente em palestras e aulas sobre as boas práticas de montagem de armaduras também se tornaram atividades frequentes. Ademais, o compartilhamento desse conhecimento por meio de vídeos e correspondentes QR Codes nas folhas dos projetos de armaduras, bem como a contínua divulgação em redes sociais, também facilitou a troca de experiências e ampliou o alcance do tema para além dos limites físicos de nossos canteiros.

Em 2020, decidiu-se compilar todo esse aprendizado e experiências em um só lugar, resultando, em 2021, no lançamento do primeiro volume da série de livros *Boas Práticas - Montagem das Armaduras de Estruturas de Concreto Armado*. Fruto da parceria entre a França e Associados e a Gerdau, a série veio trazer uma alternativa para materiais didáticos destinados ao mercado da construção civil que facilitem o entendimento dos diferentes detalhes estruturais e suas boas práticas de montagem, de maneira primordialmente gráfica.

No Volume 1 do *Manual* focou-se no detalhamento dos três principais elementos estruturais de um projeto convencional em concreto armado: os pilares, as vigas e as lajes. Entre todos os componentes de uma edificação em concreto armado de médio e grande porte, esses elementos são, sem dúvida, uma das parcelas de maior volume total.

Em 2022 (**Figura A**), a ideia se expandiu para elementos estruturais que, embora importantes, ainda possuem pouca



Figura A

Lançamento do Volume 2 do Manual de Boas Práticas, quando nossos autores tiveram a oportunidade de distribuir cópias impressas dos livros.



Figura B

Comunicação do lançamento da versão "pocket" do Manual, em outubro de 2023, durante o Congresso Brasileiro do Concreto, em Florianópolis

representatividade em relação ao volume de elementos estruturais em uma obra. O Volume 2 do *Manual de Boas Práticas* abrange detalhes dos elementos de fundação, reservatórios, piscinas e escadas.

Em 2023 (**Figura B**), a série também ganhou uma versão reduzida "pocket", em formato de Guia de Bolso, para facilitar ainda mais sua inserção nos canteiros de obras de todo o país.

Por fim, esta presente edição vem mais uma vez reunir todos esses elementos e detalhes em apenas um livro, que pode ser consultado em qualquer lugar, a qualquer hora, de maneira completa.

Vale ressaltar que todos os pontos detalhados nesta série são baseados em extenso estudo das normas técnicas e em publicações clássicas sobre engenharia estrutural. Os Manuais ainda contam com a expertise da equipe da Gerda, empresa líder no mercado, com mais de 120 anos de experiência fornecendo aço para a construção civil nacional e internacional.

Democratizando os conhecimentos e a prática que cultivamos durante nosso cuidadoso trabalho até então, esperamos poder contribuir e incentivar, por meio das ilustrações presentes nas próximas páginas, um olhar crítico e atento sobre os procedimentos utilizados hoje na cadeia produtiva da construção de edificações de concreto armado.

COMO USAR ESTE MANUAL

Para tornar o uso deste Manual de Boas Práticas o mais claro e simples possível, todas as imagens apresentadas aqui foram elaboradas seguindo um padrão único de cores e formas. Desse modo, é possível identificar com clareza e precisão cada elemento estrutural representado.

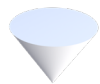
Elementos como espaçadores, por exemplo, sempre aparecerão representados da seguinte forma: o multiapoio, também chamado de centopeia, comumente utilizado na construção civil, estará representado na cor azul quando usado em vigas, na cor branca quando usado em lajes e na cor verde quando usado em piscinas e reservatórios. Outros tipos de espaçadores, como o circular ou o treliçado, também terão suas formas e cores próprias. As **imagens a seguir (CONVENÇÕES PARA ESPAÇADORES)** mostram essas convenções. Lembramos que os tipos de espaçadores apresentados nesta página foram escolhidos para todas as imagens do Manual, pois são comumente utilizados em elementos de concreto armado. Ver o **capítulo 2** para outras opções possíveis de espaçadores.

Como para os espaçadores, as armaduras negativas e positivas de vigas, por exemplo, serão sempre representadas nas cores vermelha e azul-escura, respectivamente. Outros elementos, como armaduras de pele de viga ou estribos de vigas e pilares, também possuem suas próprias cores e formas. Assim, **nos exemplos nas próximas páginas (CONVENÇÕES PARA ARMADURAS)**, é possível encontrar todas as principais convenções de cores e formas que foram utilizadas para representar cada armadura presente nas páginas deste Manual.

É importante lembrar que, em alguns capítulos, apresentamos imagens consecutivas de modo a explicar uma sequência de construção específica. Nestas imagens, apenas os elementos relevantes em cada etapa de construção estarão apresentados em cores, e os elementos das etapas anteriores ou que não impactam no conceito da imagem estarão representados na cor cinza.

Por fim, os cobrimentos nos elementos estruturais também serão representados graficamente, como mostrados ao lado, de modo a enfatizar sua importância nas imagens.

CONVENÇÕES PARA ESPAÇADORES



COBRIMENTO EM LAJE OU ESCADA



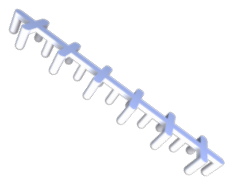
**COBRIMENTO EM BLOCO DE
COROAMENTO, PILAR OU VIGA**



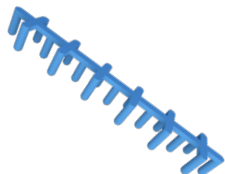
**COBRIMENTO EM RESERVATÓRIOS
OU PISCINAS**



**DISTÂNCIA MÍNIMA ENTRE
VERGALHÕES**



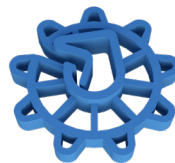
**ESPAÇADOR CENTOPEIA
EM LAJE**



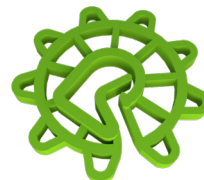
**ESPAÇADOR CENTOPEIA
EM VIGA OU PILAR**



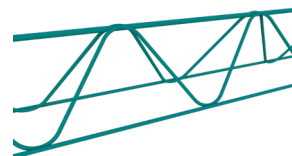
**ESPAÇADOR CENTOPEIA EM
RESERVATÓRIOS OU PISCINAS**



**ESPAÇADOR CIRCULAR
EM VIGA OU PILAR**



**ESPAÇADOR CIRCULAR
EM RESERVATÓRIOS OU
PISCINAS**



**ESPAÇADOR TRELIÇADO
EM LAJE**



ESPAÇADOR ROLETE



**ESPAÇADOR DE
ARGAMASSA OU
CONCRETO**

CONVENÇÕES PARA ARMADURAS

ARMADURA LONGITUDINAL DE PILAR

Ciano

ESTRIBO SUPLEMENTAR DE PILAR

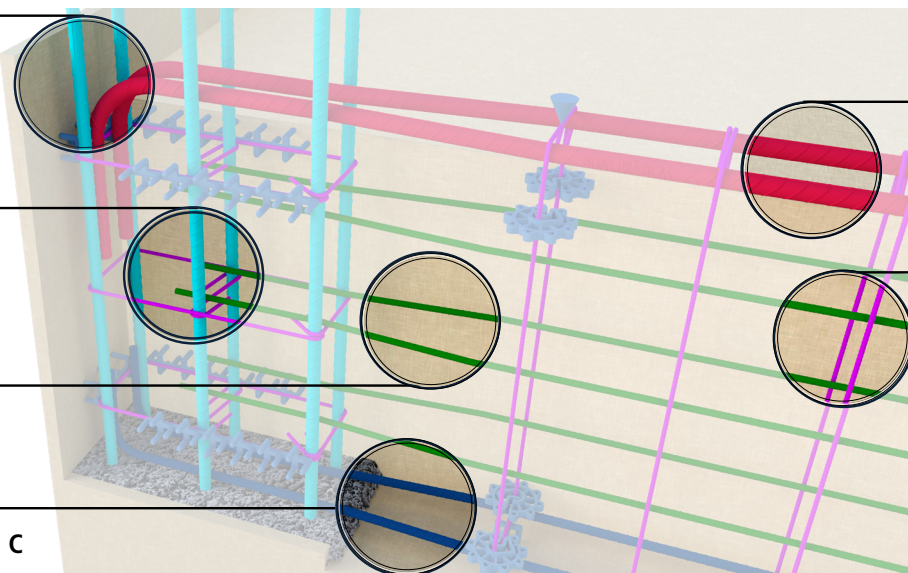
Magenta

ARMADURA DE PELE DE VIGA

Verde

ARMADURA POSITIVA DE VIGA

Azul



ARMADURA NEGATIVA DE VIGA

Vermelho

ESTRIBOS

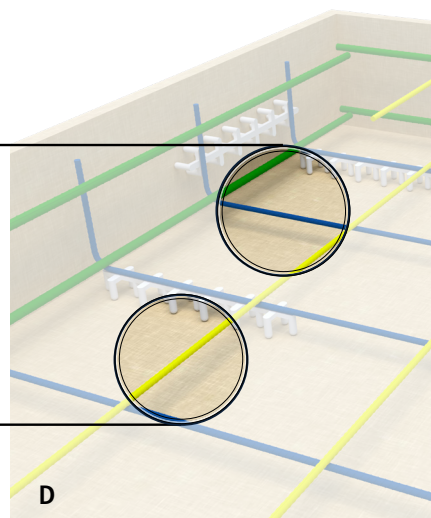
Magenta

ARMADURA POSITIVA DE LAJE - DIREÇÃO A

Azul

ARMADURA POSITIVA DE LAJE - DIREÇÃO B

Amarelo

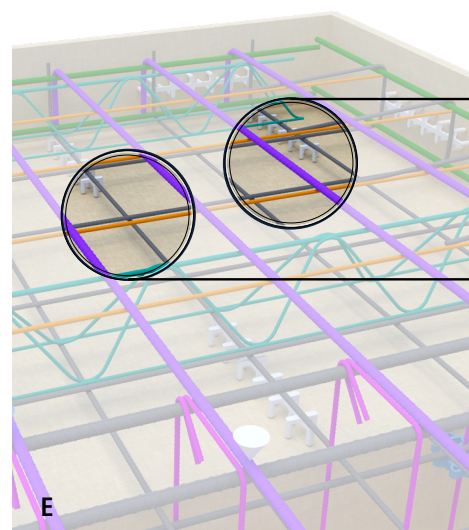


ARMADURA NEGATIVA DE LAJE

Roxo

ARMADURA NEGATIVA DE DISTRIBUIÇÃO DE LAJE

Laranja



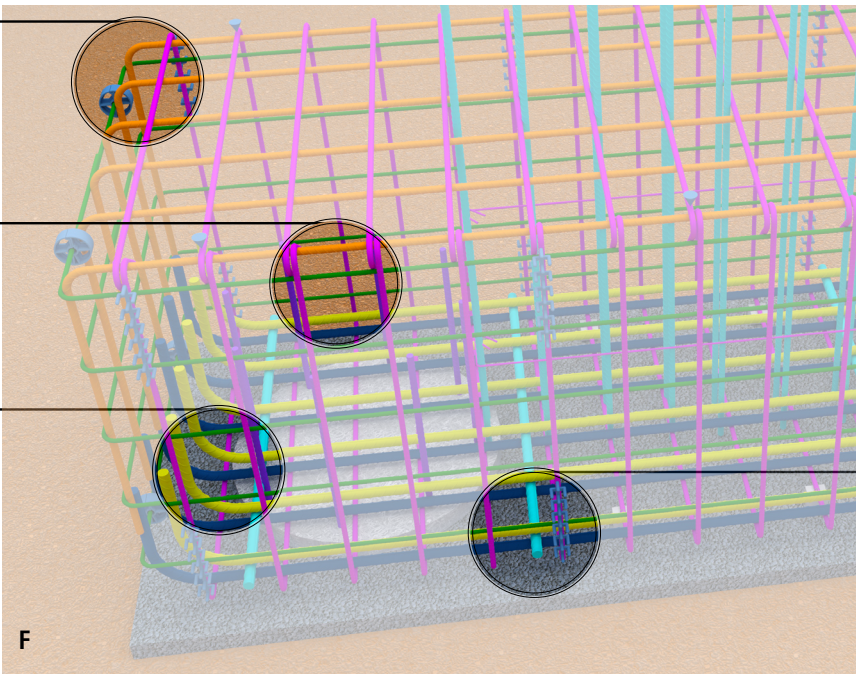
Figuras C, D e E

Elementos e padrões de cores

ARMADURA SUPERIOR DE BLOCO DE COROAMENTO
Laranja

ARMADURA DE PELE DE BLOCO DE COROAMENTO
Verde

TIRANTES DE BLOCO DE COROAMENTO
Amarelo e Azul

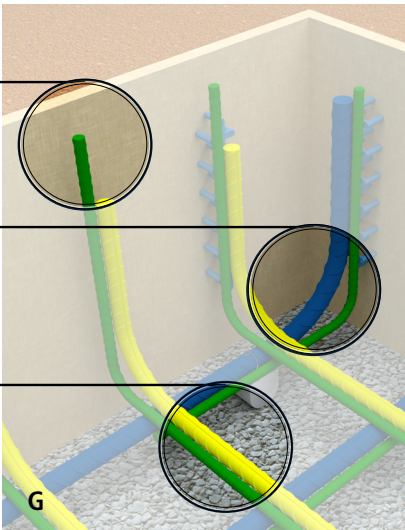


VERGALHÃO PARA ESPAÇAR AS CAMADAS
Ciano

ARMADURA COMPLEMENTAR
Verde

ARMADURA INFERIOR DA FUNDAÇÃO - DIREÇÃO A
Azul

ARMADURA INFERIOR DA FUNDAÇÃO - DIREÇÃO B
Amarelo

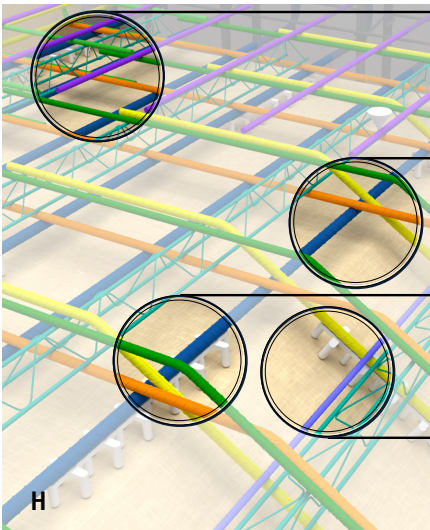


ARMADURA NEGATIVA DE PATAMAR DE ESCADA
Roxo

ARMADURA POSITIVA DE ESCADA
Azul, amarelo e laranja

ARMADURA COMPLEMENTAR
Verde

ARMADURA DE DISTRIBUIÇÃO DE ESCADA
Lilás



Figuras F, G e H
Elementos e padrões de cores

GLOSSÁRIO

Para tornar o uso deste Manual de Boas Práticas ainda mais claro e fácil de percorrer, apresenta-se, nesta seção, um glossário dos principais termos utilizados nos próximos capítulos.

ARAME RECOZIDO

Arame que possui elevado grau de maleabilidade, facilitando as amarrações de armaduras de concreto armado.

ARMADURA POSITIVA

Armadura dimensionada de acordo com os momentos fletores positivos.

ARMADURA NEGATIVA

Armadura dimensionada de acordo com os momentos fletores negativos.

BLOCO DE COROAMENTO OU BLOCO SOBRE ESTACAS

Elemento cuja função é transferir os esforços provenientes de pilares ou pilares-parede para os elementos de fundação profunda.

CAPITEL

Elemento estrutural que consiste no engrossamento da laje nas proximidades do pilar. Presente em lajes-cogumelo.

COLAPSO PROGRESSIVO

Situação em que a ruína de um elemento ou região da estrutura se segue da ruína de outros elementos próximos e da ruína generalizada de parte da estrutura. Nas lajes-cogumelo e nas lajes lisas, a região da ligação da laje diretamente ao pilar pode levar a sucessivas ruínas das demais ligações laje-pilar por punção.

CORTE VERDE

Técnica de preparação da superfície do concreto para melhorar a aderência com a etapa posterior de concretagem. A nata de cimento superficial é removida no início da pega utilizando-se um jato d'água, deixando a brita aparente.

CORTINA

Elemento estrutural de contenção de solo nas edificações que ocupam áreas abaixo do nível do terreno.

COTA DE ARRASAMENTO

Nível do topo da estaca que permite a ligação entre a estaca e o bloco de coroamento.

EMPUXO

Pressão horizontal que o solo e/ou a água provocam na estrutura.

ENGARRAFAMENTO

Pequena mudança de direção do vergalhão que não adiciona esforços internos consideráveis no concreto.

ESCADA

Construção formada por uma série de degraus, destinada a ligar locais com diferenças de nível.

ESPAÇADOR

Elemento de material plástico ou de concreto/argamassa que mantém as armaduras na posição que respeita o cobrimento nominal de projeto. Ver mais detalhes nos **capítulos 1 e 2**.

ESTACA

Elemento de fundação profunda. Elas podem ser cravadas ou escavadas no solo.

ESTRIBO

Armadura transversal que tem como uma das principais funções resistir aos esforços de cisalhamento.

f_{ck}

De acordo com o capítulo 3 da *ABNT NBR 12655*, é a resistência característica à compressão do concreto, sendo este valor estabelecido no projeto estrutural conforme *ABNT NBR 6118*.

FUNDAÇÃO RASA (DIRETA OU SUPERFICIAL)

Elemento estrutural de fundação com profundidade de escavação reduzida. É o caso típico de sapata.

FUNDAÇÃO PROFUNDA

Elemento estrutural de fundação com maiores profundidades, como estacas e tubulões. A fundação profunda tem a função de transferir os esforços para o solo ao longo da sua superfície lateral (resistência de fuste), ou pela base (resistência de ponta) ou por ambas.

GANCHO

Normalmente é chamado de pata ou esquadro. É usado nas extremidades dos vergalhões para melhorar a ancoragem.

GRAMPO EM PILAR

É mencionado desta forma no meio técnico ou nas obras, porém na *ABNT NBR 6118* é descrito como estribo suplementar. A função desta armadura será mencionada no **capítulo 6**.

GRAMPO EM VIGA

Armadura que auxilia na ancoragem das armaduras longitudinais das vigas.

LAJE-COGUMELO

Laje que se apoia diretamente em pilares com capitéis, proporcionando maior resistência à punção.

LAJE LISA

Tipo de laje-cogumelo onde a laje se apoia diretamente em pilares sem capitéis.

MÍSULA

Elemento de concreto de formato triangular, posicionado junto aos encontros de parede x parede ou parede x laje inferior, cuja função é enrijecer e melhorar a ligação nesses encontros. Historicamente, as mísulas foram colocadas nos reservatórios para facilitar a execução e a eficiência da impermeabilização, e não pela atribuição estrutural.

PUNÇÃO

Tipo de ruína que pode ocorrer quando forças concentradas são aplicadas diretamente nas lajes, causando a sua perfuração na região da ligação com os pilares.

RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO

De acordo com o capítulo 3 da *ABNT NBR 12655*, é a relação em massa entre o conteúdo efetivo de água e o conteúdo de cimento Portland e outros materiais cimentícios.

RESERVATÓRIO

Local onde é armazenada água potável, servida ou pluvial. Pode ser, usualmente, de fibra ou concreto armado.

SAPATA

Elemento estrutural de fundação rasa, apoiada diretamente no solo. Sua função principal é distribuir esforços (forças e momentos flettores) provenientes de pilares ou pilares-parede ao solo por meio de uma base alargada.

TENSÃO ADMISSÍVEL

Pressão máxima que o solo pode receber, sem que haja ruptura ou deformações acima de limites de norma. É a tensão de ruptura dividida por um fator de segurança.

VERGALHÃO

Barras ou fios de aço destinados a uso como armadura passiva (armadura que não produz forças de protensão) para estruturas de concreto armado. Os requisitos estão definidos na *ABNT NBR 7480*.

VIGA ALAVANCA OU DE EQUILÍBRIO

Elemento estrutural que resiste aos esforços gerados quando o elemento de fundação não está centralizado em relação ao pilar. Ocorre geralmente junto aos limites do terreno, por limitações de execução ou do equipamento utilizado.

VIGA BALDRAME OU CINTA DE FUNDAÇÃO

Elemento estrutural linear, que se apoia em blocos de coroamento, sapatas ou pilares-parede, no nível do piso da fundação. Normalmente, lajes não se apoiam sobre essas vigas. As alvenarias são assentadas sobre as vigas baldrame. Dependendo do detalhamento da armadura, esta viga pode ter a função de viga de travamento para eventuais desvios na locação das estacas.

VIGA DE TRAVAMENTO

Vigas que resistem aos esforços adicionais devido aos pequenos desvios da posição das estacas, dentro de certos limites, ou que travam os blocos de fundação na direção onde esses não resistem a momentos flettores (essencialmente, os blocos de uma e duas estacas).

VIGA INVERTIDA

Viga em que a laje se situa na parte inferior da seção da viga.

CAPÍTULO 1

DURABILIDADE

DEGRADAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

O concreto armado é o principal material composto utilizado na construção civil e o segundo material mais consumido do mundo, perdendo apenas para a água (MEHTA E MONTEIRO, 2014). Essa abrangência no uso se deve a seu baixo custo, simplicidade de produção e utilização, fácil moldagem e boas características mecânicas quando endurecido (ARAUJO, 2014). Pela sua versatilidade de aplicação, adapta-se tanto a modelos tradicionais de construção quanto a tipologias arrojadas das edificações da atualidade. Ressalta-se também a importância desse material nas obras de infraestrutura em geral, como pontes, viadutos, estações de tratamento de água e esgoto, dentre outros.

A ocorrência de manifestações patológicas precoces nas estruturas de concreto armado é significativa, afetando todos os segmentos da construção civil, desde obras de arte a edificações residenciais e comerciais (DAL MOLIN et al., 2016).

Ao observar as principais manifestações patológicas (**Figura 1.1**), destacam-se os defeitos executivos, que, além de ser uma manifestação patológica, são potenciais causadores das demais manifestações, como fissuras, deslocamentos, colapso e corrosão.

A corrosão das armaduras atualmente é uma das principais causas de manifestações patológicas nas estruturas de concreto armado em todo o mundo (MEHTA E MONTEIRO, 2014). Essa patologia oferece risco à segurança dos usuários das estruturas, além de consumir elevados recursos financeiros para sua mitigação (pode chegar a 5% do PIB de um país desenvolvido) (KOCH et al., 2002).



Figura 1.1

Principais manifestações patológicas em estruturas de concreto armado (Fonte: MARTINS, 2019)

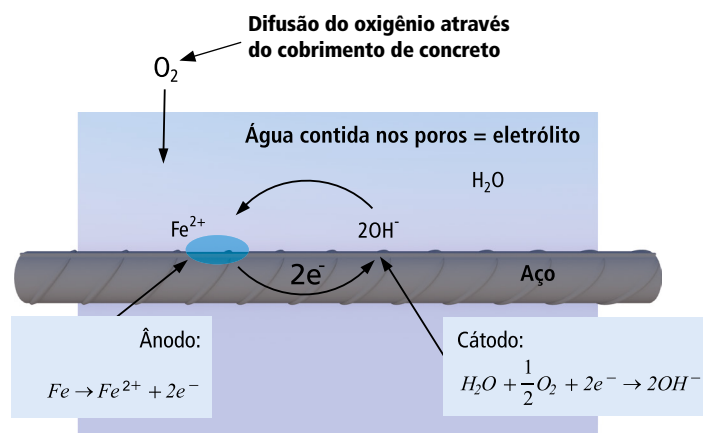


Figura 1.2

Célula de corrosão simplificada em concreto carbonatado (Fonte: adaptado de GENTIL, 2011)



Figura 1.3

Fissuras e deslocamentos do revestimento e do concreto em pilar principal de edificação residencial em São Paulo (Fonte: MARTINS, 2019)

CORROSÃO DAS ARMADURAS

Por ser um fenômeno complexo, com uma série de variáveis envolvidas no processo, a patologia oriunda da corrosão se torna difícil de ser prevenida e reparada efetivamente. A recuperação do concreto armado pode levar a um certo rejuvenescimento da estrutura, mas normalmente não trata das causas primárias do problema. As circunstâncias que levaram à degradação inicial frequentemente sobrevivem em regiões adjacentes, podendo se revelarem outras problemáticas em algum momento futuro.

A armadura embutida no concreto intacto se encontra protegida da corrosão de forma física (cobrimento) e principalmente química (pela passivação do aço). A proteção física é proporcionada pelo concreto de cobrimento especificado em norma e de acordo com a classe de agressividade ambiental. As demais solicitações na norma com relação à qualidade do concreto, ao consumo de cimento e ao teor de água cimento são essenciais para a garantia de um concreto de baixa permeabilidade aos agentes agressivos, como CO₂ ou cloretos. Já a proteção química se dá em razão da alta alcalinidade da água presente nos poros deste material (HELENE, 1986; GENTIL, 2011). O pH elevado – entre 12,7 e 13,8 – favorece a formação de uma camada de óxido passivante (filme passivo), compacta e aderente sobre a superfície da armadura, que a protege indefinidamente de qualquer sinal de corrosão, desde que o concreto de cobrimento preserve sua integridade (WOLYNEC, 2013).

A despassivação da armadura pode ocorrer pela redução do pH do concreto por carbonatação ou pela penetração de íons cloreto (Cl⁻) na matriz do concreto (GENTIL, 2011; RIBEIRO, 2018). A corrosão desencadeada pela carbonatação ocorre naturalmente em qualquer tipo de atmosfera, enquanto a corrosão por Cl⁻ ocorre em ambiente marinho (ARAUJO E PANOSSIAN, 2010) ou quando há a incorporação de cloretos à mistura do concreto. Dessa forma, fica claro que há risco nos principais ambientes com alta demografia, como grandes centros urbanos e regiões costeiras do País.

O processo de corrosão da armadura embutida em concreto está fundamentado nos princípios da corrosão eletroquímica em que a armadura funciona como um eletrodo misto, sobre a qual ocorrem reações anódicas e catódicas, sendo a solução contida nos poros do concreto, o eletrólito (GENTIL, 2011; RIBEIRO, 2018). A **Figura 1.2** ilustra, de modo simplificado, a célula de corrosão formada em concreto carbonatado (com redução do pH).

Quando a corrosão da armadura ocorre, o dano ao concreto é subsequente. O produto de corrosão do aço-carbono é volumoso e precipita na interface entre o aço e o concreto, o que gera tensões que podem causar a fissuração do concreto (GENTIL, 2011). É por este motivo que muitas vezes o concreto “estoura” próximo ao vergalhão corroído, conforme pode ser visto na **Figura 1.3**.

De uma forma simplificada, o processo da corrosão das armaduras no concreto é caracterizado por duas fases. A primeira fase, chamada iniciação, refere-se à penetração dos agentes agressivos que modificam o concreto ao redor da armadura (carbonatação e penetração de cloretos). A segunda fase, chamada propagação, refere-se ao processo de corrosão do aço-carbono em si e seu desenvolvimento no concreto armado. A **Figura 1.4** ilustra as duas etapas mencionadas.

Manter a integridade do concreto de cobrimento ao longo do tempo, aliado a uma correta execução das armaduras, posicionamento e qualidade do concreto, vai assegurar uma adequada durabilidade da estrutura. Podemos também concluir que inspeções periódicas nos elementos estruturais de concreto são necessárias, para identificarmos precocemente sinais de patologias (como trincas e manchas) e planejarmos a adequada manutenção.

No exterior, novas concepções de armaduras têm sido desenvolvidas e estudadas, em substituição às armaduras tradicionais de aço-carbono. Dentre esses novos materiais, podemos listar os aços inoxidáveis 3Cr12 (UNS-S41003), 2101LDX (ASTM1 A955-98), 2304 (UNS-S31803), 2205 (UNS-31803) e 316L (UNS-S31603); os aços ao cromo (ASTM A1035); além dos aços revestidos, como o aço-carbono zincado ou compostos não metálicos.

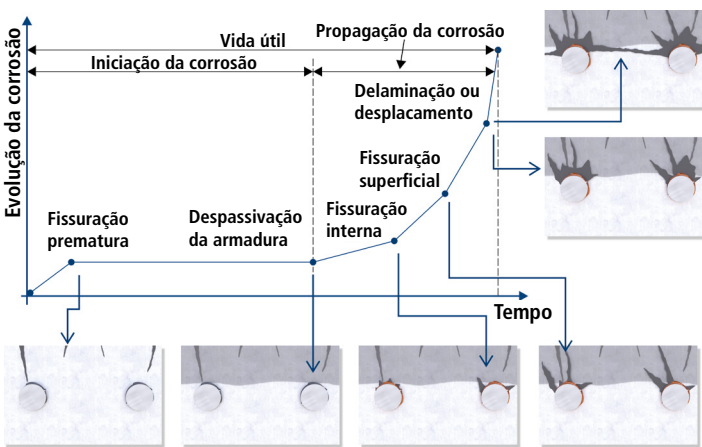


Figura 1.4
Processos de corrosão no concreto armado e suas etapas (Fonte: ARAUJO et al., 2017)

Tabela 1.1
Classes de agressividade ambiental (CAA) - Capítulo 6 da ABNT NBR 6118 (reprodução)

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

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

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

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas, elementos em contato com solo contaminado ou água subterrânea contaminada.

Tabela 1.2
Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10\text{ mm}$ - Capítulo 7 da ABNT NBR 6118 (reprodução)

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

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

^bPara a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal $\geq 15\text{ mm}$.

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

^dNo trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal $\geq 45\text{ mm}$.

Tabela 1.3
Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto - Capítulo 7 da ABNT NBR 6118 (reprodução)

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$

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

^bCA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

^cCP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

Como visto anteriormente, a durabilidade é referenciada com a garantia da vida útil de projeto (VUP) expressa em anos. Para a maioria das estruturas, temos 50 anos como VUP mínima, que pode chegar a 100 anos para obras de infraestrutura e obras especiais. Para a estrutura principal de uma edificação atender à VUP mínima de 50 anos, devem ser seguidas as diretrizes da ABNT NBR 15575-1 e da ABNT NBR 6118.

Assim, devem-se proteger as armaduras dos mecanismos de deterioração de acordo com a classe de agressividade ambiental (CAA), conforme a tabela do capítulo 6 da ABNT NBR 6118 (Tabela 1.1), e, definida a CAA, definir a relação água/cimento, a classe do concreto e o cobrimento a partir das tabelas do capítulo 7 da ABNT NBR 6118. Confira as reproduções dessas tabelas ao lado (Tabelas 1.2 e 1.3).

Ressalta-se que a ABNT NBR 14931 não considera tolerâncias nos cobrimentos para estruturas moldadas in loco. Nesse contexto, de modo a respeitar os cobrimentos especificados nas normas e em projeto, é importante utilizar espaçadores adequados (Figura 1.5), posicionados nos vergalhões mais expostos, amarrados com arame e em distâncias adequadas entre si, conforme mencionado na ABNT NBR 14931. Quando corretamente utilizados, os espaçadores asseguram aos elementos estruturais as seguintes características:

- Proteção contra corrosão do vergalhão, maximizando a durabilidade;
- Proteção térmica do vergalhão, para a situação de incêndio;
- Garantia do funcionamento eficiente do conjunto aço-concreto.



Figura 1.5
Exemplos de espaçadores

É importante destacar que a *ABNT NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho* estabelece três níveis de desempenho dos sistemas: mínimo, intermediário e superior. Destacam-se, na **Tabela 1.4**, os níveis mínimo e superior. A referida norma ainda reforça que, para atingir a VUP mínima, é necessário atender, simultaneamente, aos cinco aspectos descritos na **Figura 1.6**.

Fica evidente a importância das alíneas “a” e “b” citadas para que a estrutura tenha potencial de atender integralmente à VUP, sendo que a sua implementação depende do projetista, do incorporador e do construtor. Um projeto adequado especifica materiais e técnicas construtivas aptos a entregar à estrutura a vida útil projetada.

Tabela 1.4
Vida útil de projeto (VUP) de edificações no Brasil - ABNT NBR 15575 (adaptado)

Sistema	VUP* (em anos)	
	Mínima (M)	Superior (S)
Estrutura	≥ 50**	≥ 75
Pisos internos	≥ 13	≥ 20
Vedação vertical externa	≥ 40	≥ 60
Vedação vertical interna	≥ 20	≥ 30
Cobertura	≥ 20	≥ 30
Hidrossanitário	≥ 20	≥ 30

* Considerando periodicidade e processo de manutenção segundo a NBR 5674 (ABNT, 2012) e especificados no respectivo Manual de Uso, Operação e Manutenção (Manual do Usuário) entregue e elaborado em atendimento à norma NBR 14037 (ABNT, 2014).
** Segundo a NBR 8681 (ABNT, 2004).

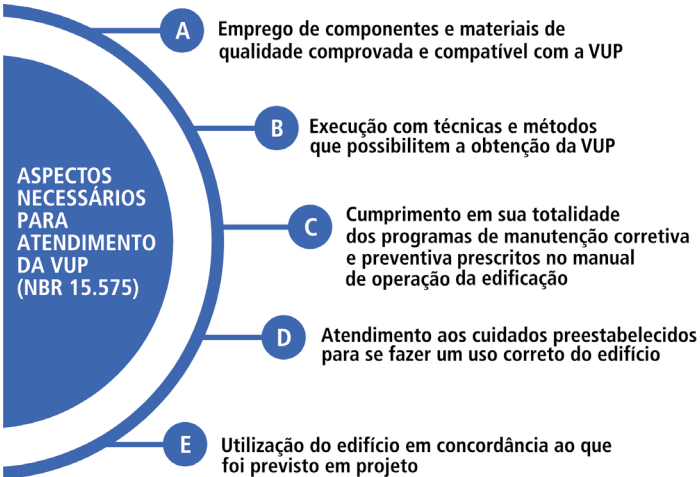
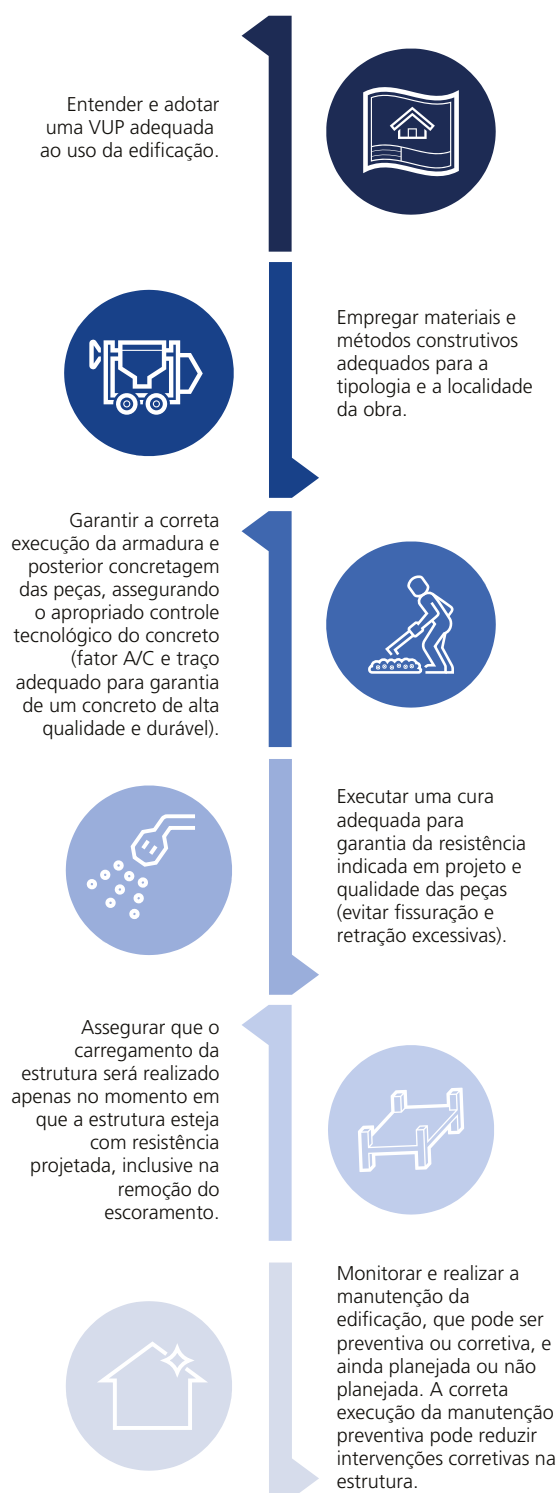


Figura 1.6
Aspectos necessários para atingir a VUP mínima

**Figura 1.7**

Seis momentos importantes no projeto, na execução e na manutenção da edificação

Pode-se entender a importância do projeto, a execução e a manutenção da edificação para atendimento dos 5 aspectos descritos na *ABNT NBR 15575*, em seis momentos, segundo a **Figura 1.7**.

Dessa forma, fica evidente a necessidade de projeto adequado e emprego de materiais com elevada durabilidade para que, em conjunto com técnicas construtivas adequadas, seja possível garantir ao sistema estrutural a durabilidade especificada em projeto. Assim como, mesmo utilizando materiais com tais características, é fundamental a adoção das boas práticas de montagem das armaduras das estruturas de concreto armado, para garantir a correta execução e garantia de cobrimento das peças. Dessa forma, é possível entregar ao usuário uma edificação durável, funcional e segura.

PROTEÇÃO DOS VERGALHÕES DE ESPERA

É necessário dar atenção aos vergalhões de espera que comumente são executados nas estruturas. A necessidade de vergalhões de esperas nas estruturas normalmente ocorre por dois fatores:

- Faseamento da obra, devido à sequência executiva, como por exemplo concretagem da laje do pavimento em trechos, ou esperas de pilares (**Figura 1.8**).
- Atraso ou postergação da conclusão da obra.

O tempo que o vergalhão de espera ficará exposto e em qual meio são fatores determinantes para a recomendação ou não de proteção, bem como do tipo adequado de proteção.

A proteção do vergalhão de espera deve ser realizada tanto no trecho exposto à atmosfera quanto na parte da superfície do concreto da região de sua inserção. O trecho exposto deve ser completamente coberto com o revestimento cimentício, bem como pelo menos duas vezes o diâmetro do vergalhão na superfície do concreto, de forma diametral, ou seja, de forma que proteja o vergalhão em todas as direções (conforme **Figura 1.10**).

A proteção tem o objetivo de prevenir ou mitigar a corrosão atmosférica do trecho do vergalhão exposto, bem como a formação de macrocélula de corrosão no trecho embutido no concreto (**Figura 1.9**) (ARAUJO E MARTINS, 2020).

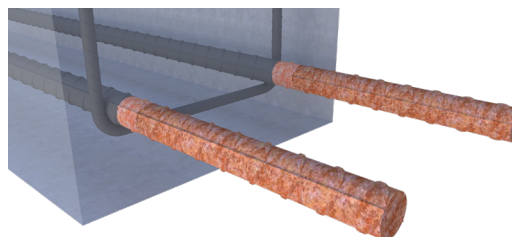
Nesta condição, ocorre a corrosão atmosférica no trecho exposto do vergalhão e a corrosão localizada no trecho adjacente, embutido no concreto carbonatado.

Segundo Araujo e Martins (2020), a prática mostra que a forma mais simples de fazer essa proteção é por meio do revestimento superficial com argamassa cimentícia industrializada. Para garantir a aderência ao aço-carbono (previamente limpo para remoções de impurezas e defeitos) e um efeito barreira à penetração da água e de agentes agressivos por maiores períodos, é recomendado o uso de argamassa composta de cimento Portland e aditivos especiais.



Figura 1.8

Detalhe de blocos de fundação concretado com os vergalhões de espera de pilares expostos (vergalhões com certo grau de corrosão superficial)



CAMADA PROFUNDA DE CONCRETO ÍNTEGRO

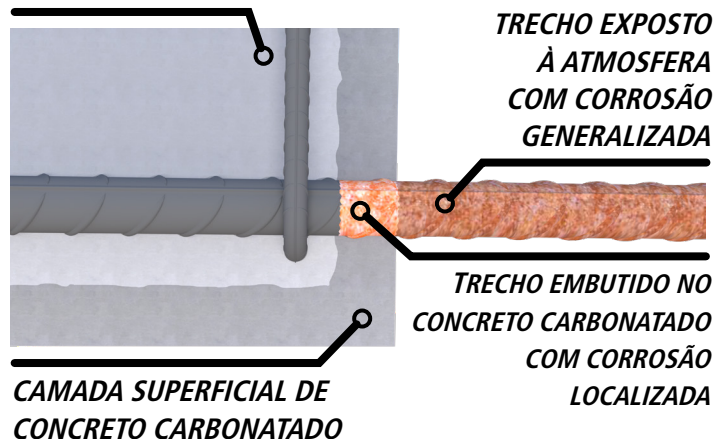


Figura 1.9

Corrosão do vergalhão de espera exposto à atmosfera e na região do embutimento no concreto

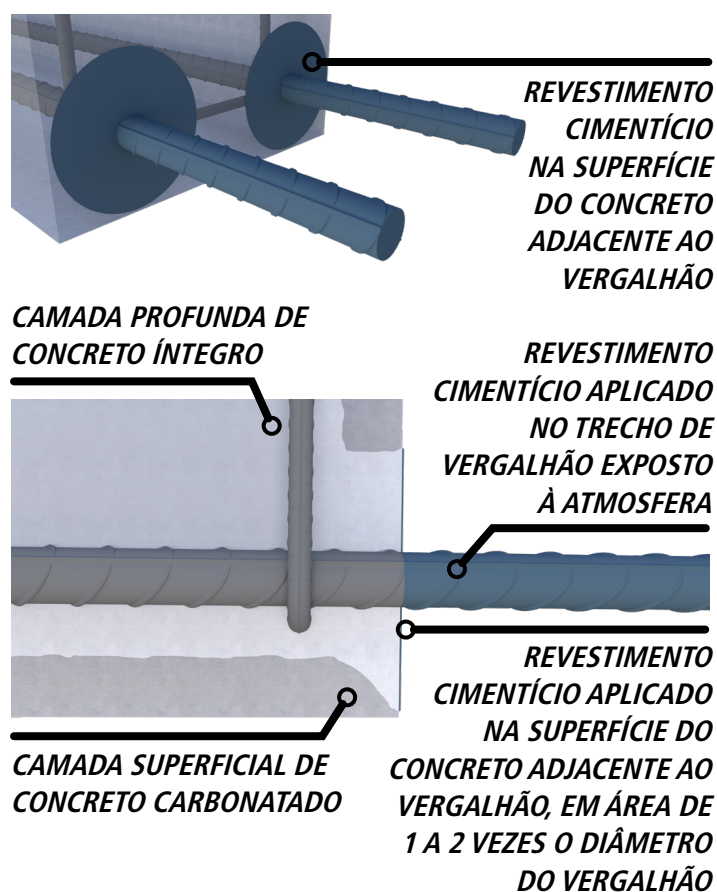


Figura 1.10

Vergalhão de espera com revestimento cimentício protetivo aplicado

Uma busca entre produtos disponíveis no mercado nacional mostrou que há argamassas cimentícias industrializadas específicas e com aditivos especiais para a proteção dos vergalhões de espera de obras não concluídas, inclusive com adição de inibidores de corrosão. Esses produtos estão apresentados comercialmente como revestimentos mono ou bicomponentes, de base cimentícia, com aditivos especiais, ou como revestimento mineral para promoção de ponte de aderência. Explica-se que os inibidores são compostos químicos que, quando em determinadas concentrações junto às superfícies de armaduras, podem retardar a corrosão ou reduzir muito a taxa de corrosão, sem alterar substancialmente as propriedades físicas, químicas e mecânicas do concreto (ARAUJO E MARTINS, 2020).

De modo geral, a argamassa de proteção pode ser aplicada por meio de duas a três demãos com uso de trinchas de cerdas curtas, objetivando atingir uma espessura de cerca de 2 mm. Antes dessa aplicação, deve ser feita a mencionada limpeza do vergalhão de espera para a remoção de impurezas e de produtos não aderentes de corrosão.

Devido à baixa espessura da argamassa de proteção e, ainda, à esperada diferença de propriedades entre as argamassas industrializadas, recomenda-se consultar o fabricante para estimar o prazo de sua reaplicação. Isso é reforçado por uma busca bibliográfica que mostrou a ausência de estudos nacionais específicos quanto à proteção dos vergalhões de espera. De modo geral, espera-se que a reaplicação ocorra em período superior a 6 meses, mesmo em obras não concluídas localizadas em grandes centros urbanos (ricos em CO_2) ou em ambiente marinho (rico em íons Cl^-). Esse período pode ser verificado por meio de uma inspeção visual periódica, em que são monitoradas possíveis alterações, como fissuração, manchamento e o deslocamento da argamassa. Adicionalmente, podem ser realizados ensaios para avaliação da carbonatação e da contaminação com íons Cl^- (ARAUJO E MARTINS, 2020).

A norma de execução de estruturas ABNT NBR 14931 estabelece algumas orientações quanto à proteção dos vergalhões de espera, de acordo com o tempo máximo de exposição sem proteção e da classe de agressividade ambiental, conforme a **Tabela 1.5**.

No momento da utilização futura dos vergalhões de espera, é necessária uma avaliação visual do estado do vergalhão. Caso o revestimento e o vergalhão estejam intactos, não haverá necessidade de remoção da argamassa para concretagem da peça, bastando apenas a remoção das partes soltas da capa de pasta de cimento aplicada, como também orienta a referida norma, no item 8.2.5.

Tabela 1.5
Tempo máximo de exposição dos vergalhões de espera sem proteção contra corrosão - Capítulo 8 da ABNT NBR 14931 (adaptado)

Classe de agressividade ambiental*	Tempo máximo de exposição dos vergalhões de espera sem proteção contra corrosão ^{a,b}
I – Fraca (rural)	24 meses
II – Moderada (urbano)	12 meses
III – Forte (marinho e industrial)	8 meses
IV – Muito forte (respingos de maré e industrial)	1 mês
* Classes de agressividade de acordo com a ABNT NBR 6118 ^a Para todos os casos recomenda-se a realização de inspeções visuais periódicas durante o período de interrupção da concretagem. ^b A continuidade da concretagem deve ser antecedida por uma inspeção visual do vergalhão de espera, mesmo em períodos de tempo inferiores aos limites acima.	

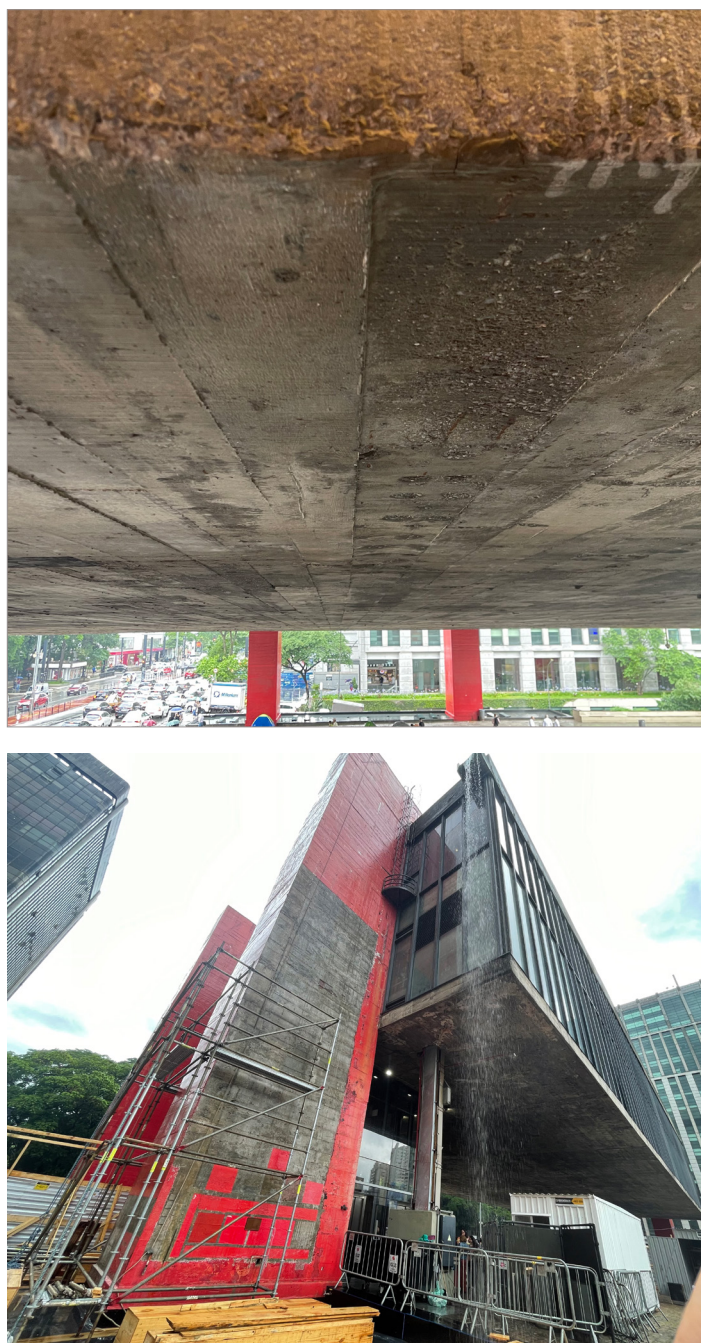


Figura 1.11

Inspeções na estrutura de concreto do MASP (pilares e laje)
(Fonte: ARAUJO, 2023)

INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

Como visto nos tópicos anteriores, a corrosão das armaduras é uma das causas principais de deterioração das estruturas de concreto armado expostas à atmosfera, e deve ser considerada nas atividades de inspeção e de manutenção das estruturas.

PLANEJAMENTO DA MANUTENÇÃO

Para o planejamento de uma manutenção efetiva das estruturas de concreto armado com adequada relação custo-benefício e com respeito às características da construção do ponto de vista técnico e estético, é importante a realização de **inspeções periódicas**, feitas a partir da atualização das informações de projeto e do histórico da estrutura em estudo.

A inspeção contempla usualmente:

- Um exame visual detalhado;
- Ensaios investigativos;
- Análise do ambiente e das solicitações a que a estrutura está sujeita.

Desse modo, pode-se melhor diagnosticar tanto o estado de conservação da estrutura quanto estimar o seu comportamento ao longo do tempo frente ao avanço da corrosão da armadura e de outros processos de degradação que afetam os requisitos de segurança, funcionabilidade e durabilidade.

O planejamento da manutenção contempla a definição de um conjunto de atividades e respectivos materiais e métodos, os quais são normalmente indicados nos laudos técnicos das inspeções.

Como, no Brasil, tem-se um conjunto heterogêneo de obras constituídas de estruturas de concreto armado, muitas delas envelhecidas e/ou com histórico de degradação prematura, muitas vezes o planejamento de manutenção contempla atividades para o tratamento do concreto por meio, por exemplo, de lavagem da superfície aparente, que pode ser química, seguida do estucamento superficial do concreto e/ou da aplicação de uma proteção superficial que restringe a penetração de água (vapor e líquida com e sem contaminação com cloretos) e de gases (em especial CO_2). Usualmente, recomendam-se esquemas de pinturas ou uma impregnação hidrofóbica de alto desempenho, ou ainda a

incorporação de um inibidor de corrosão para mitigar a corrosão já estabelecida ou aumentar o teor limite de cloretos para a despassivação da armadura.

Em processo avançado de degradação, são usualmente recomendadas atividades para restabelecer as condições originais da estrutura (recuperação), ou promover adequações da sua capacidade resistente (reforço) (**Figura 1.12**). A recuperação é a atividade mais comumente realizada nas estruturas debilitadas, o que é feito por meio de reparos localizados, nos quais é fundamental prever materiais e métodos adequados para a passivação da armadura e evitar a formação de anodos incipientes, como, por exemplo, o uso associado de anodos galvânicos (proteção catódica) com argamassas poliméricas industrializadas com propriedades especiais. As argamassas são aplicadas sobre primer de ponte de aderência na superfície exposta do concreto, enquanto a armadura exposta deve ser submetida à limpeza para remoção dos produtos de corrosão, sendo os anodos fixados no perímetro da área de reparo. Outra opção é o uso do mencionado inibidor de corrosão, adicionado à argamassa de reparo e, posteriormente, por meio da impregnação de toda a superfície do concreto, isso sendo feito de modo a garantir um teor mínimo junto à armadura de aço-carbono. Como reforço, podemos citar o aumento da seção do elemento (armaduras e concreto adicional) e/ou da capacidade resistiva com o uso de fibras de carbono.

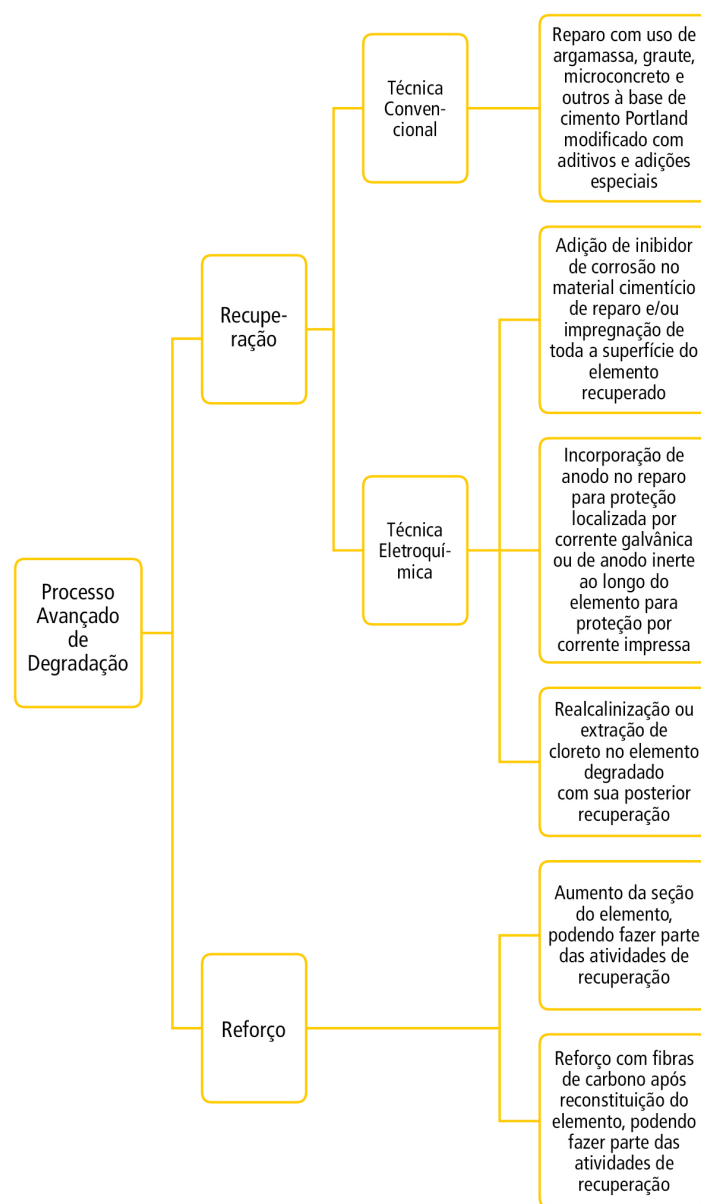


Figura 1.12

Planejamento da manutenção em casos de degradação avançada da estrutura

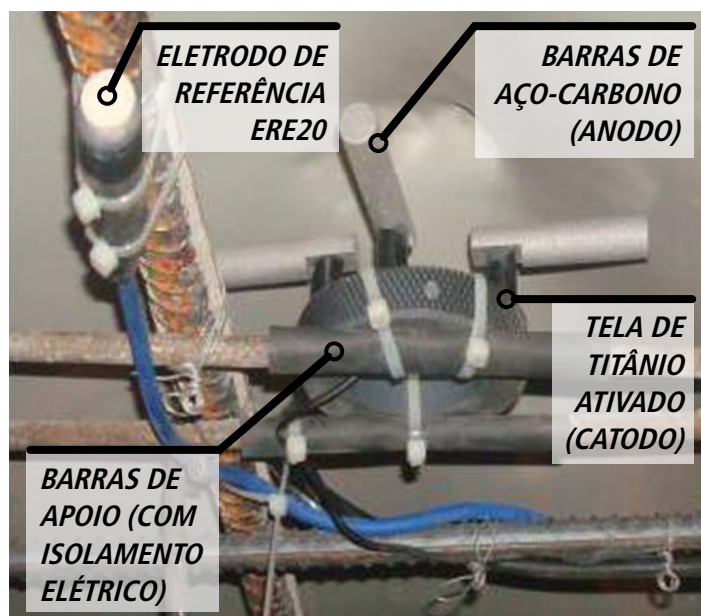


Figura 1.13

Sensor de múltiplos eletrodos (CorroWatch Multisensor) e eletrodo de referência ERE 20 (ARAUJO et al., 2013). Fonte: Force Technology

O planejamento da manutenção pode também contemplar técnicas de monitoramento que visam acompanhar o atendimento da estrutura quanto às **condições de segurança funcional** e/ou de interação com o ambiente. Por exemplo: a inserção de **sensores** para fornecimento permanente de parâmetros relativos ao ingresso de agentes agressivos no concreto de cobrimento da armadura (**Figura 1.13**) e de avaliação do comportamento eletroquímico da armadura (ARAUJO et al., 2013). Desse modo, o monitoramento é uma ferramenta que se soma às atividades de inspeção, contribuindo, inclusive, para um melhor planejamento das manutenções de prevenção da corrosão ou de controle da corrosão já estabelecida. Cabe considerar que tanto as manutenções quanto as inspeções são realizadas com a melhor técnica e com qualidade quando os profissionais envolvidos estão devidamente capacitados e treinados e quando da prévia consulta a normas e recomendações técnicas do segmento, incluindo normas de segurança no trabalho.

No caso de obras novas, espera-se que as manutenções e as inspeções contemplem menos atividades e de baixo custo em razão do crescente uso de adições adequadas para melhorar propriedades do concreto, incluindo inibidor de proteção contra a corrosão da armadura e, ainda, maior controle no processo construtivo. Deve-se ressaltar que cada vez mais estão sendo incorporados sistemas de monitoramento e especificadas armaduras com aços revestidos, aços ligados mais resistentes à corrosão e armaduras não metálicas. No exterior, essas alternativas vêm sendo aplicadas com sucesso para aumentar a vida útil das estruturas. Como exemplo, cita-se o uso de ferro-cromo de baixo carbono (conhecido como *low-carbon ferro-chromium*) e de armaduras de fibra de vidro em matriz polimérica (conhecida como *fiber reinforced polymer*). No Brasil, o aço galvanizado (zincagem por imersão a quente) se destaca, atuando como proteção por barreira entre o aço e o meio e, quando da exposição do aço, como anodo de sacrifício.

NORMAS DE APOIO

Dentre as diferentes normas nacionais que auxiliam no desenvolvimento das atividades de inspeção e manutenção, cita-se a norma *ABNT NBR 9452:2019*, que apresenta parâmetros para a inspeção de obras de arte especiais.

O meio técnico internacional possui uma série de regulamentações voltadas às inspeções e às manutenções, dentre elas, destaca-se a norma *ISO 13822:2010*, que se aplica para estruturas em geral, incluindo aquelas que são parte do patrimônio cultural e para os casos da avaliação de mudança de seu uso, de extensão da vida útil do projeto, de verificação da confiabilidade (por exemplo, para terremotos, aumento das ações de tráfego), de deterioração devido à corrosão e outros processos e, ainda, por ações acidentais.

Cita-se também o Boletim N°22 da *Fédération Internationale du Béton* (2003), que trata do monitoramento global de estruturas de concreto, como pontes, barragens e túneis. Tal monitoramento é baseado nos resultados obtidos em inspeções e ensaios não destrutivos, além de outros métodos aplicáveis de avaliação do estado do concreto e da armadura e do comportamento destes trabalhando solidariamente perante a ação de diferentes parâmetros (como ambientais, cargas, envelhecimento, danos, etc.).

Destaca-se também o Boletim N°102, recém-publicado, que reúne técnicas de proteção e reparo com indicação de quando adotá-los, quais materiais e sistemas necessários, sendo fornecidas orientações e apresentados estudos de caso, além de descrição de procedimento de intervenções e as medidas de controle de qualidade e das atividades de monitoramento e de manutenção. Com tema semelhante, destaca-se a norma *EN 1504*, que especifica os princípios de proteção superficial (*EN 1504-2, 2004*) e de reparo (*EN 1504-3, 2005*), relacionando ensaios para a avaliação de propriedades relevantes dos produtos, como os mencionados hidrofugantes e argamassas de reparo.

No caso de obras novas, destaca-se a importância de consulta a todas as normas de projeto de estruturas de concreto armado e fundações moldadas in loco e pré-fabricadas. Deve ser dada atenção especial aos critérios de durabilidade que hoje constam nas normas brasileiras e às questões relacionadas aos estados limite de serviço.



Figura 1.14
Ponte de concreto armado sendo inspecionada

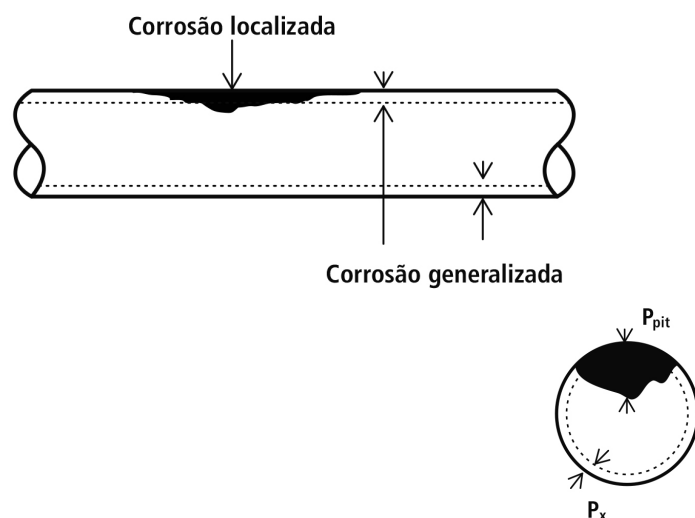


Figura 1.15

Desenho esquemático de representação de penetração de corrosão localizada (P_{pit}) e de corrosão generalizada (P_x) em vergalhão de armadura (adaptado de LIFECON, 2003)

PERDA DE SEÇÃO POR CORROSÃO

Nas mencionadas inspeções periódicas, podem-se definir áreas para investigar a corrosão, sendo estas usualmente aquelas de fratura do concreto para realização de ensaios e de concreto disgregado ou fissurado. Nessas áreas é realizada a finalização da fratura do concreto e consequente exposição dos trechos de vergalhões e estribos, para que seja feito o exame visual e estimada a penetração da corrosão na armadura exposta. A penetração da corrosão corresponde à perda de espessura generalizada ou localizada do aço, ilustrada na **Figura 1.15**. Por essa figura observa-se tanto a perda de espessura - P_x , por corrosão generalizada (formação de microcélulas) ao longo do vergalhão, como a perda máxima de espessura - P_{pit} , por corrosão (formação de macrocélula) em área localizada. Ambas as perdas de espessuras (P_x e P_{pit}) podem ser determinadas pela diferença de diâmetro ($\Delta\varnothing_x$, mm) entre o valor nominal dado em projeto, o original ($\varnothing_o$, mm) e o valor residual ($\varnothing_r$, mm).

A **Figura 1.16** mostra a configuração dos pites, que são os locais da mencionada perda máxima de espessura (P_{pit}), e, também, o acúmulo dos produtos de corrosão nas áreas de corrosão localizada. Em complemento, a **Figura 1.17** apresenta imagens ilustrativas da configuração de alvéolos de corrosão, locais também de máxima perda de espessura (P_{pit}). Esses alvéolos foram resultantes da exposição de vergalhões de aço-carbono diretamente à névoa salina por 20 dias (**Figura 1.17a**) e durante um ano na condição de embutimento em concreto (**Figura 1.17b**)¹.

A avaliação da perda de espessura em áreas de fratura do concreto é feita somente se for visualizada irregularidade localizada na superfície da armadura exposta (como alvéolos de corrosão), consumo de nervuras ou acúmulo significativo de produtos de corrosão. Em geral, a medida é feita com uso de paquímetro, após o lixamento do aço com escova de cerdas metálicas, sendo este vigoroso (uso de equipamento mecânico) quando da presença de produtos de corrosão fortemente aderidos.

¹ Esse estudo mostrou a sabida maior severidade do ataque localizado do aço em concreto do que a resultante da exposição do aço diretamente à atmosfera.

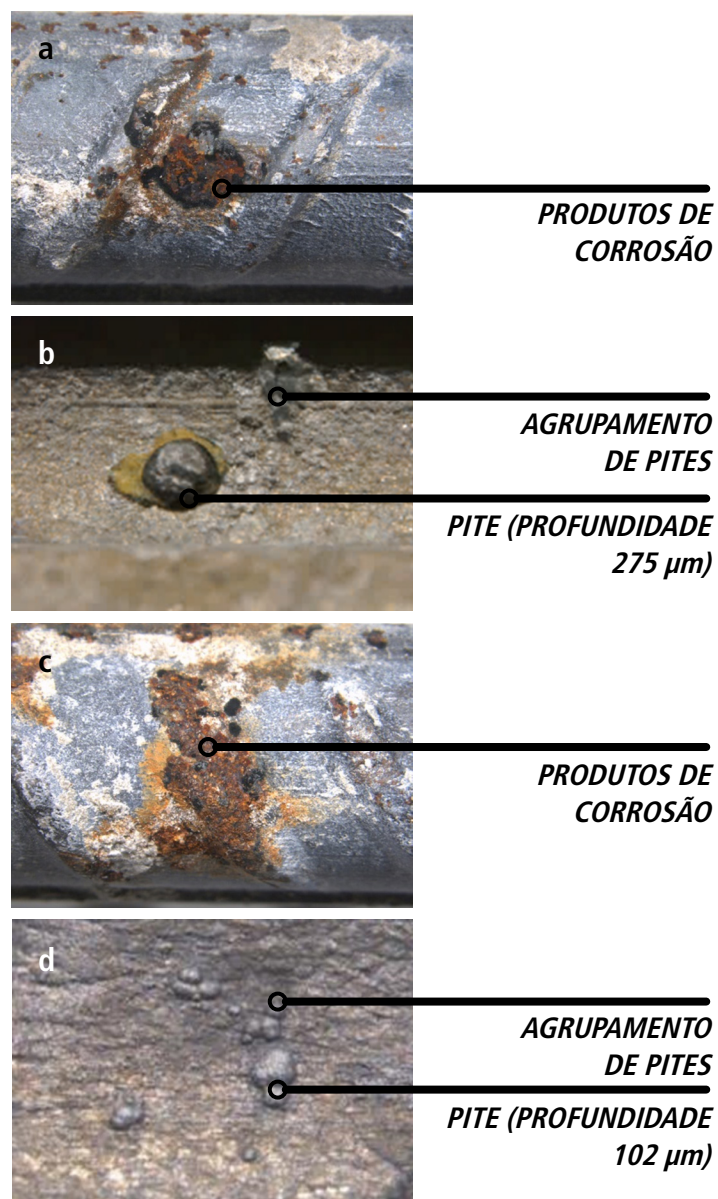


Figura 1.16

Detalhe de áreas corridas de vergalhões com visível acúmulo de produtos de corrosão de coloração predominante marrom avermelhado e presença de cristais de sais de cloretos de cor esbranquiçada (a,c) e presença de pites, alguns agrupados (b,d)

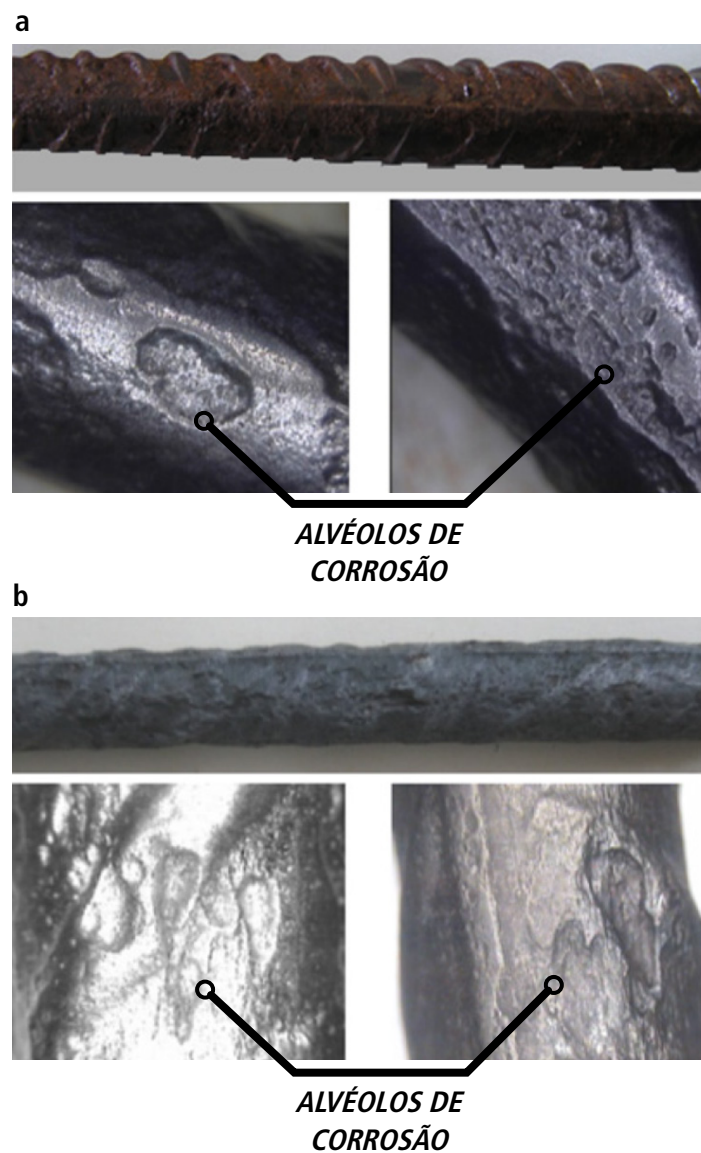


Figura 1.17

Formação de alvéolos de corrosão em vergalhão de aço-carbono exposta diretamente à névoa salina (a) e embutida em concreto (b) (adaptado de APOSTOLOPOULOS et al., 2013)

a



b

**Figura 1.18**

Medida da espessura do concreto de cobertura de armadura recém-exposta (a) e localização da armadura com uso de equipamento END (b)

Muitas vezes, na ocasião dessa avaliação também é medida a espessura de cobertura do estribo (**Figura 1.18a**) e a distância entre estribos e entre vergalhões. Os resultados obtidos podem ser confrontados com as de uso de Equipamento Não Destrutivo – END (**Figura 1.18b**). Os ENDs constam de sensor que, ao ser deslocado sobre a superfície do concreto, emite um campo eletromagnético que, quando atinge a superfície do aço, produz um campo na direção oposta, permitindo localizar no concreto a posição de vergalhões e estribos e respectivos diâmetros².

Cabe considerar que a precisão dos valores de perda de espessura de vergalhões e estribos de armadura é maior com medições realizadas em ensaios laboratoriais, embora poucas vezes possam ser extraídas em campo amostras de vergalhões para a sua realização. No caso de campo, Koulouris e Apostolopoulos (2021) descrevem que medições individuais e em poucos elementos das estruturas podem envolver probabilidade significativa de erro e levar a estimativas não representativas. De qualquer forma, em geral se espera que a perda de espessura não seja homogênea ao longo dos elementos afetados, até porque esta é normalmente maior nas zonas de iniciação da corrosão. Caso a perda de espessura seja pouco significativa e ocorra somente em algumas poucas zonas localizadas de elementos da estrutura, espera-se que pouco impacte na perda de área de armadura do elemento. No entanto, quando ocorre em região de maior solicitação e a perda é significativa, pode ser necessária uma análise mais ampla, sendo requerida uma avaliação estrutural que contemple a análise da importância do elemento, os materiais utilizados e o nível de tensões e a tipologia estrutural, entre outros fatores particulares de cada obra.

Usualmente, em associado ao exame visual da armadura exposta e da determinação da perda da espessura, são realizados ensaios e/ou coletadas amostras na área do concreto fraturado para determinar o agente desencadeador da corrosão.

² Precisão da leitura e da profundidade limite de localização da armadura depende do tipo de equipamento utilizado.

Como parte da investigação da corrosão (**Figura 1.19**), muitas vezes, a inspeção contempla o registro das dimensões e da frequência das áreas de concreto disgregado, bem como daquelas com fissuras de corrosão e com manchas de corrosão, dentre outras manifestações patológicas. No caso de indícios de corrosão em curso e em estruturas envelhecidas e ou expostas a ambientes agressivos, recomenda-se a medida do potencial de corrosão, associado ou não da de resistividade elétrica e/ou de teor de umidade do concreto (ARAUJO et al., 2014 e 2017; ARAUJO; PANOSSIAN; ROSA, 2017).

De modo geral, admite-se que a mencionada perda de espessura decorrente de corrosão generalizada é pouco significativa para vergalhões de grande diâmetro, enquanto a decorrente de corrosão localizada é relevante para vergalhões de menor diâmetro (CONTECVET, 2001). De qualquer forma, na prática de campo adota-se, muitas vezes, a **suplementação de vergalhões e estribos** nas áreas atingidas quando **há uma perda de seção a partir de 10% a 15%**, independentemente do tipo e da importância do elemento e da zona de sua ocorrência. Isso é feito para recompor o elemento de forma similar ao definido em projeto. Cabe citar que, na inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto, a norma *ABNT NBR 9452:2023* considera relevante para a nota de classificação, segundo parâmetros estruturais, a perda de seção de armadura principal quando há redução da área total de aço acima de 20%³ ou quando a perda compromete a estabilidade do elemento estrutural.

³ Não são referenciados na norma os critérios da definição dessa porcentagem.



Figura 1.19

Aspectos a ser considerados em uma investigação do estado de conservação de estruturas de concreto armado com possível corrosão em curso.



Figura 1.20
Exemplos de situações quando armaduras permanecem expostas por algum tempo

DICAS PARA O CANTEIRO: AÇO EXPOSTO POR ALGUM TEMPO PODE SER EMPREGADO?

Na prática, se o aço apresentar corrosão superficial (sem perda de seção), não há prejuízos quanto à passivação e à aderência do aço aplicado (sem impurezas na superfície) no meio alcalino de concreto comum de qualidade. Neste caso, para o emprego dos vergalhões de aço, basta apenas remover os produtos de corrosão não aderentes e sujidades, o que pode ser feito com lavagem com água sob pressão (hidrojateamento).

Quando há incerteza da intensidade da corrosão do aço e de suas consequências, a remoção dos seus produtos de corrosão (óxidos depositados na superfície do aço) passa a ser importante para um exame visual mais detalhado.

Esse exame pode ser feito em alguns pontos dos vergalhões, para verificar a preservação das características geométricas e dimensionais. A remoção da corrosão (superficial ou não) pode ser feita por limpeza manual com uso de escova de cerdas metálicas. Caso uma limpeza mecânica seja necessária, ela pode ser feita com uso de escova rotativa com cerdas metálicas ou com água sob pressão (processo de hidrojateamento).

O diâmetro do vergalhão pode ser conferido com paquímetro, e caso se identifique perda de seção significativa (10 a 15% ou mais), há necessidade de suplementação de vergalhões e estribos nas áreas atingidas.

Atenção é necessária para identificar os locais de corrosão mais acentuada, seja generalizada, seja uma corrosão por pite (localizada) (**Figura 1.15**).

Vale ressaltar que é essencial contar com profissionais técnicos (engenheiros e projetistas) na etapa de investigação da manifestação patológica e no tratamento, reparo, suplementação de armadura ou mitigação do dano.

CAPÍTULO 2

DETALHES GERAIS

DAS ARMADURAS

As normas *ABNT NBR 7480*, *ABNT NBR 7481* e *ABNT NBR 6118* estabelecem as características e as condições do aço empregado em vergalhões em estruturas de concreto armado. No entanto, as normas não abrangem os limites máximos que os equipamentos de corte e dobra possuem. Considerando que grande parte deste material é fornecido à obra após o processo de corte e dobra, entender melhor estas limitações é essencial. Este capítulo discute os detalhes de projeto e montagem referentes a estas limitações.

Além disso, complementando as especificações presentes na *ABNT NBR 14931*, apresentam-se, neste capítulo, as tolerâncias necessárias ao posicionamento de armaduras e sua importância para a segurança e a durabilidade do sistema estrutural.

For fim, também se aborda neste capítulo a importância dos espaçadores para que os cobrimentos de projeto sejam respeitados, prezando a durabilidade dos elementos estruturais, como discutido no Capítulo 1.

LIMITE DOS VERGALHÕES

Um dos principais pontos a ser considerados na engenharia de estruturas (e na engenharia em geral) são os custos dos insumos. Em relação ao aço, quanto menos emendas de traspasse houver, mais econômico será o projeto estrutural.

No entanto, é importante salientar que existem casos em que não se podem eliminar por completo as emendas dos vergalhões. A seguir, são listados alguns destes casos:

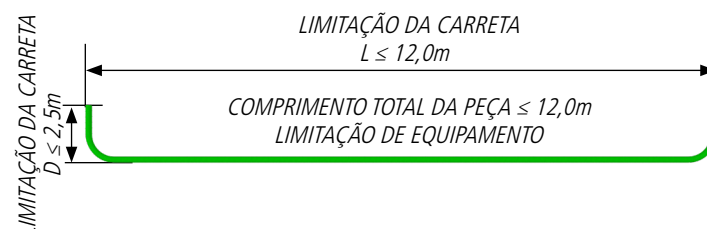


Figura 2.1

Limites a ser respeitados para vergalhões

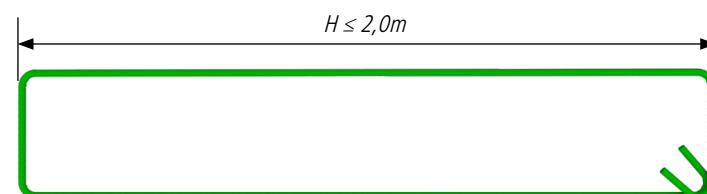


Figura 2.2

Limite da dimensão dos estribos

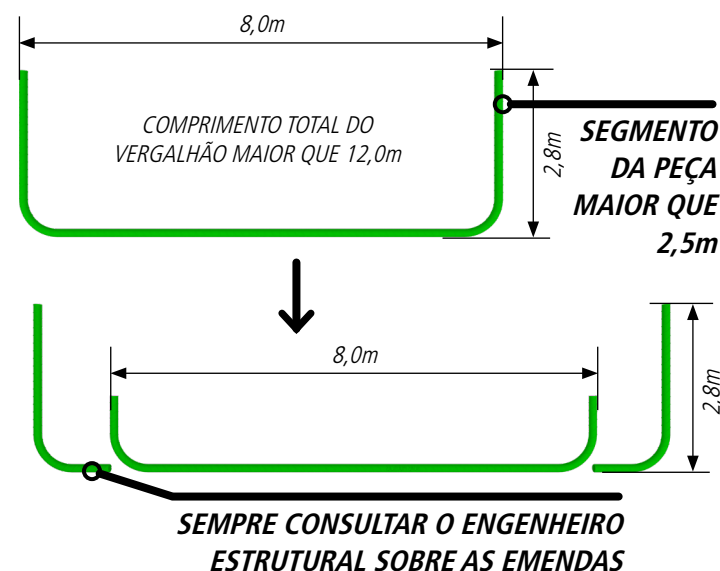


Figura 2.3

Exemplo de segmentação de uma peça com diversas limitações de dimensões e de difícil manuseio no posicionamento na obra

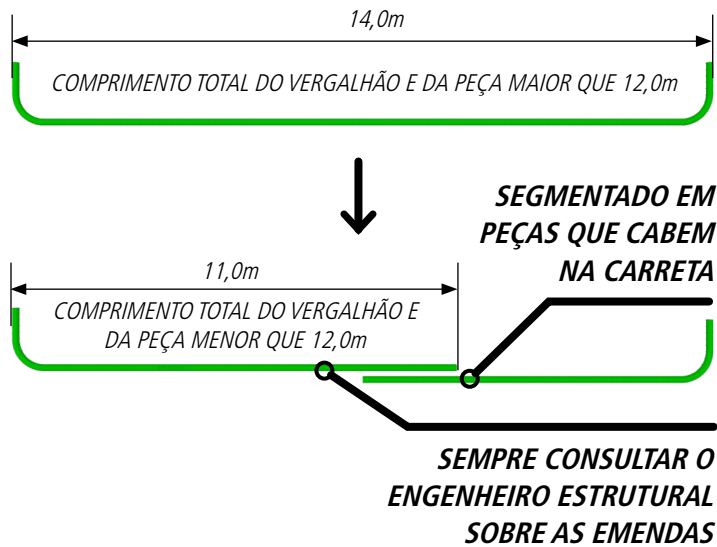


Figura 2.4

Exemplo de segmentação de uma peça com trecho maior que 12 metros

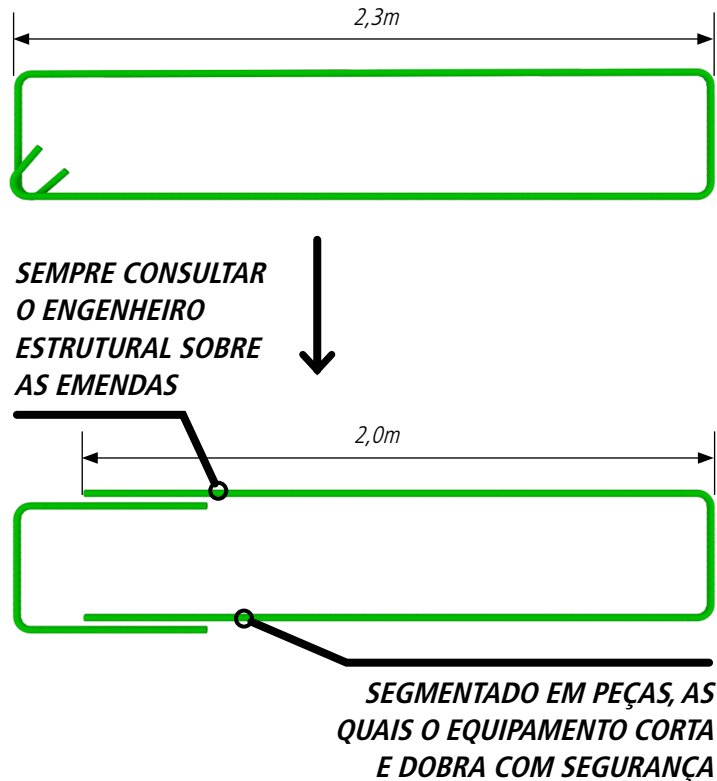


Figura 2.5

Exemplo de segmentação de um estribo

CASO 1

O limite dos 12,0m

Atualmente, vergalhões de até 20mm de diâmetro são fornecidos em rolos ou bobinas para as unidades de corte e dobra. No entanto, quanto ao comprimento das armaduras, os equipamentos de corte e dobra apenas têm capacidade para 12,0m totais (**Figura 2.1**). Além da limitação dos equipamentos, a carreta que transporta o aço da unidade de corte e dobra para a obra também possui uma limitação de 12,0m de comprimento da peça. Esses limites podem variar ligeiramente, dependendo do equipamento, mas mantêm-se dentro dessa ordem de grandeza.

CASO 2

Trechos retos de até 2,5m de comprimento

Semelhante ao primeiro caso, há um limite de 2,5m de largura da carreta. Consequentemente, não pode haver ganchos (ângulo de 90°) que superem este limite (**Figura 2.1**).

CASO 3

Estribos de até 2m de altura/largura

O equipamento de corte e dobra também impõe uma limitação de 2m de altura e largura para os estribos (**Figura 2.2**). Dimensões superiores podem causar acidentes para o operador do equipamento de corte e dobra. Estes limites podem variar ligeiramente, dependendo do equipamento, mas mantêm-se dentro dessa ordem de grandeza.

CASO 4

Limitações de montagem

Dependendo do elemento estrutural que for montado na obra (por exemplo, blocos de coroamento de grandes dimensões), é interessante utilizar segmentos de armadura. Isso facilita o transporte, o posicionamento e o acesso do armador em trechos do elemento estrutural que possuem uma densidade de armadura elevada. As **Figuras 2.3, 2.4 e 2.5** apresentam alguns exemplos e sugestões de segmentações para peças que não atendem aos limites citados acima.

TOLERÂNCIAS

A norma *ABNT NBR 14931* estabelece tolerâncias de execução no posicionamento das armaduras (**Tabela 2.1**). Ressalta-se que essas tolerâncias não se aplicam em regiões especiais, como encontro viga x pilar, encontro viga x viga, consoles, região de transpasse de armadura de pilares, entre outros.

Distância livre

O espaçamento livre entre vergalhões é necessário para garantir que o concreto envolva os vergalhões ou os vergalhões associados, resultando no funcionamento conjunto do concreto com a armadura. A *ABNT NBR 6118* menciona que o espaçamento mínimo livre entre vergalhões deve respeitar 1,2 e 0,5 vez a dimensão máxima do agregado graúdo, na horizontal e na vertical, respectivamente.

Normalmente, o espaçamento livre entre vergalhões, denominado aqui como “distância livre” (D_L), e o espaçamento livre entre vergalhões associados (feixe), denominado como “distância livre entre associações” ($D_{L,A}$), podem ser observados nas **Figuras 2.6 e 2.7**.

No caso dos vergalhões associados (feixes) paralelos, como apresentados na **Figura 2.7**, $\varnothing_n$ é calculado pela equação a seguir:

$$\varnothing_n = \varnothing_f \sqrt{n}$$

Onde:

$\varnothing_n$ é o diâmetro equivalente do feixe (vergalhões associados).

$\varnothing_f$ é o diâmetro dos vergalhões que compõem o feixe.

n é o número de vergalhões que compõem o feixe.

Tolerância horizontal e vertical

Os vergalhões contidos por estribos possuem uma tolerância horizontal e vertical (Δ_{hv}) de acordo com a altura do elemento estrutural (h). Essas distâncias podem ser observadas nas **Figuras 2.8 e 2.9**.

Tabela 2.1

Tolerâncias para o posicionamento da armadura em elementos estruturais em concreto armado lineares e de superfície - Capítulo 10 da *ABNT NBR 14931* (reprodução adaptada)

Locação horizontal e vertical dos vergalhões em lajes, vigas, paredes e pilares ^a		Espaçamento entre vergalhões ^{b, c, d}	Tolerância total de espaçamento ao longo de um elemento ^{e, f, g, h}	
Altura (ou espessura) h do elemento mm	Tolerância ^h Δ_{hv} mm	Tolerância ^h $\Delta_{s,laj}$ mm	$\Delta_{s,vig}$ mm	$\Delta_{s,pil}$ mm
$h \leq 100$	± 6	± 25	± 25	± 25
$100 < h \leq 300$	± 10			
$h > 300$	± 13			

^a A tolerância para o posicionamento vertical de vergalhões em lajes sobre solo é de ± 20 mm e deve estar de acordo com o cobrimento especificado em projeto.
^b A tolerância não pode ser maior que $\frac{1}{4}$ do espaçamento designado.
^c O espaçamento livre deve ser de no mínimo 20 mm ou o diâmetro dos vergalhões analisados, o maior dos dois valores (D_L).
^d O espaçamento entre associações de vergalhões não pode ser menor que 25 mm ou menor que o diâmetro equivalente da soma das áreas de todos os vergalhões de uma associação, o maior dos dois valores ($D_{L,A}$).
^e Tolerância medida ao longo de uma linha paralela ao espaçamento do elemento estrutural.
^f Esta tolerância, para estribos de vigas, deve ser considerada como o menor valor entre ± 75 mm e ± 25 mm a cada 300 mm de altura de viga ($\Delta_{s,vig}$).
^g Esta tolerância, para estribos de pilares, deve ser considerada como o menor valor entre ± 75 mm e ± 25 mm a cada 300 mm de largura, onde esta largura pertence ao trecho do pilar com a menor largura ($\Delta_{s,pil}$).
^h Os detalhes das tolerâncias são apresentados na Figura 3 da norma.

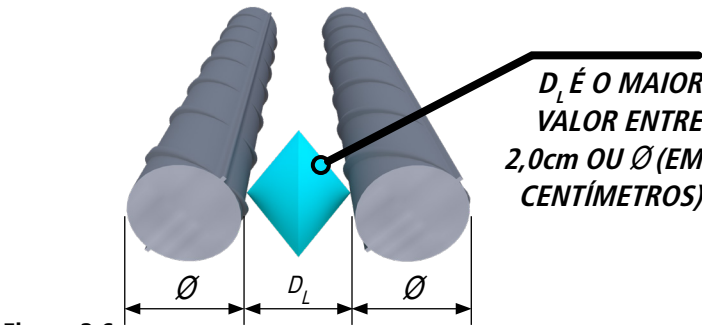


Figura 2.6
Distância livre entre vergalhões paralelos

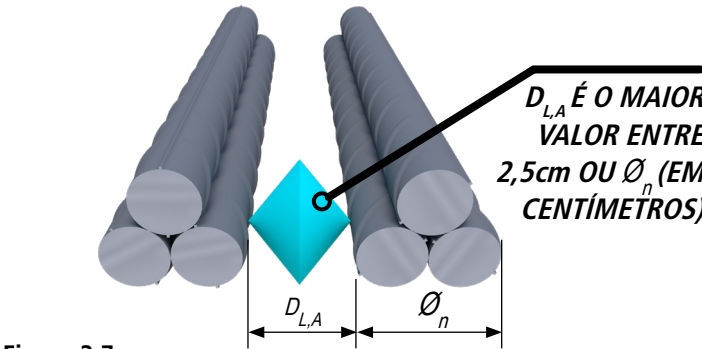


Figura 2.7
Distância livre entre vergalhões associados (feixes) paralelos

Sendo h a altura da viga, tem-se:

- se $h \leq 10\text{cm}$, Δ_{hv} até 0,6cm;
- se $10 < h \leq 30\text{cm}$, Δ_{hv} até 1,0cm;
- se $h > 30\text{cm}$, Δ_{hv} até 1,3cm.

**TOLERÂNCIAS BASEADAS
NA ABNT NBR 14931. PARA
POSIÇÕES DIVERGENTES A
ESTA FIGURA, CONSULTAR O
ENGENHEIRO ESTRUTURAL**

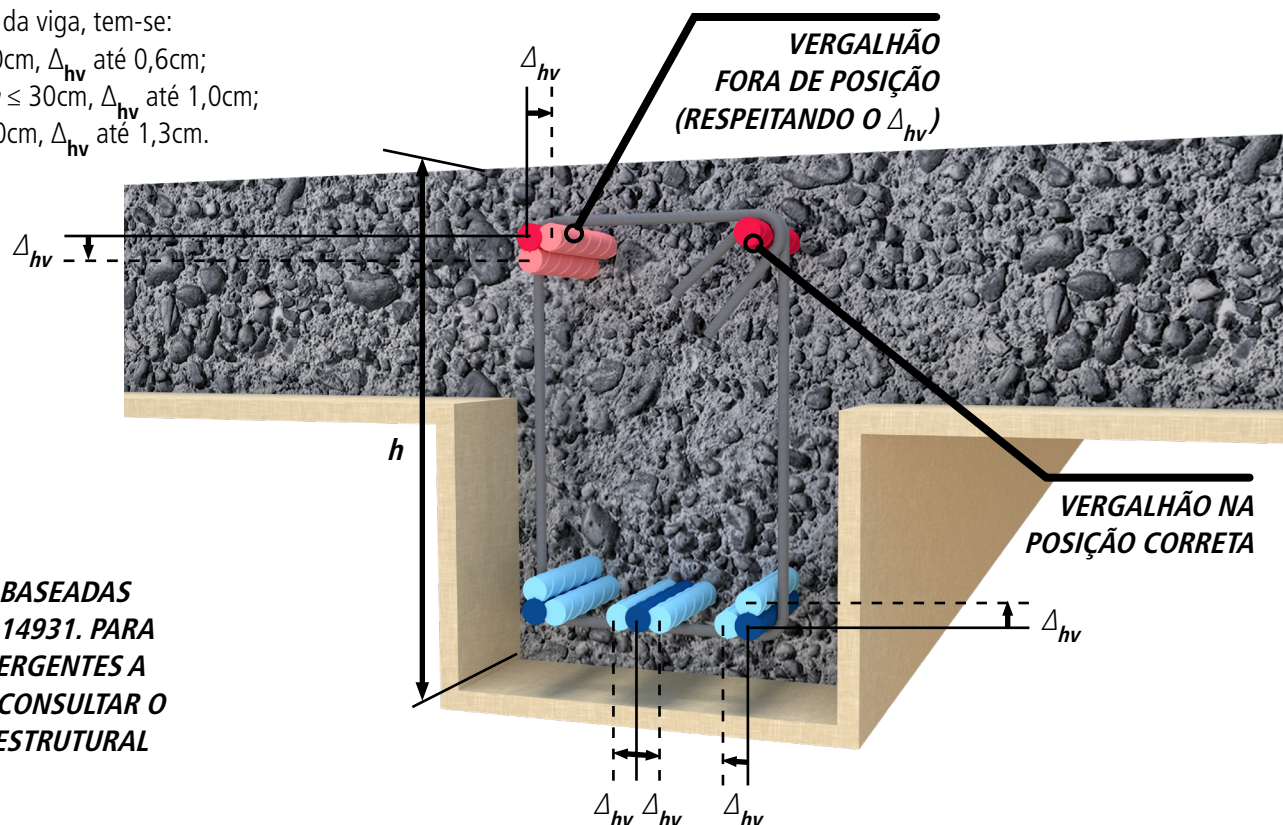


Figura 2.8

Tolerância horizontal e vertical de acordo com a espessura (altura) da viga

Sendo h a menor largura do pilar, tem-se:

- se $14 \leq h \leq 30\text{cm}$, Δ_{hv} até 1,0cm;
- se $h > 30\text{cm}$, Δ_{hv} até 1,3cm.

**TOLERÂNCIAS BASEADAS
NA ABNT NBR 14931. PARA
POSIÇÕES DIVERGENTES A
ESTA FIGURA, CONSULTAR O
ENGENHEIRO ESTRUTURAL**

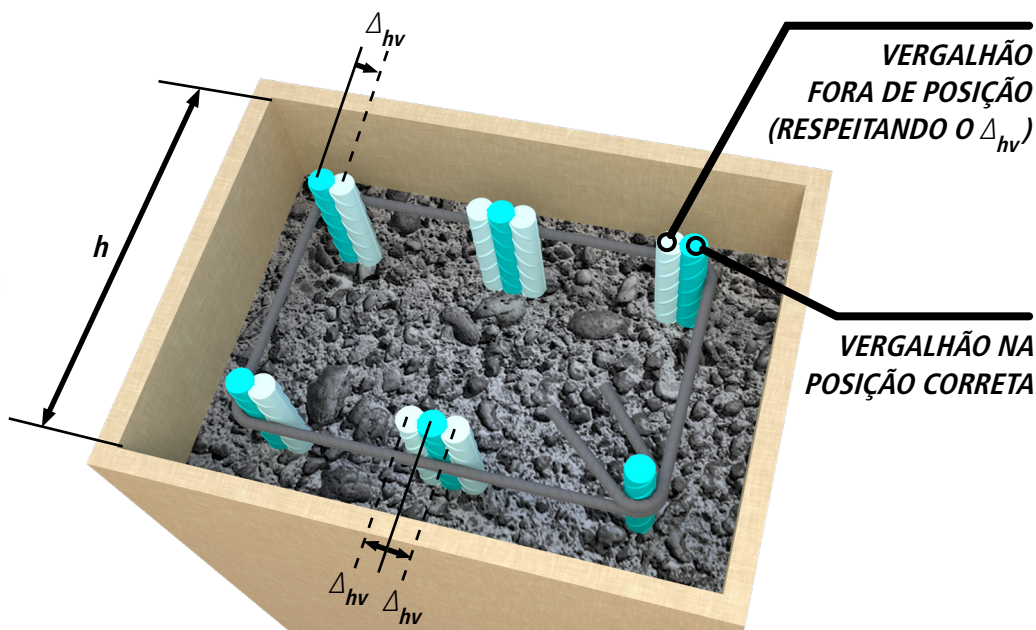


Figura 2.9

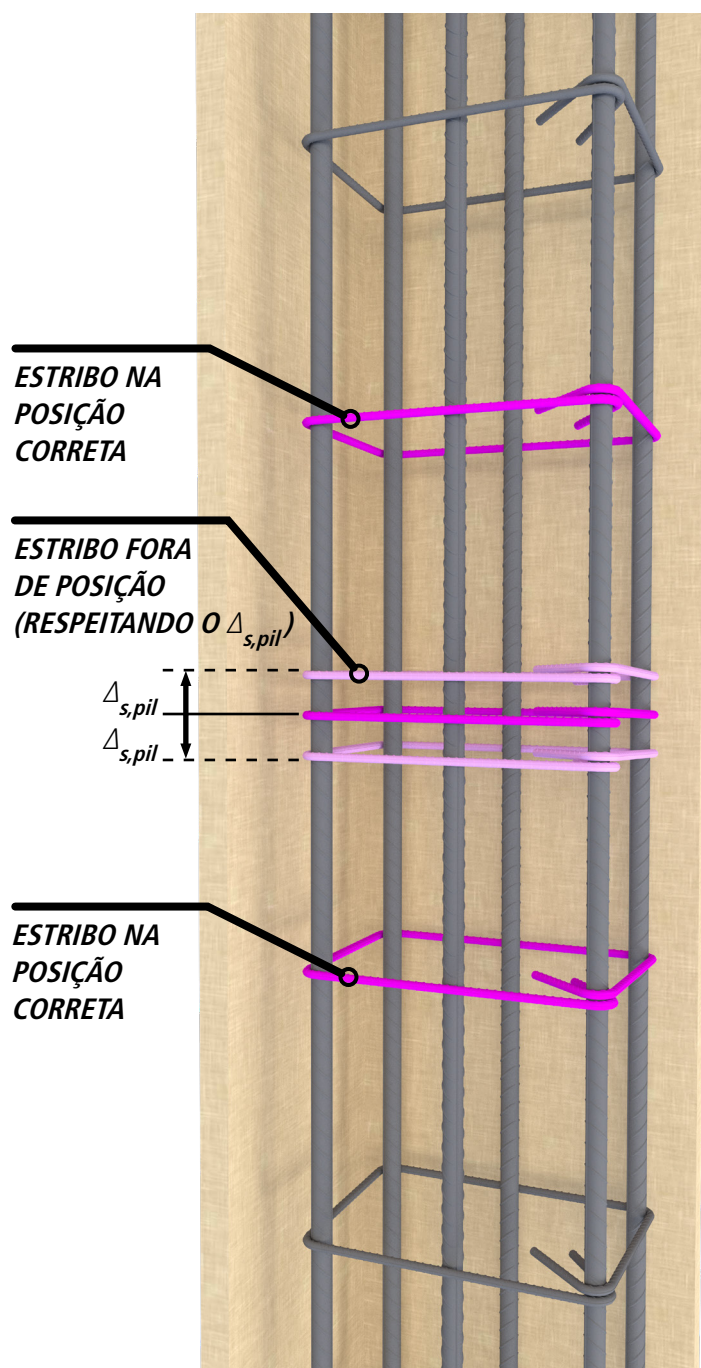
Tolerância horizontal e vertical de acordo com a menor espessura (largura) do pilar

Tolerância baseada no espaçamento dos vergalhões

Para estribos de pilares, recomenda-se uma tolerância $\Delta_{s,pil}$ máxima de 5cm, em vez dos 7,5cm que são recomendados pela ABNT NBR 14931 (Tabela 2.1, nota g). Esta limitação (Figura 2.10) é válida principalmente nas regiões de emendas e em pilares projetados em concretos de alta resistência ($f_{ck} \geq 50\text{MPa}$).

Em lajes, há uma tolerância ($\Delta_{s1,laj}$, $\Delta_{s2,laj}$, $\Delta_{s3,laj}$ etc.) de posicionamento para cada vergalhão. A Figura 2.11 apresenta as formas adequadas de tais tolerâncias. Nestes casos, $\Delta_{s,laj}$ pode ter o maior valor entre 2,5cm e $s/4$, sendo s o espaçamento entre cada tipo de vergalhão. Estas recomendações também podem ser extrapoladas para sapatas.

Por fim, nas vigas, a tolerância dos estribos $\Delta_{s,vig}$ é demonstrada na Figura 2.12.



Sendo h a menor largura ou diâmetro do pilar, tem-se:

- se $h \leq 30\text{cm}$, $\Delta_{s,pil}$ até 2,5cm;
- se $h > 30\text{cm}$, $\Delta_{s,pil}$ até 5,0cm.

Figura 2.10

Tolerância do espaçamento dos estribos conforme a menor largura do pilar

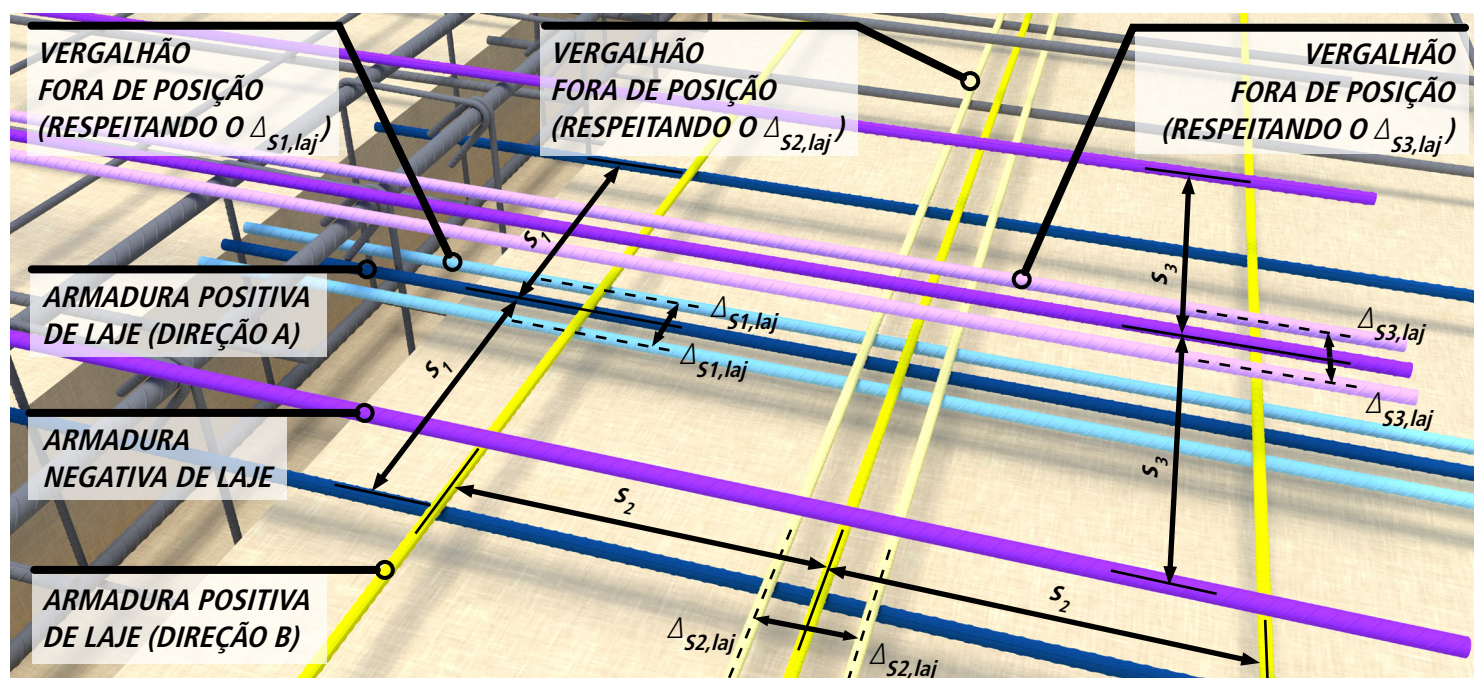


Figura 2.11

Tolerância de acordo com o espaçamento (s) das armaduras da laje, sendo $\Delta_{s,laj}$ o maior valor entre 2,5cm e $s/4$

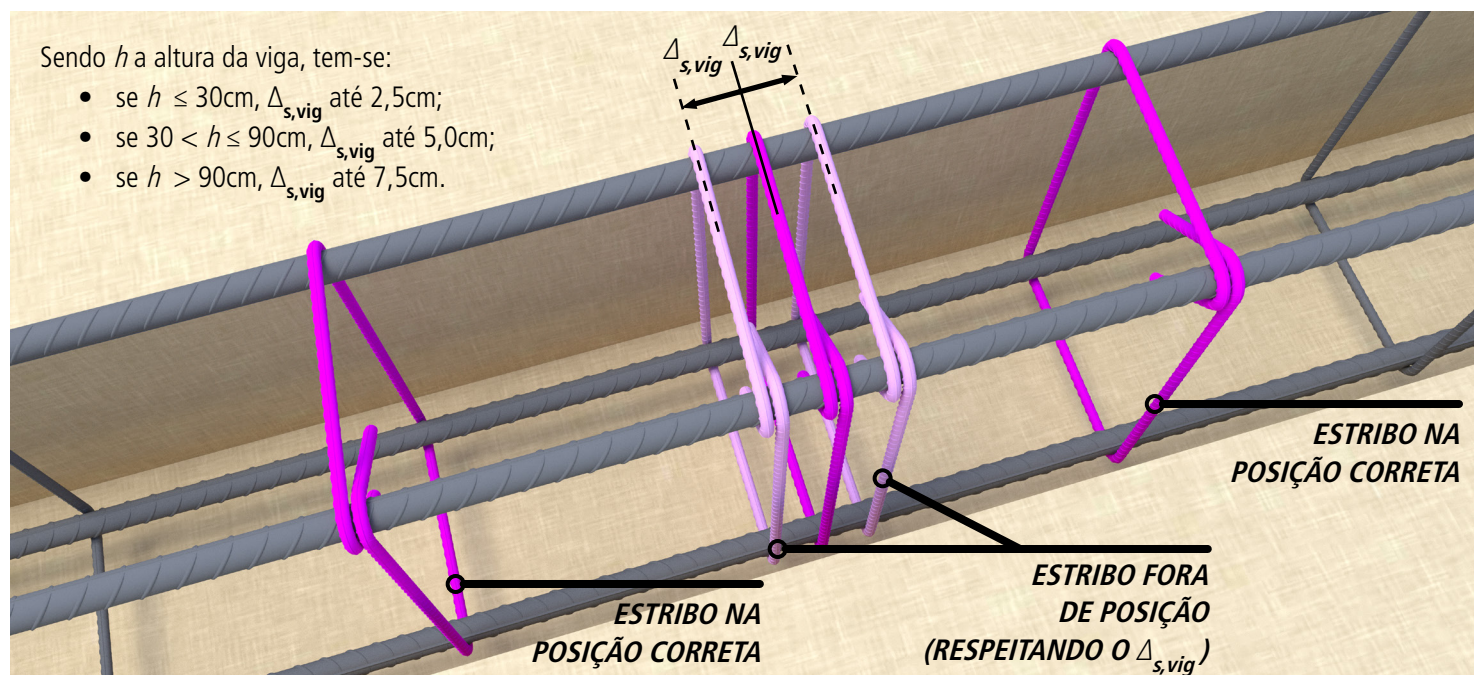


Figura 2.12

Tolerância do espaçamento dos estribos de acordo com altura da viga

ESPAÇADORES

Conforme relatado por Menna Barreto (2014) e Maran (2015), a falta de orientação na execução das estruturas e o uso incorreto de espaçadores ainda é comum na construção civil brasileira. A partir do levantamento dos cobrimentos em nove obras nacionais, os pesquisadores constataram um número alarmante de descumprimentos dos valores mínimos de cobrimento especificados em norma, especialmente em lajes e fundos de vigas.

Desse modo, faz-se necessário chamar atenção para a importância dos espaçadores e os requisitos necessários para seu desempenho adequado. A seguir, os requisitos essenciais dos espaçadores, segundo Menna Barreto (2014):

Dimensional

- Proporcionar um único cobrimento ou no máximo dois claramente identificados.
- Garantir o cobrimento mínimo nominal.
- Possuir as dimensões mínimas da base onde será posicionado o vergalhão.

Identificação

- Possuir cobrimento nominal e identificação do fabricante no produto.
- Possuir cores distintas entre produtos do mesmo modelo com cobrimentos diferentes.

Fixação

- Possuir item de fixação integrado capaz de impedir o deslizamento do vergalhão.

Estabilidade

- Possuir estabilidade.

Capacidade de carga

- Possuir capacidade de carga e deformação linear permanente inferior a 1 mm.

Aplicação

- Possuir fácil aplicação.

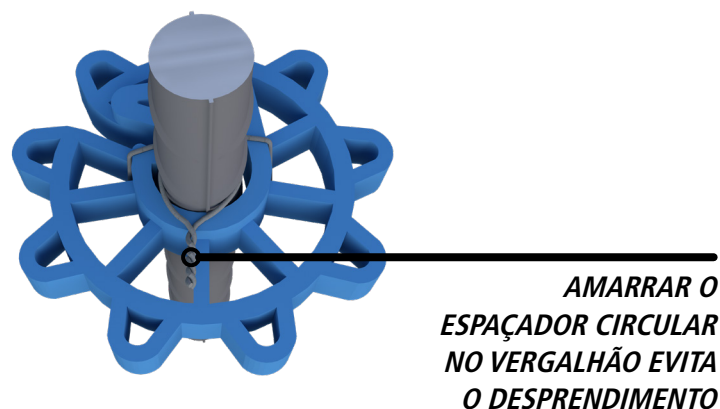


Figura 2.13
Espaçador circular

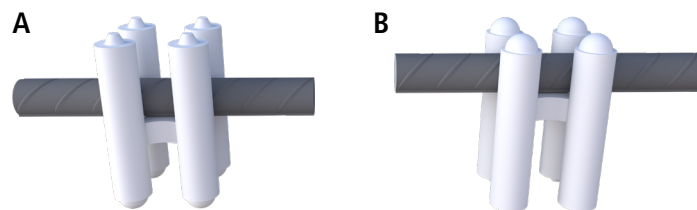


Figura 2.14
Espaçador cadeirinha ou torre

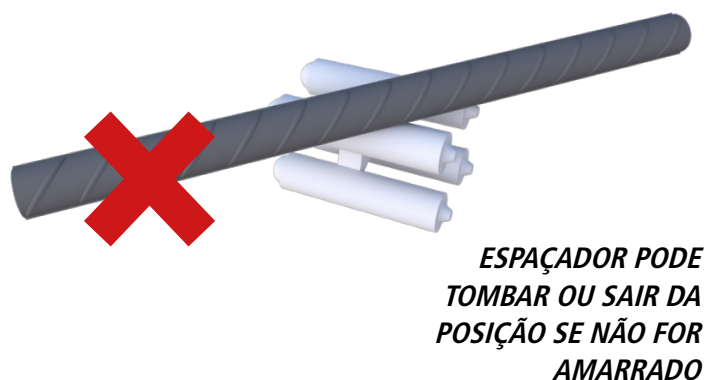


Figura 2.15
Espaçador cadeirinha ou torre tombado por não estar amarrado

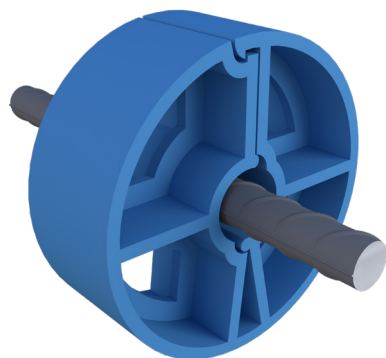


Figura 2.16
Espaçador rolete

Nestas e nas próximas páginas, são apresentados os principais tipos de espaçadores utilizados na construção de edifícios em concreto armado. Já nos próximos capítulos, chama-se a atenção para as distâncias adequadas entre espaçadores nos elementos estruturais. Vale lembrar que essas distâncias são sugestões e convém ao responsável pela inspeção das armaduras avaliar se estas distâncias estão mantendo a posição da armadura de acordo com o cobrimento registrado no projeto.

Espaçador circular

De acordo com o capítulo 8 da *ABNT NBR 14931*, espaçadores plásticos podem ser utilizados. É o caso do espaçador circular, normalmente usado em vigas, pilares, blocos de coroamento, cortinas, reservatórios e piscinas. É importante também lembrar que amarrar o espaçador circular no vergalhão previne o desprendimento, o que, por sua vez, evita o retrabalho de reposicionamento (**Figura 2.13**).

Espaçador cadeirinha ou torre

Este espaçador é usado normalmente para posicionamento da armadura positiva da laje. Ele requer atenção redobrada em duas questões:

- na escolha correta da opção de cobrimento (ele possui duas opções): a escolha incorreta pode causar o desrespeito ao cobrimento de projeto (**Figuras 2.14A e 2.14B**);
- na amarração: se não for amarrado, ele pode tombar ou sair da posição com facilidade (**Figura 2.15**).

Espaçador rolete

O espaçador rolete é normalmente usado em armaduras de parede diafragma e estacas (**Figura 2.16**). No entanto, também é possível utilizá-lo nas armaduras laterais de blocos de coroamento, para facilitar o posicionamento de tais armaduras dentro da fôrma.

Espaçador multiapoio ou centopeia

Este espaçador é usado em vigas, pilares, blocos de coroamento, cortinas, reservatórios e piscinas, e para o posicionamento da armadura positiva da laje e de escadas.

Recomenda-se posicionar o espaçador longitudinalmente ao vergalhão (Figura 2.17). No entanto, quando posicionado transversalmente aos vergalhões, o espaçador centopeia pode sofrer deformações (Figura 2.18).

Espaçador de concreto ou argamassa

De acordo com o capítulo 8 da ABNT NBR 14931, é permitido o uso de espaçadores de concreto ou argamassa desde que apresentem relação água/cimento menor ou igual ao de projeto. Por possuir dimensões consideráveis, recomenda-se que este espaçador também tenha, no mínimo, o mesmo f_{ck} de projeto, pois o espaçador pode trabalhar em conjunto com o concreto.

Em estruturas de concreto aparente, recomenda-se o uso do espaçador de concreto ou argamassa para evitar marcas e as cores indesejáveis dos espaçadores plásticos na superfície do elemento estrutural (Figura 2.19).

Além de no concreto aparente, pode-se usar este espaçador nas armaduras inferiores de sapatas, blocos de coroamento e nas vigas de transição.

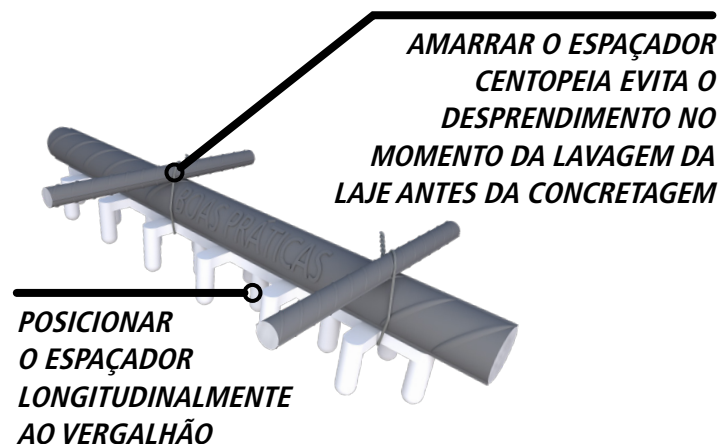


Figura 2.17

Espaçador multiapoio ou centopeia na direção longitudinal ao vergalhão



Figura 2.18

Espaçador multiapoio ou centopeia na direção transversal ao vergalhão

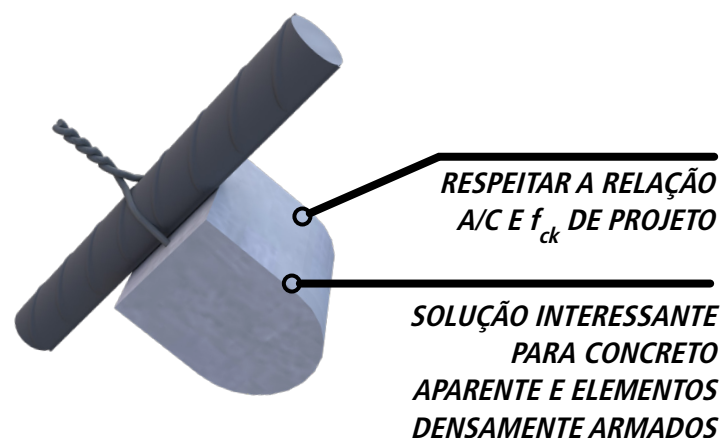


Figura 2.19

Espaçador de concreto ou argamassa

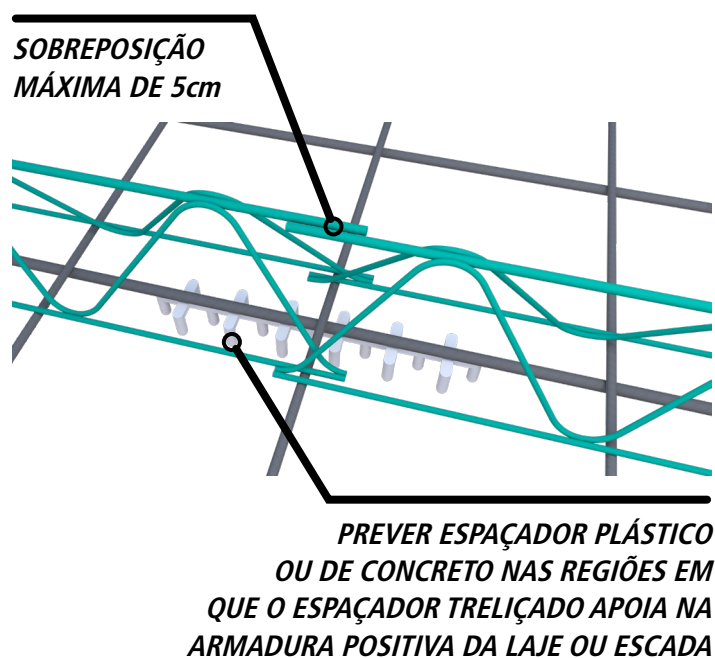


Figura 2.20
Espaçador treliçado

Espaçador treliçado

O capítulo 8 da *ABNT NBR 14931* menciona que os suportes das armaduras negativas de lajes devem ser rígidos e adequadamente espaçados para assegurar o posicionamento correto da armadura durante a concretagem. Suportes plásticos podem ser utilizados, contando que não se deformem ou quebrem. No entanto, tais suportes, por possuírem resistência menor, podem ser necessários em maior quantidade quando comparados aos suportes metálicos.

Um suporte metálico utilizado em muitas regiões do Brasil é o chamado “caranguejo”. Apesar de frequente, ele requer atenção redobrada no seu pré e pós-posicionamento. Como alternativa, recomenda-se o espaçador treliçado (**Figura 2.20**), o qual é bem adequado aos preceitos e cuidados indicados na norma.

Na montagem da armadura ou durante a concretagem, é comum o deslocamento dos vergalhões ao se pisar na armadura negativa da laje. Quando utilizado o espaçador treliçado, tal peso é facilmente absorvido e distribuído na armadura positiva da laje pelo espaçador. Nestes casos também convém posicionar espaçadores plásticos ou de concreto nessas regiões para manter o cobrimento da armadura positiva.

Os espaçadores treliçados são comercializados em diversos comprimentos. Caso o comprimento não seja suficiente para atender o vão da laje, pode-se complementar com outro espaçador treliçado, com uma sobreposição máxima de 5cm. Não é recomendado sobreposições acima de 5cm, de modo a evitar o desperdício do material.

Existem alguns espaçadores treliçados que quebram com facilidade na região das soldas. Constatado este problema, é importante solicitar a troca do produto.

CAPÍTULO 3

ARMADURAS DE SAPATAS

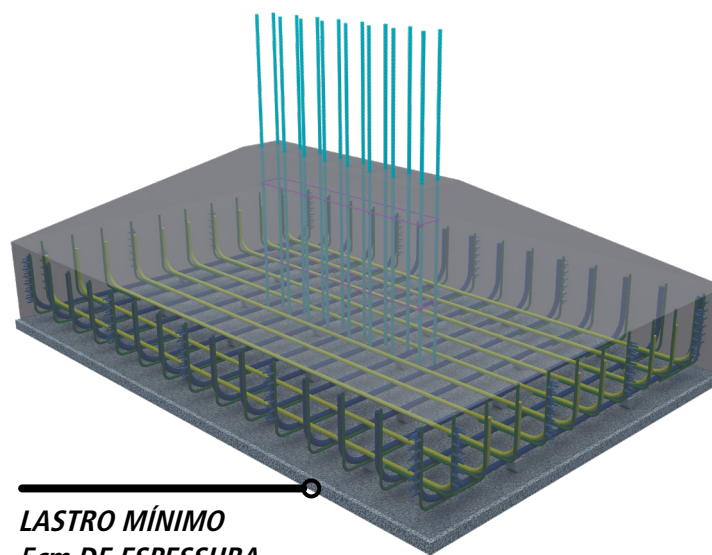
Conforme apontado no Capítulo 3 da *ABNT NBR 6122*, as sapatas possuem tensões de tração que devem ser resistidas pelas armaduras, e não pelo concreto. Desse modo, tais armaduras de sapatas merecem especial atenção para garantir o correto funcionamento do elemento de fundação rasa.

O Capítulo 22 da *ABNT NBR 6118* classifica as sapatas em rígidas ou flexíveis. Sapatas flexíveis, no entanto, não serão contempladas neste Manual, pois são soluções estruturais pouco usadas em edificações. Isso se deve a cálculos adicionais para validação, dimensionamento e detalhamento, quando comparados aos referentes às sapatas rígidas. Além disso, sapatas flexíveis podem levar ao consumo maior de aço em comparação às sapatas rígidas e exigir armaduras de cisalhamento, que tornam mais complexa sua execução.

Nas sapatas rígidas, as armaduras concentram-se na região inferior do elemento estrutural e, normalmente, não se colocam armaduras de combate ao cisalhamento e à punção.

Segundo o Capítulo 7 da *ABNT NBR 6122*, para elementos de fundação rasa que não se apoiam diretamente em rochas, deve-se prever uma camada de lastro de concreto simples de, no mínimo, 5cm de espessura (**Figuras 3.1, 3.2 e 3.3**). E, nos casos de apoio em rocha que não apresentem uma superfície plana e horizontal, pode-se usar o lastro de concreto simples com altura variável não inferior a 5cm para obter essa superfície.

As **Figuras 3.1, 3.2 e 3.3** apresentam, respectivamente, detalhes de sapatas rígidas isoladas, corridas e associadas.



LASTRO MÍNIMO
5cm DE ESPESSURA

Figura 3.1
Sapata isolada

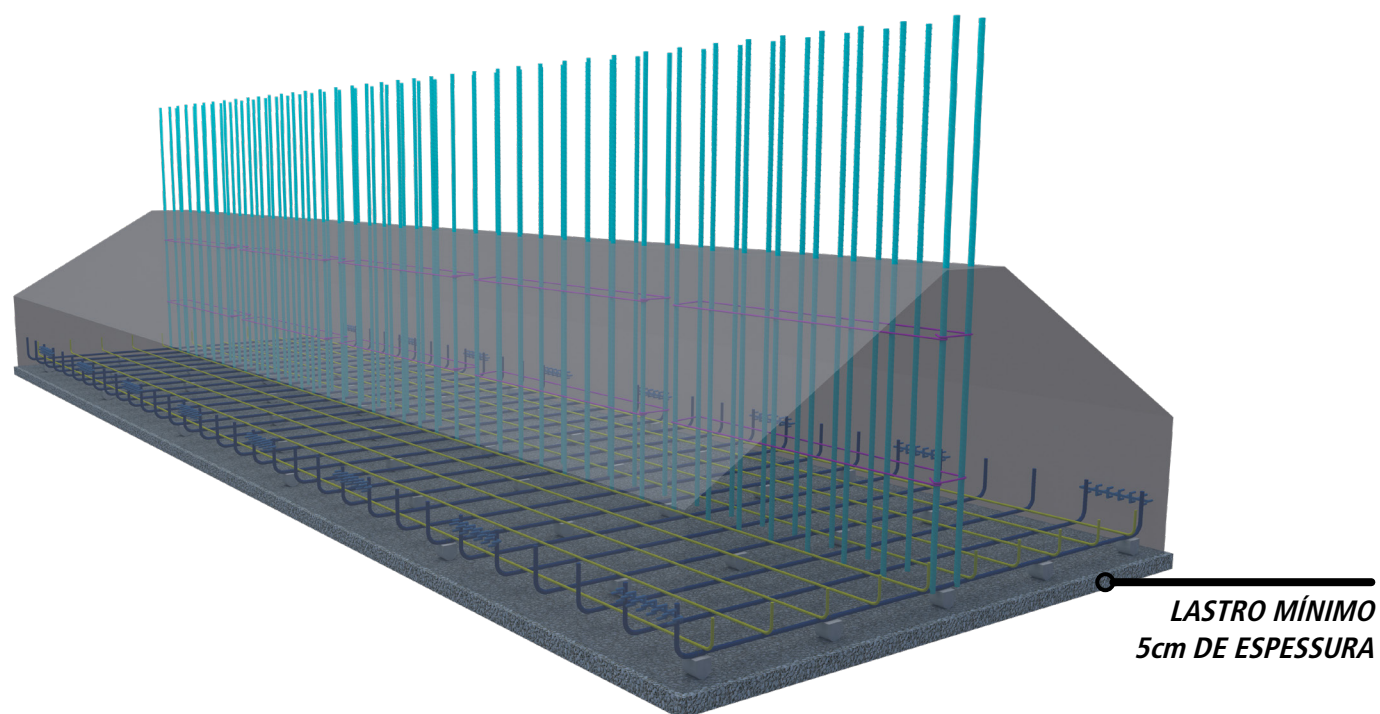


Figura 3.2
Sapata corrida

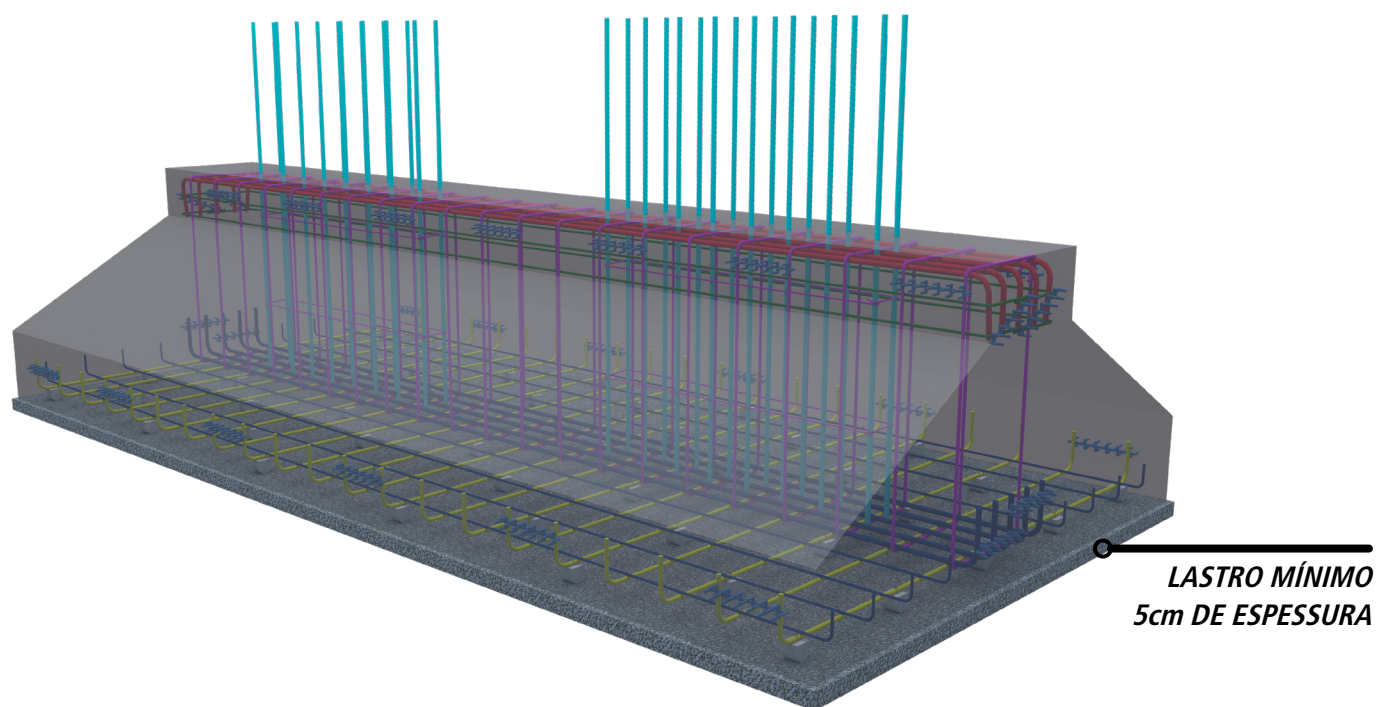


Figura 3.3
Sapata associada

As pressões no solo podem se configurar de diversas formas, de acordo com o tipo do solo e o tipo de sapata (rígida ou flexível).

De acordo com Leonhardt e Mönig (1978), no caso da sapata rígida, a distribuição das tensões não é uniforme. Em solo rígido, as tensões apresentam-se em uma parcela considerável das extremidades da sapata (**Figura 3.4**), dependendo da intensidade da carga.

Dessa forma, nos cantos inferiores das sapatas onde as armaduras podem ter grandes raios de dobramento, pode haver regiões com tensões de tração que não são resistidas por nenhuma armadura. Para suprir essa deficiência, é recomendado o uso de armaduras complementares com menor diâmetro e menor raio de dobramento, como as mostradas na **Figura 3.5**.

Ainda cabe lembrar que, de acordo com o Capítulo 22 da ABNT NBR 6118, a armadura de flexão deve estar distribuída uniformemente na largura da sapata e nas extremidades, terminando em gancho.

Também vale ressaltar que, no caso de sapatas com dimensões consideráveis (acima de 1,5m de altura), recomenda-se a consulta a um tecnologista de concreto para evitar um calor de hidratação alto e a formação da etringita tardia.

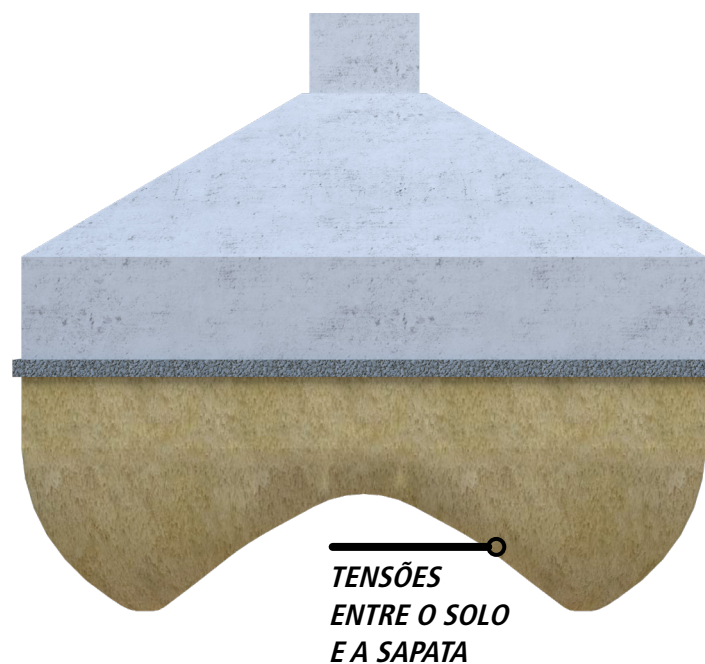


Figura 3.4
Distribuição de pressões em solo rígido

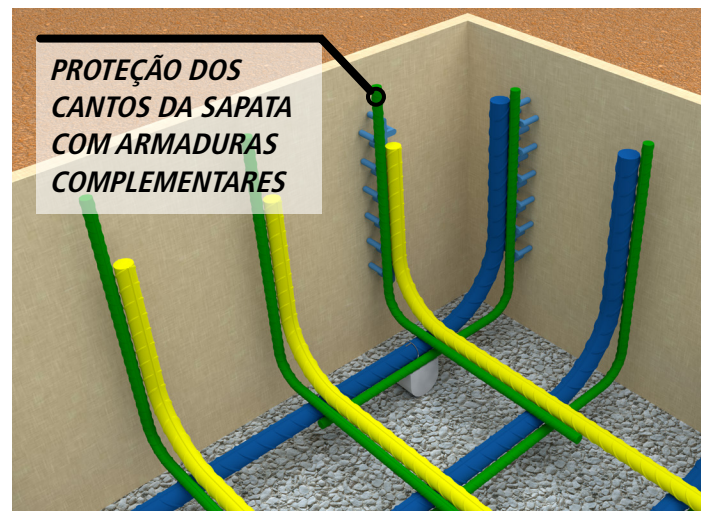


Figura 3.5
Armadura complementar para proteção dos cantos das sapatas

ESPAÇADORES EM SAPATAS

Na **Figura 3.6**, sugere-se o posicionamento dos espaçadores conforme a norma BS 7973-2 (2001), que indica a distância máxima de $50\varnothing$ (onde $\varnothing$ é o diâmetro do vergalhão), não excedendo 100cm. No entanto, caso as armaduras de flexão sejam "pesadas" (como, por exemplo, vergalhões com diâmetros superiores a 25mm), deve-se diminuir esta recomendação para que os espaçadores não se danifiquem.

A seguir, são apresentadas as distâncias mínimas para diferentes diâmetros de vergalhão:

Diâmetro (mm)	Distância máxima
$\varnothing 8$	40cm
$\varnothing 10$	50cm
$\varnothing 12,5$	60cm
$\varnothing 16$	80cm
$\varnothing 20$ a 32	100cm

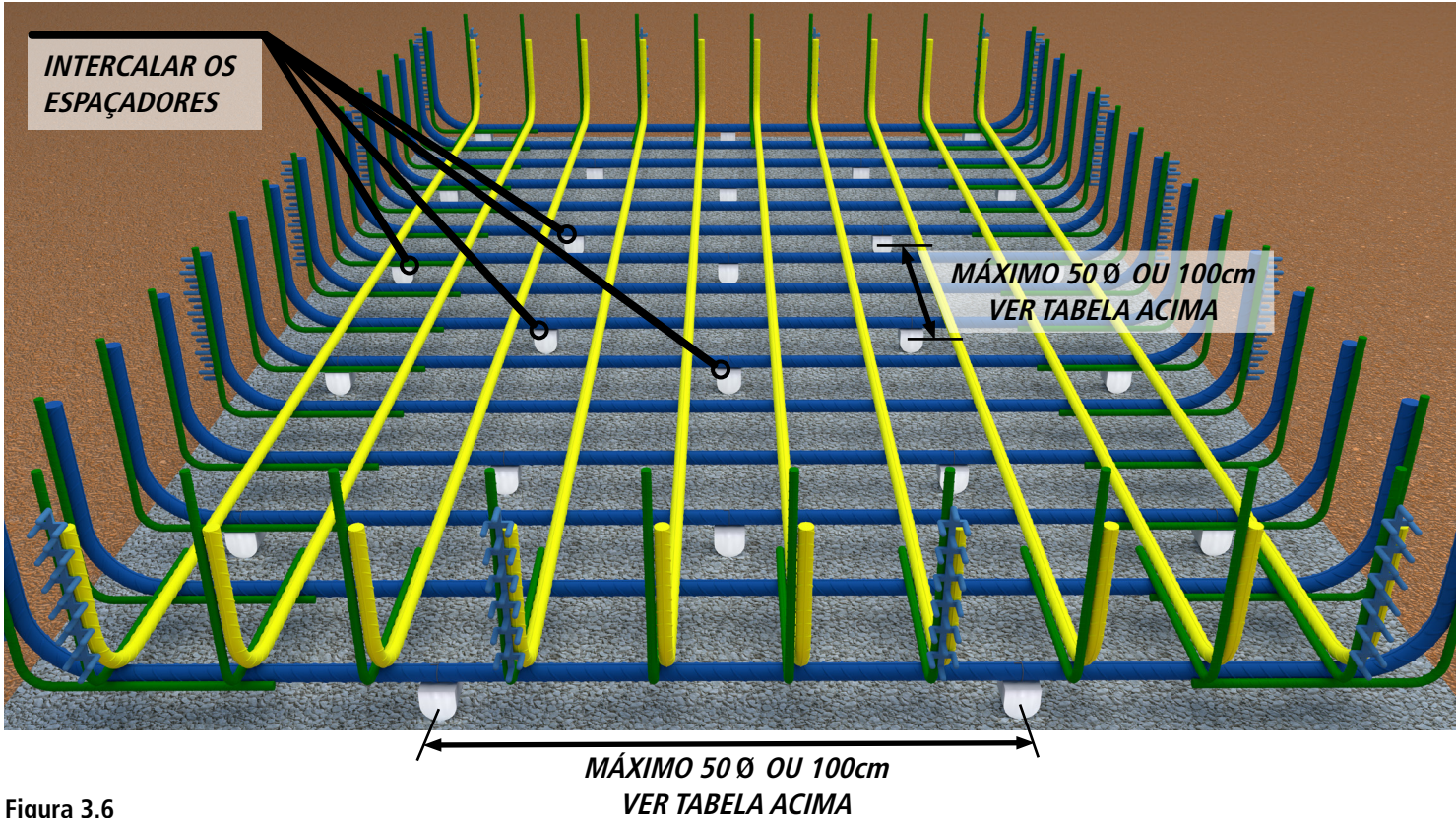


Figura 3.6
Sugestão de posicionamento dos espaçadores

Posicionamento da armadura em sapata isolada

SAPATA CORRIDA

As sapatas corridas são elementos estruturais de fundação rasa comumente usadas em pilares parede, cortinas de contenção de solo ou para apoio de muros e alvenarias.

Nas sapatas corridas, apesar de também existirem armaduras nas duas direções, uma das direções é mais solicitada, sendo essa a armadura principal. A armadura da outra direção tem como função distribuir as tensões, ou seja, uniformizar as tensões de forma que a armadura principal trabalhe por igual. Deve-se sempre posicionar a armadura de maior diâmetro primeiro, que é, normalmente, a de menor comprimento (**Figura 3.9**).

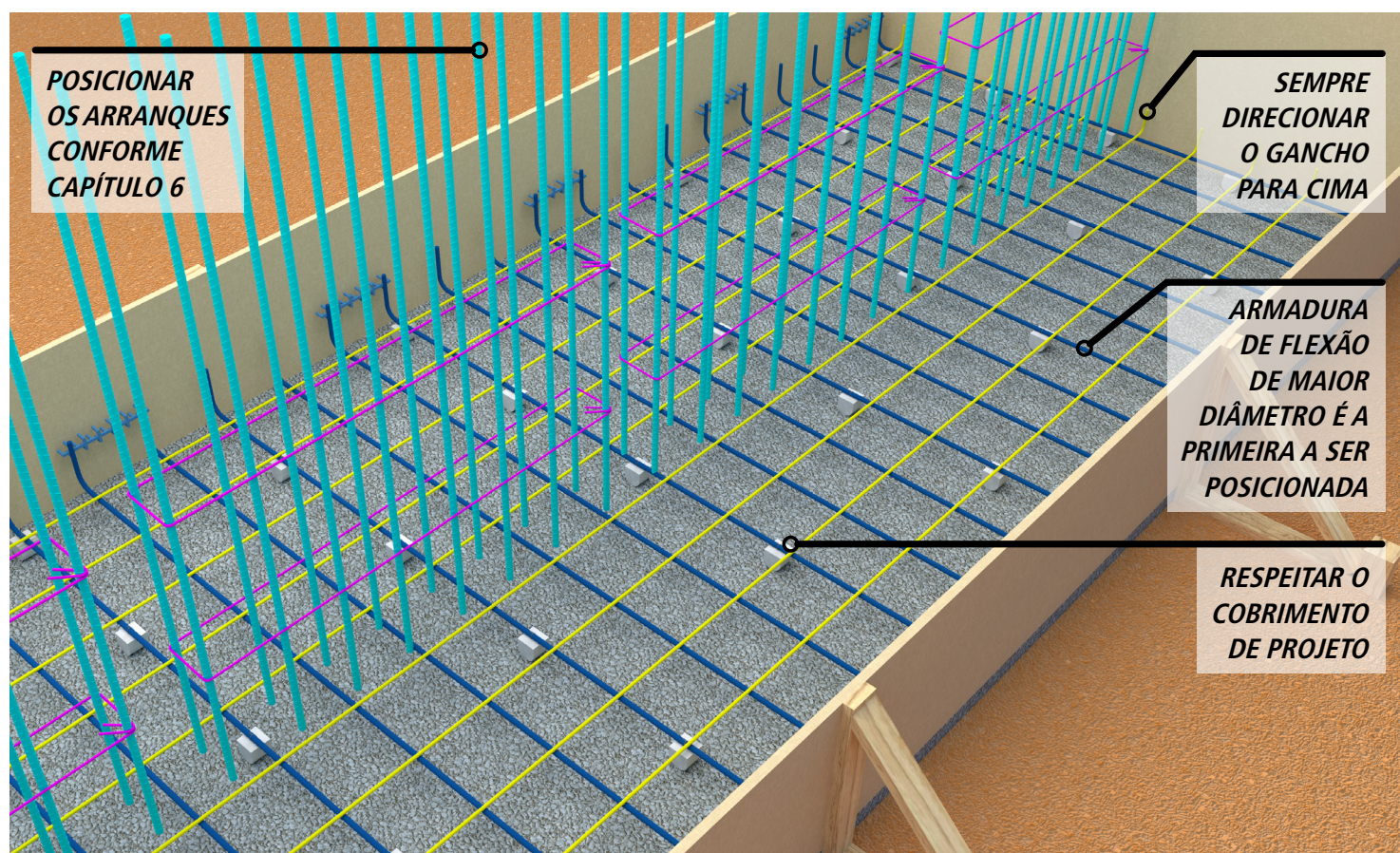


Figura 3.9
Posicionamento da armadura em sapata corrida

SAPATA ASSOCIADA

Devido à proximidade de pilares, pode ocorrer uma sobreposição das áreas das sapatas, que transferirão os esforços para o solo. Pode-se, então, optar por associar as sapatas (**Figura 3.10**), construindo um elemento único que abranja dois ou mais pilares.

Quanto ao posicionamento das armaduras, deve-se posicionar a armadura de maior diâmetro primeiro (armadura principal), sendo que, muitas vezes, a armadura principal é a de menor comprimento.

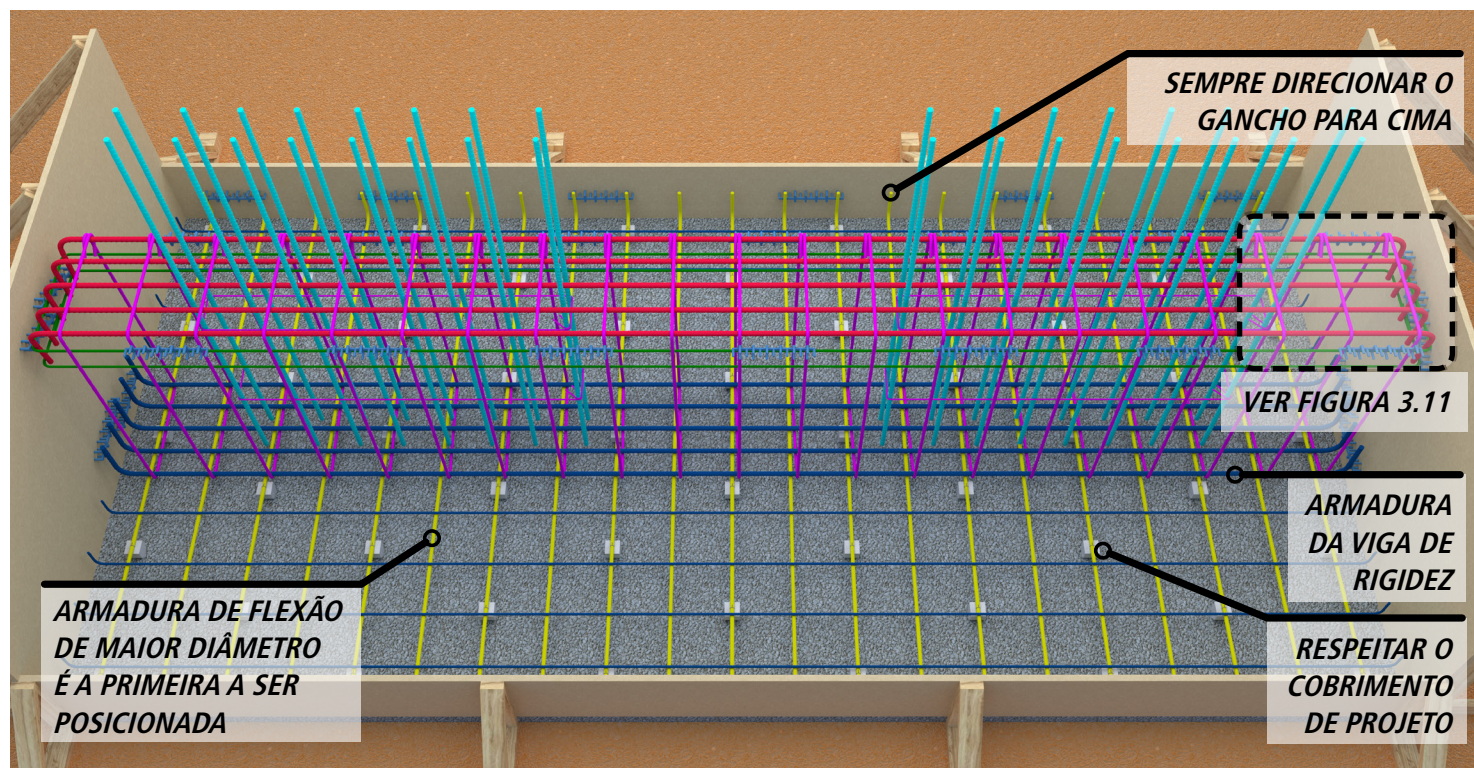


Figura 3.10

Posicionamento da armadura em sapata associada

Em alguns casos, para que haja uma uniformização das tensões no solo, é criada uma viga de rigidez (**Figura 3.11**).

As sapatas associadas também devem contemplar armaduras de combate à flexão, ao cisalhamento e, eventualmente, à torção.

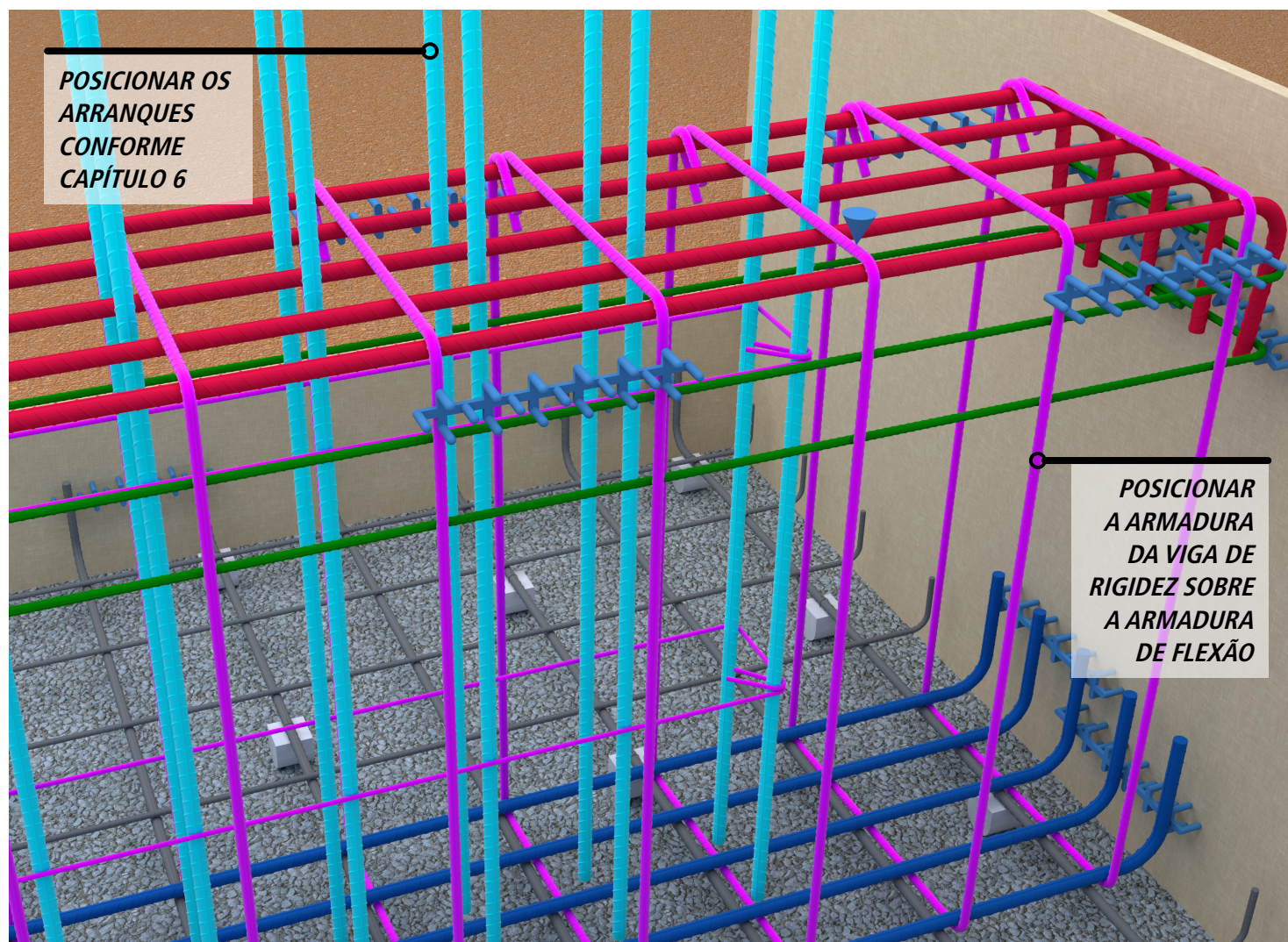


Figura 3.11
Viga de rigidez em sapata associada

CAPÍTULO 4

ARMADURAS DE BLOCOS DE COROAMENTO

Conforme apontado no Capítulo 3 da *ABNT NBR 6122*, os blocos de coroamento (também conhecidos como blocos sobre estacas) têm a função de transferir os esforços dos pilares e pilares parede para os elementos de fundação profunda.

O Capítulo 22 da *ABNT NBR 6118* classifica os blocos de coroamento como rígidos ou flexíveis. Os blocos flexíveis, no entanto, não serão contemplados neste Manual, pois são soluções estruturais pouco utilizadas em edificações. Como no caso das sapatas flexíveis, os blocos flexíveis demandam cálculos adicionais quando comparados aos blocos rígidos. Ressalta-se também que os blocos flexíveis podem levar ao consumo superior de aço em comparação aos blocos rígidos.

Como discutido no Capítulo 8 da *ABNT NBR 6122*, a ligação entre estaca e bloco de coroamento é um ponto de especial atenção. Além de se garantir a integridade da cabeça das estacas, deve-se permitir a continuidade estrutural da estaca através de eventual recomposição e assegurar que a cabeça da estaca esteja sempre plana. Além disso, o detalhe de ligação entre vergalhões deve ser previsto no projeto de fundações, e o bloco de coroamento deve ser executado sobre um lastro de concreto simples com espessura mínima de 5cm (**Figuras 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4**). Vale ressaltar, ademais, que a cabeça da estaca deve permanecer 5cm acima deste lastro (**Figura 4.5**). Ainda neste mesmo capítulo da norma, ressaltar-se que toda e qualquer excentricidade deve ser comunicada ao projetista de fundações.

Para os blocos de seção quadrada em planta, caso o cálculo resulte em armaduras distintas em cada direção, recomenda-se o uso da maior armadura obtida pelos cálculos nas duas direções. Este tipo de detalhamento é recomendado pela França e Associados de modo a evitar a inversão das direções das armaduras, erro já observado em obra por nossa equipe, mesmo havendo referências de posicionamento em projeto. Nas próximas páginas, detalham-se os blocos de coroamento sobre uma, duas, três e quatro estacas.

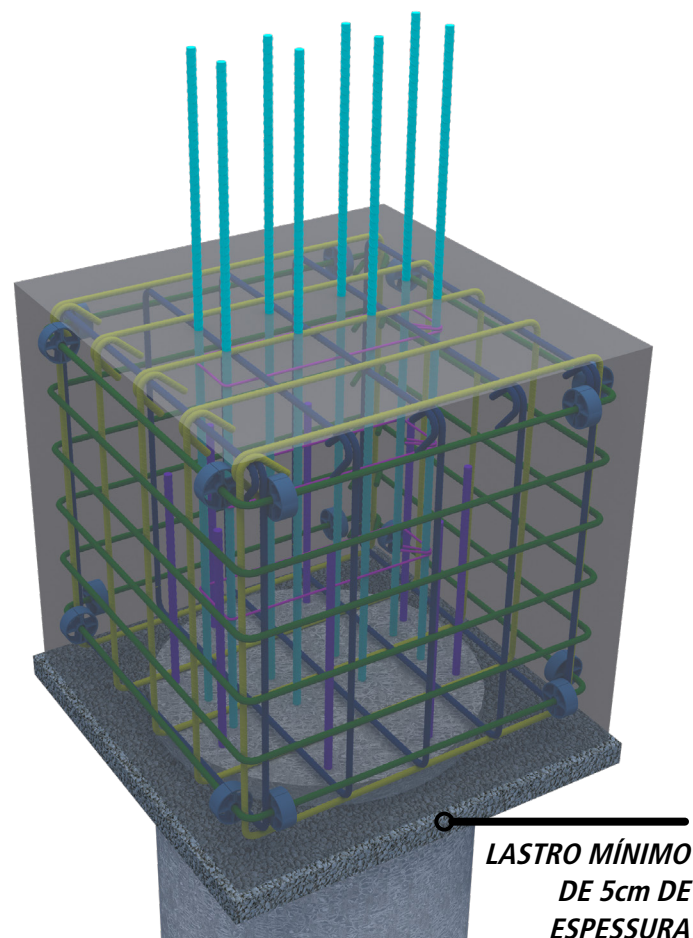


Figura 4.1
Bloco de coroamento sobre uma estaca

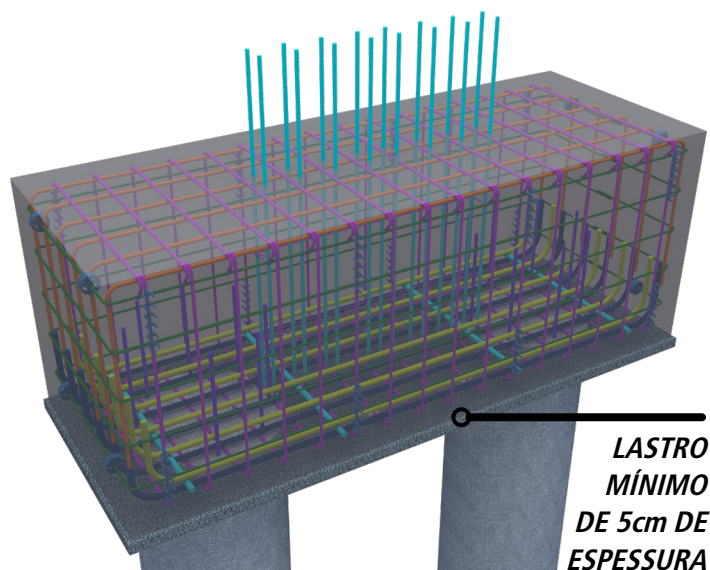


Figura 4.2
Bloco de coroamento sobre duas estacas

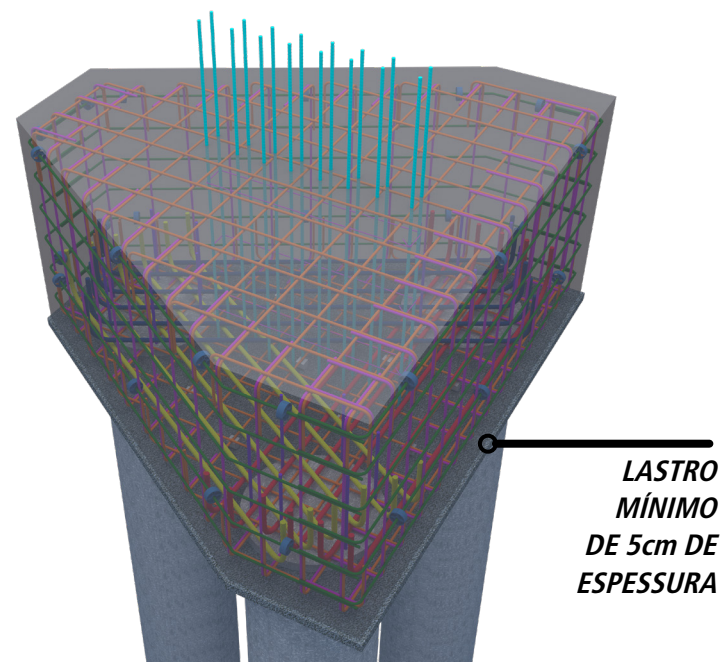


Figura 4.3
Bloco de coroamento sobre três estacas

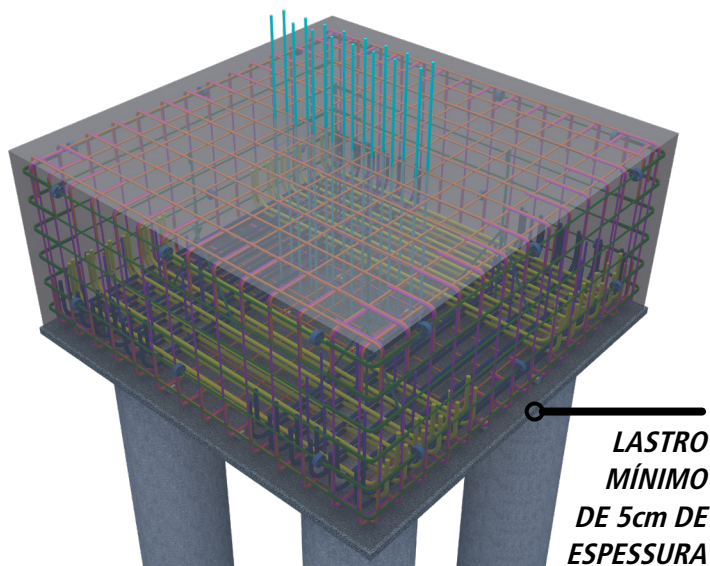


Figura 4.4
Bloco de coroamento sobre quatro estacas

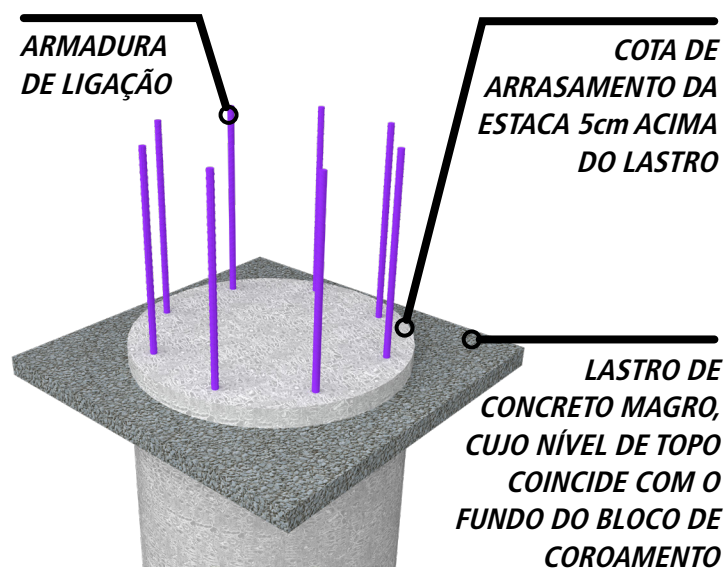


Figura 4.5
Ligação entre estaca e bloco de coroamento

BLOCO DE COROAMENTO SOBRE UMA ESTACA

O bloco sobre uma estaca possui um comportamento estrutural diferente dos blocos sobre duas ou mais estacas. Isso se dá pelo fato de o bloco sobre uma estaca sofrer tensões de fendilhamento: fenômeno de tração circunferencial ocasionado pelas componentes radiais das tensões de compressão. Tais tensões são comumente calculadas pelo Modelo do Bloco Parcialmente Carregado (**Figura 4.6**).

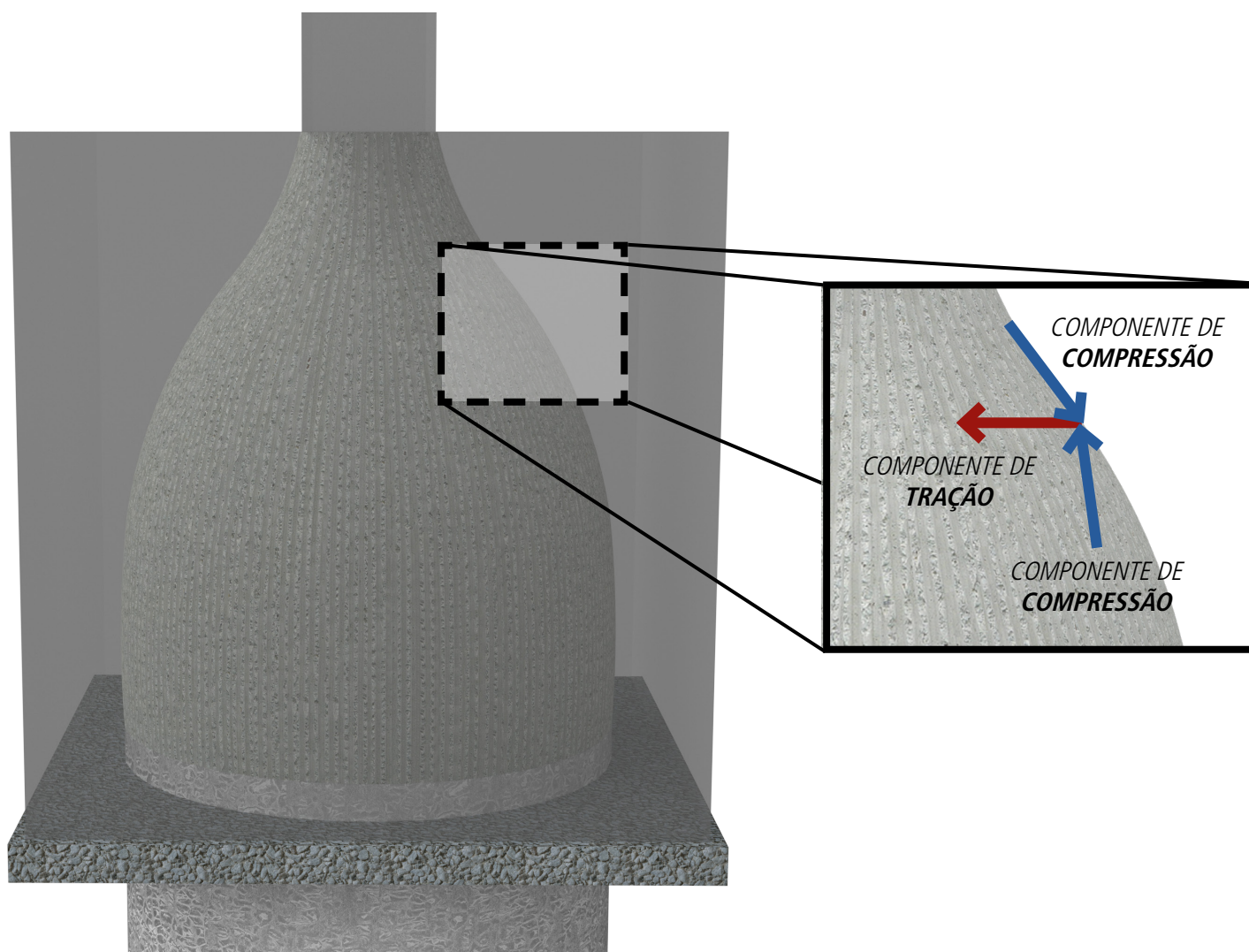


Figura 4.6
Comportamento das tensões de fendilhamento

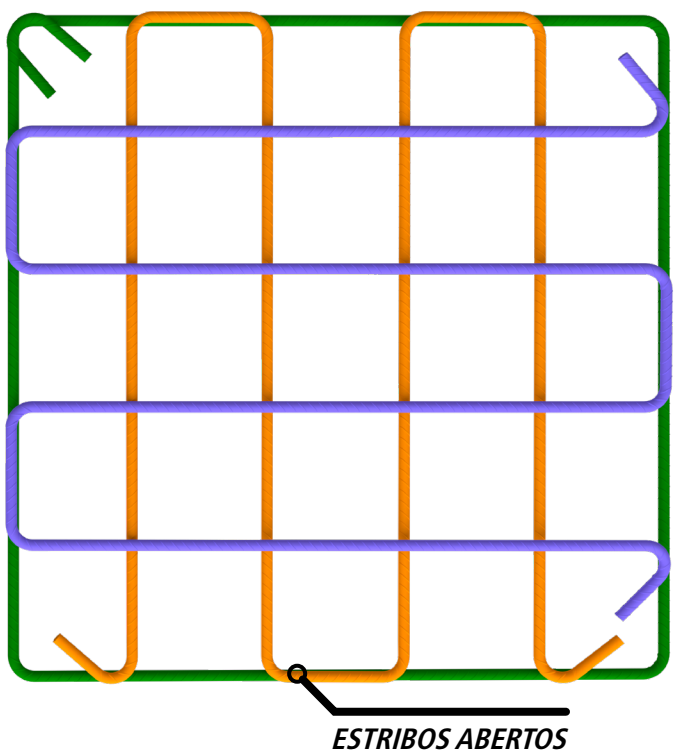
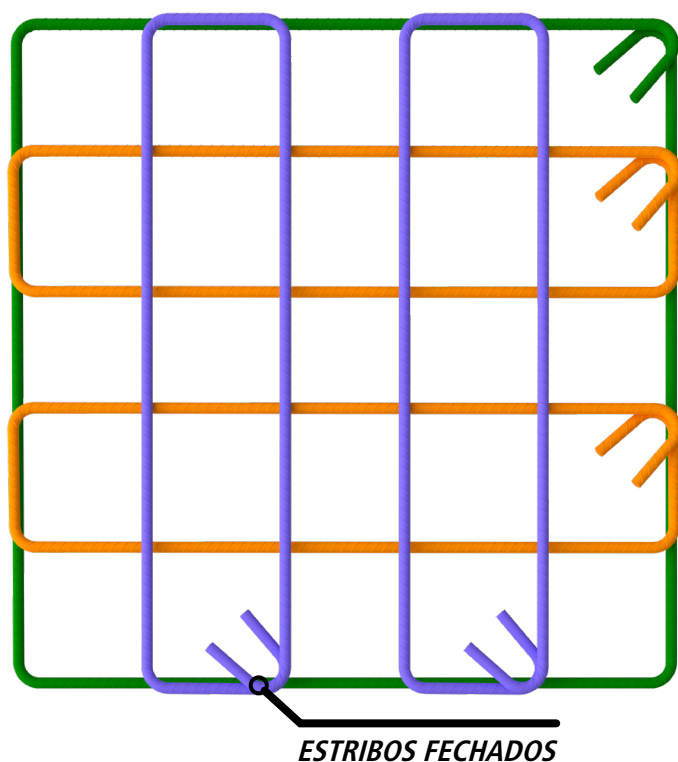


Figura 4.7
Exemplos de armadura contra fendilhamento

Segundo Leonhardt e Mönning (1978), devem-se adotar armaduras contra fendilhamento (também chamadas de armaduras de fretagem) em várias camadas e ramos, e estas devem ser bem ancoradas (**Figura 4.7**).

Não existe um detalhe padronizado por norma para armaduras contra fendilhamento. Ao lado, apresentam-se duas soluções possíveis.

No caso de estacas de pequenos diâmetros, o detalhamento pode incluir três tipos de estribos (dois verticais e um horizontal), como mostram as **Figuras 4.8 e 4.10**. No entanto, o limite deste detalhamento é atingido quando se torna trabalhoso montar a gaiola do bloco.

Para estacas de grandes diâmetros ou com armaduras de fretagem de mais ramos, recomenda-se o detalhamento das **Figuras 4.9 e 4.11**.

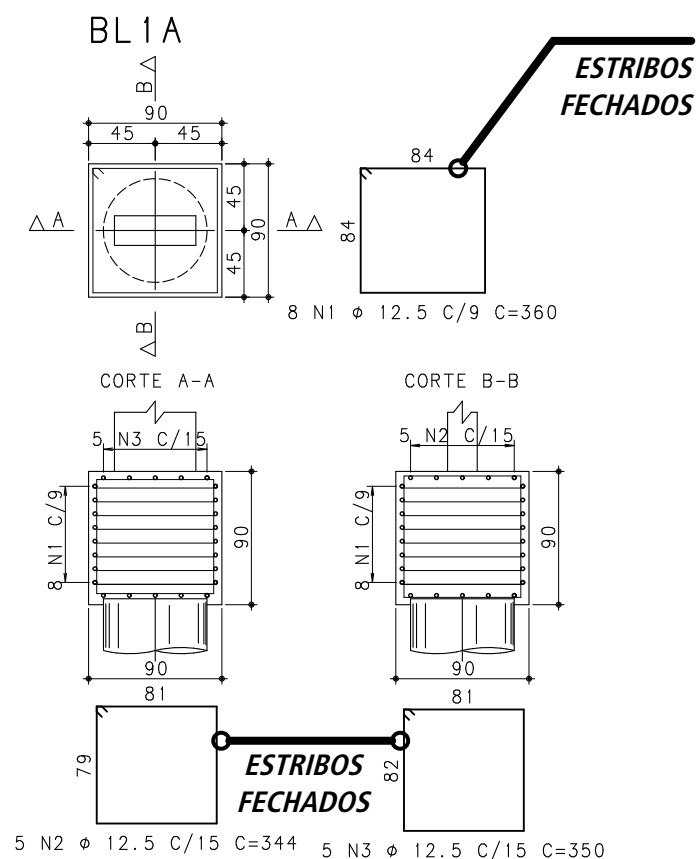


Figura 4.8

Projeto de armadura para blocos "pequenos". Nota: exemplo apenas para fins de montagem. Para dimensionamento e detalhamento, consultar normas e bibliografias específicas.

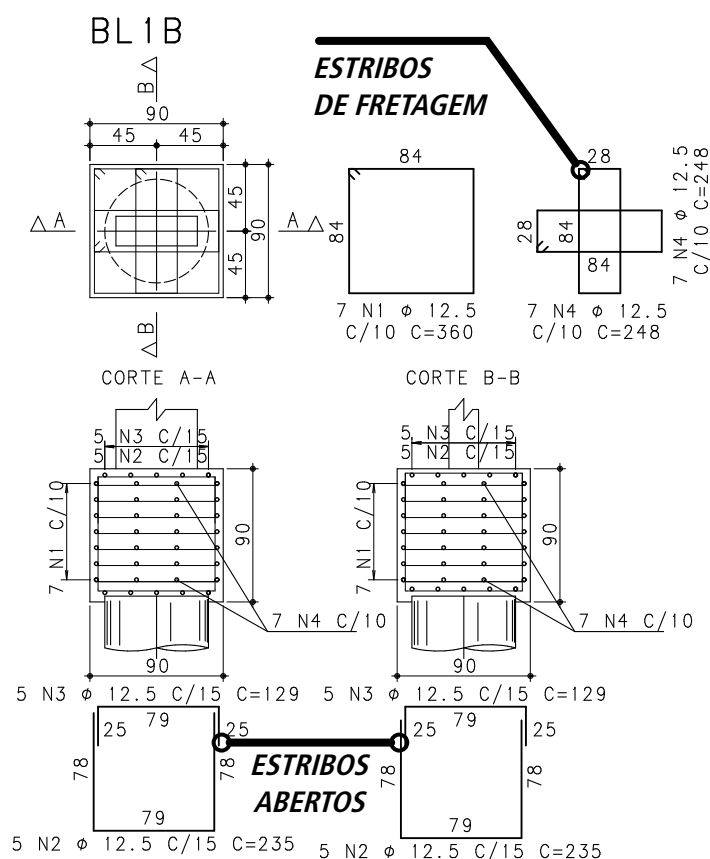


Figura 4.9

Projeto de armadura para blocos "grandes" ou com armadura de fretagem. Nota: exemplo apenas para fins de montagem. Para dimensionamento e detalhamento, consultar normas e bibliografias específicas.

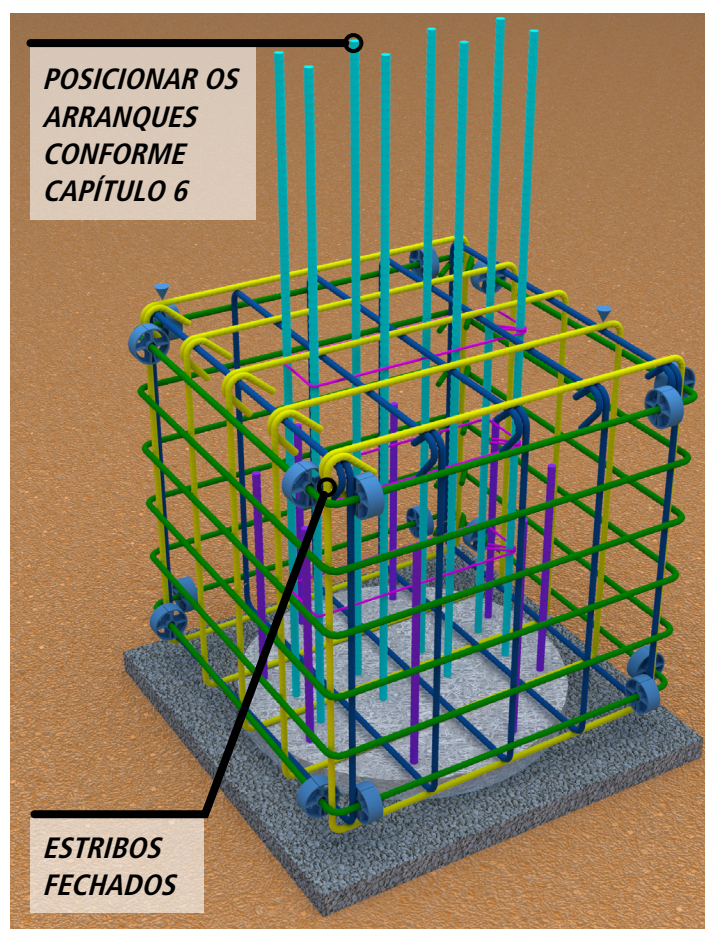


Figura 4.10
Posicionamento da armadura para blocos "pequenos"

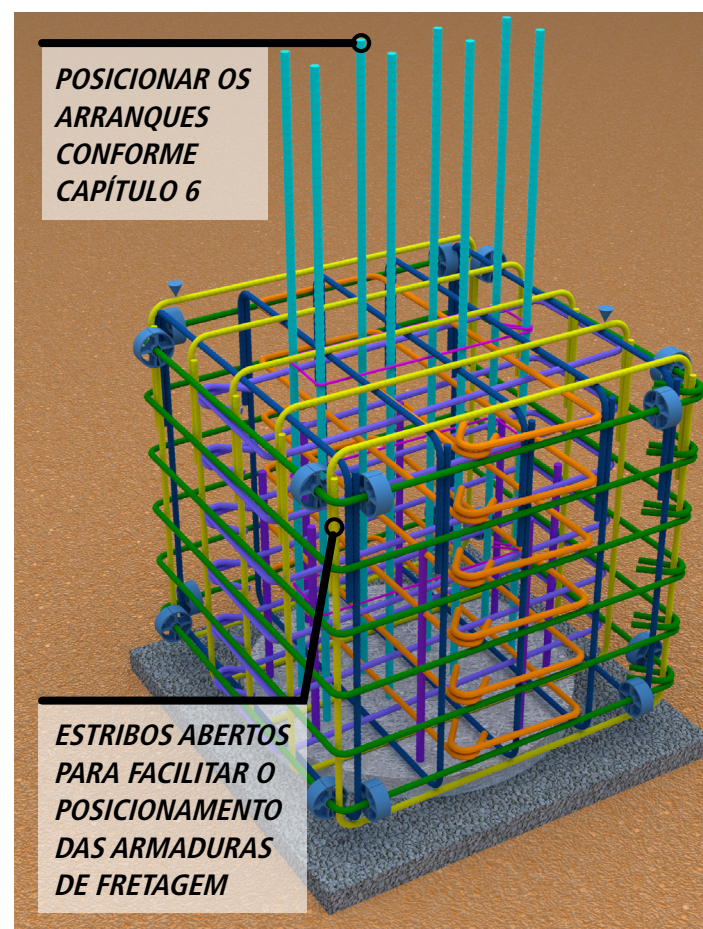


Figura 4.11
Posicionamento da armadura para blocos "grandes" ou com armadura de fretagem de mais ramos

BLOCO DE COROAMENTO SOBRE DUAS ESTACAS

De acordo com o Capítulo 22 da *ABNT NBR 6118*, o dimensionamento por modelos biela-tirante tridimensionais é aceito tanto para blocos de coroamento sobre duas estacas quanto para blocos sobre três, quatro ou mais estacas. A norma indica que são necessários o cálculo das áreas de aço (tirantes ou armaduras de flexão) e a verificação da resistência à compressão do concreto das bielas e das regiões nodais.

Normalmente, os tirantes principais localizam-se imediatamente acima da cota de arrasamento das estacas. A própria *ABNT NBR 6118* menciona que os tirantes devem estar posicionados em uma faixa localizada sobre as estacas e preconiza o uso de ganchos nas extremidades dos vergalhões.

Os tirantes também podem ser posicionados na face superior do bloco. Este detalhamento é indicado nos casos em que uma ou mais estacas estão tracionadas devido aos esforços do pilar, ou em situações em que os pilares (ou trecho de pilares) estão posicionados fora da área projetada das estacas.

As **Figuras 4.12 e 4.13** apresentam exemplos de detalhamento de blocos de coroamento sobre duas estacas.

Além das armaduras utilizadas como tirantes, os blocos possuem armaduras complementares (estribos, armadura de pele, gaiolas adicionais) para facilitar a construção e auxiliar na distribuição das tensões.

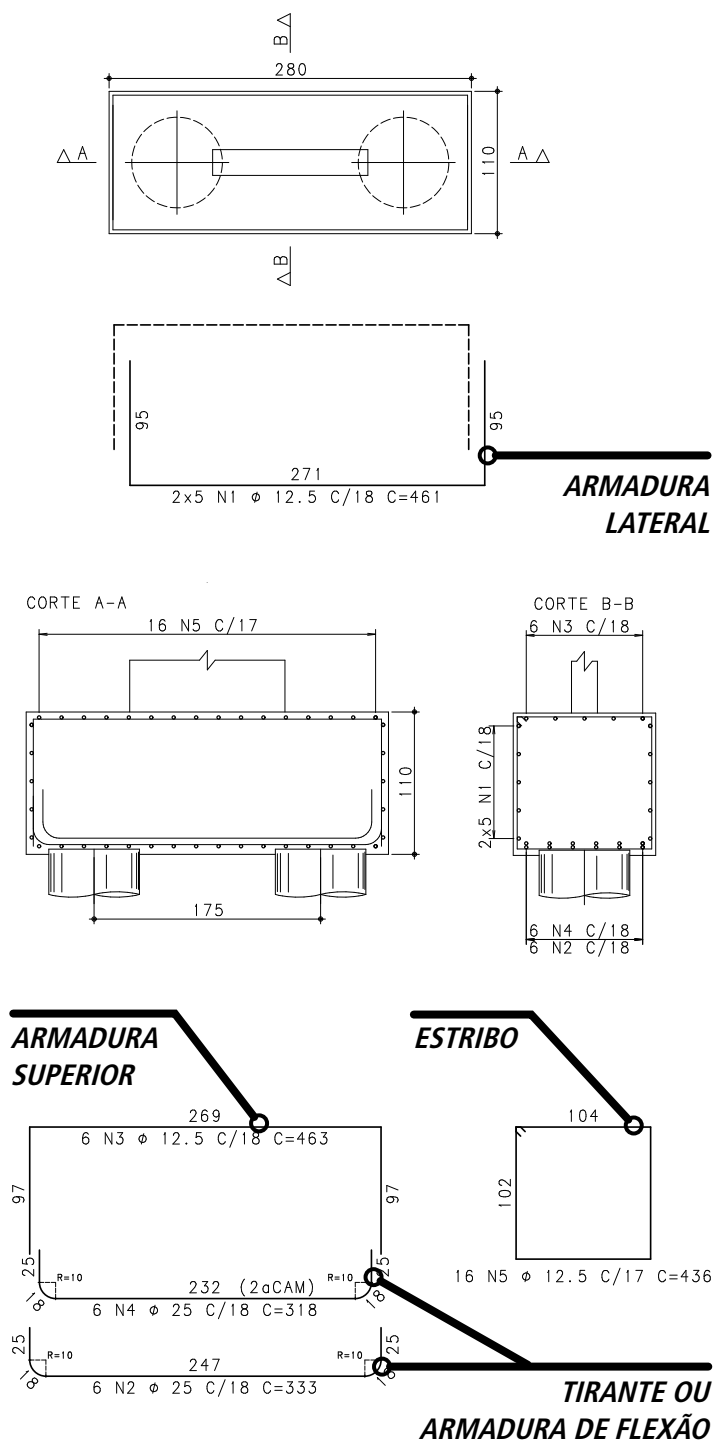


Figura 4.12

Projeto de armadura em blocos de coroamento sobre duas estacas. Nota: exemplo apenas para fins de montagem. Para dimensionamento e detalhamento, consultar normas e bibliografias específicas.

Nos casos onde existem duas camadas do tirante, recomenda-se que a segunda camada seja posicionada imediatamente acima da primeira (**Figura 4.15**), respeitando a distância livre prescrita pela *ABNT NBR 14931* (**Figura 4.14**). Desta forma, é possível garantir passagens livres para o lançamento do concreto, evitando a segregação da brita.

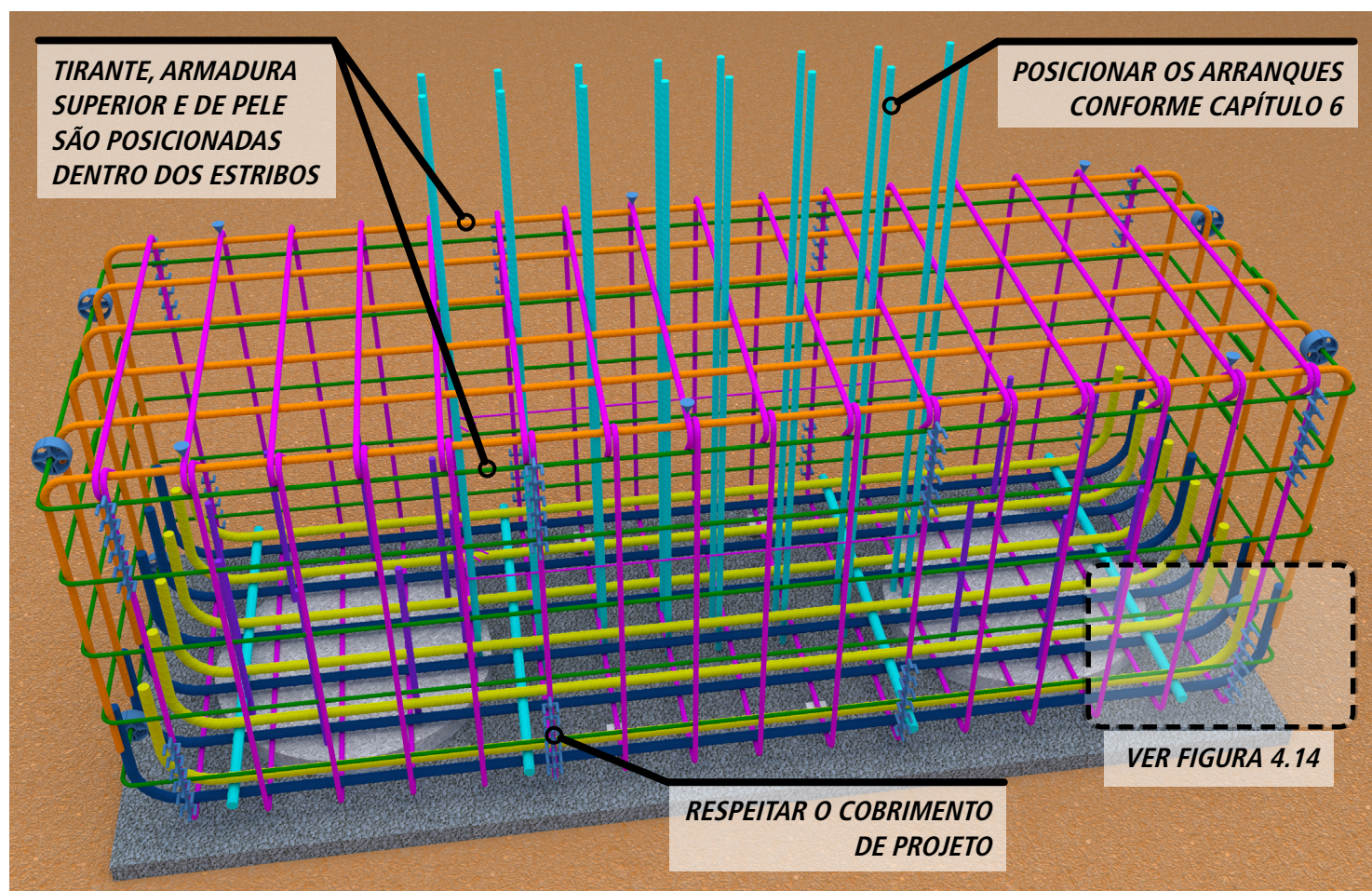


Figura 4.13
Posicionamento da armadura em blocos de coroamento sobre duas estacas

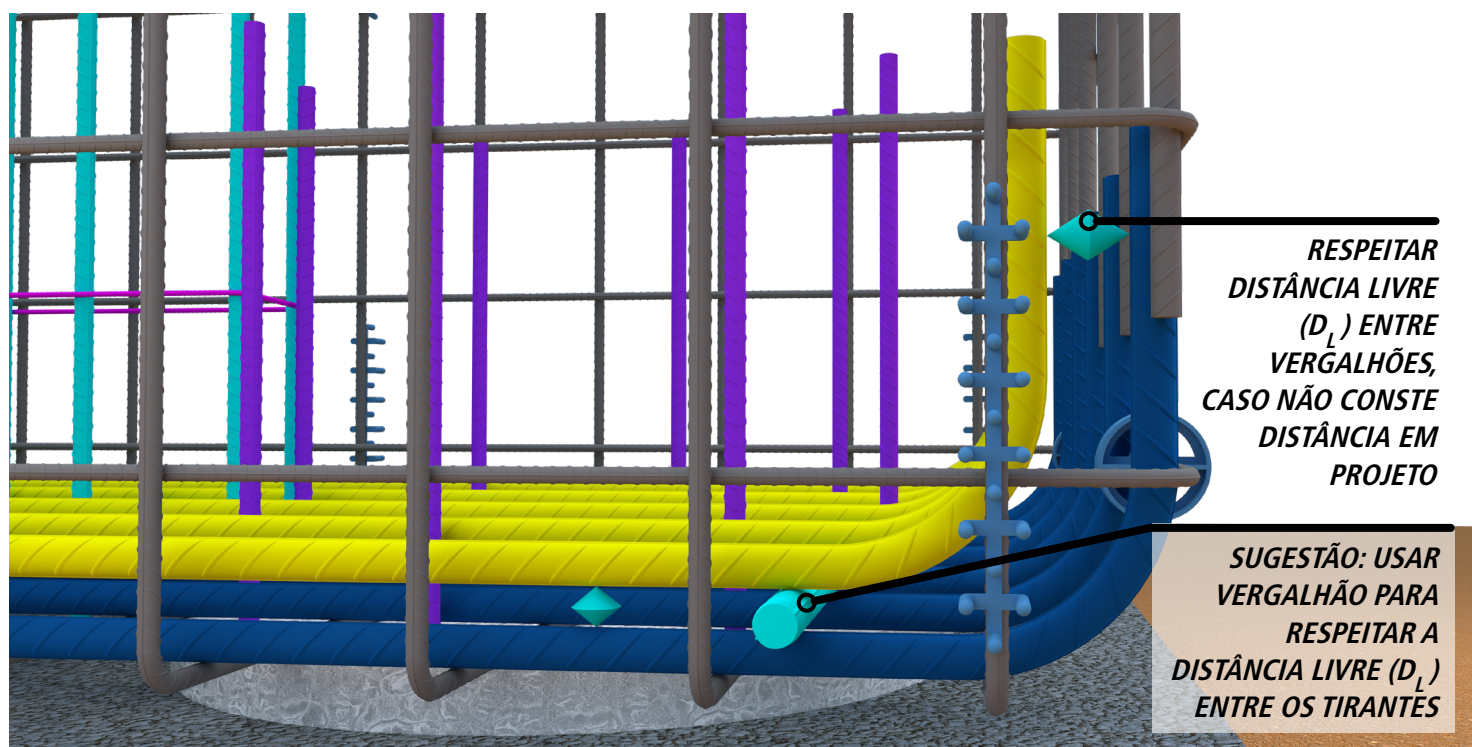


Figura 4.14
Posicionamento das camadas dos tirantes na vertical

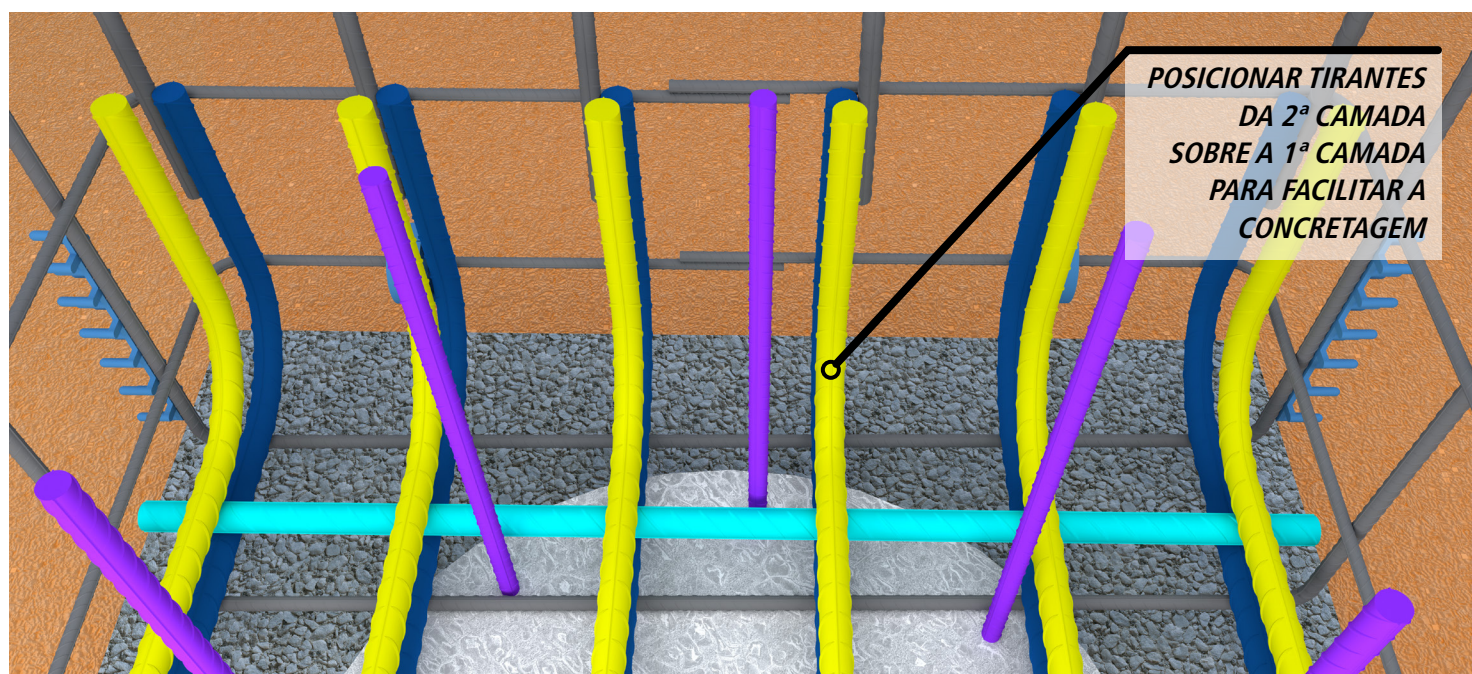
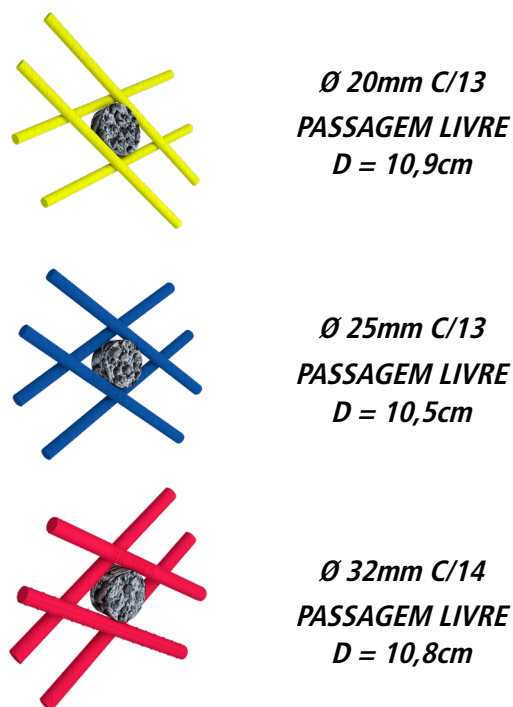


Figura 4.15
Posicionamento dos tirantes

**Figura 4.16**

Passagem livre (D = diâmetro) de acordo com o espaçamento dos vergalhões

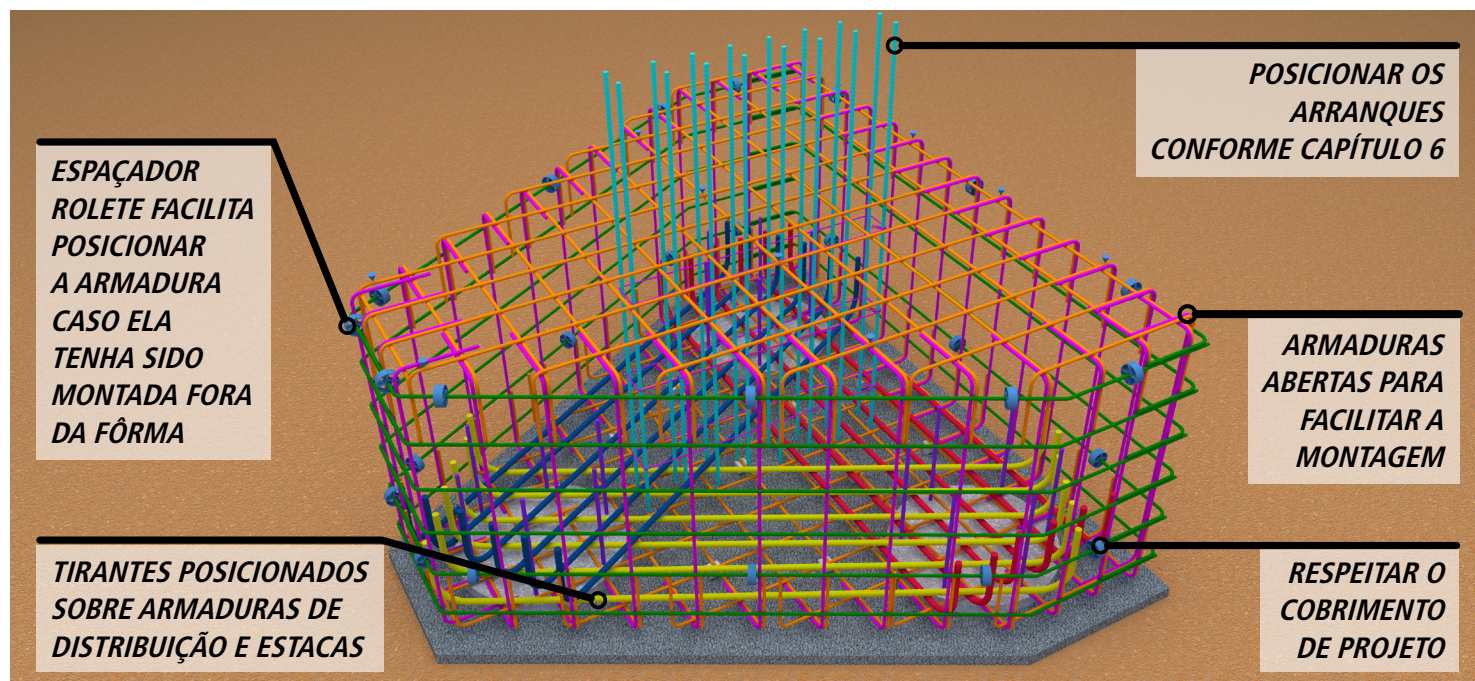
BLOCO DE COROAMENTO SOBRE TRÊS ESTACAS

No bloco de coroamento sobre três estacas, é comum as estacas formarem um triângulo equilátero, criando ângulos internos de 60° entre estacas e ângulos de 60° e 120° entre os vergalhões, como apresentado na **Figura 4.16**.

Problemas recorrentes de concretagem podem ocorrer caso o espaçamento entre os vergalhões do tirante seja pequeno, especialmente quando o posicionamento das armaduras diverge do previsto em projeto. A **Figura 4.16** ilustra este estrangulamento da passagem do concreto e a passagem livre para vergalhões de diâmetros consideráveis.

Caso problemas na concretagem ocorram, o modelo biela-tirante pode ser inviabilizado, pois este necessita da transmissão da compressão pelo concreto para os tirantes através do nó (composto de concreto e aço).

Nas **Figuras 4.17 e 4.18**, o detalhamento das armaduras de bloco de coroamento sobre três estacas é exemplificado.

**Figura 4.17**

Posicionamento da armadura em blocos de coroamento sobre três estacas

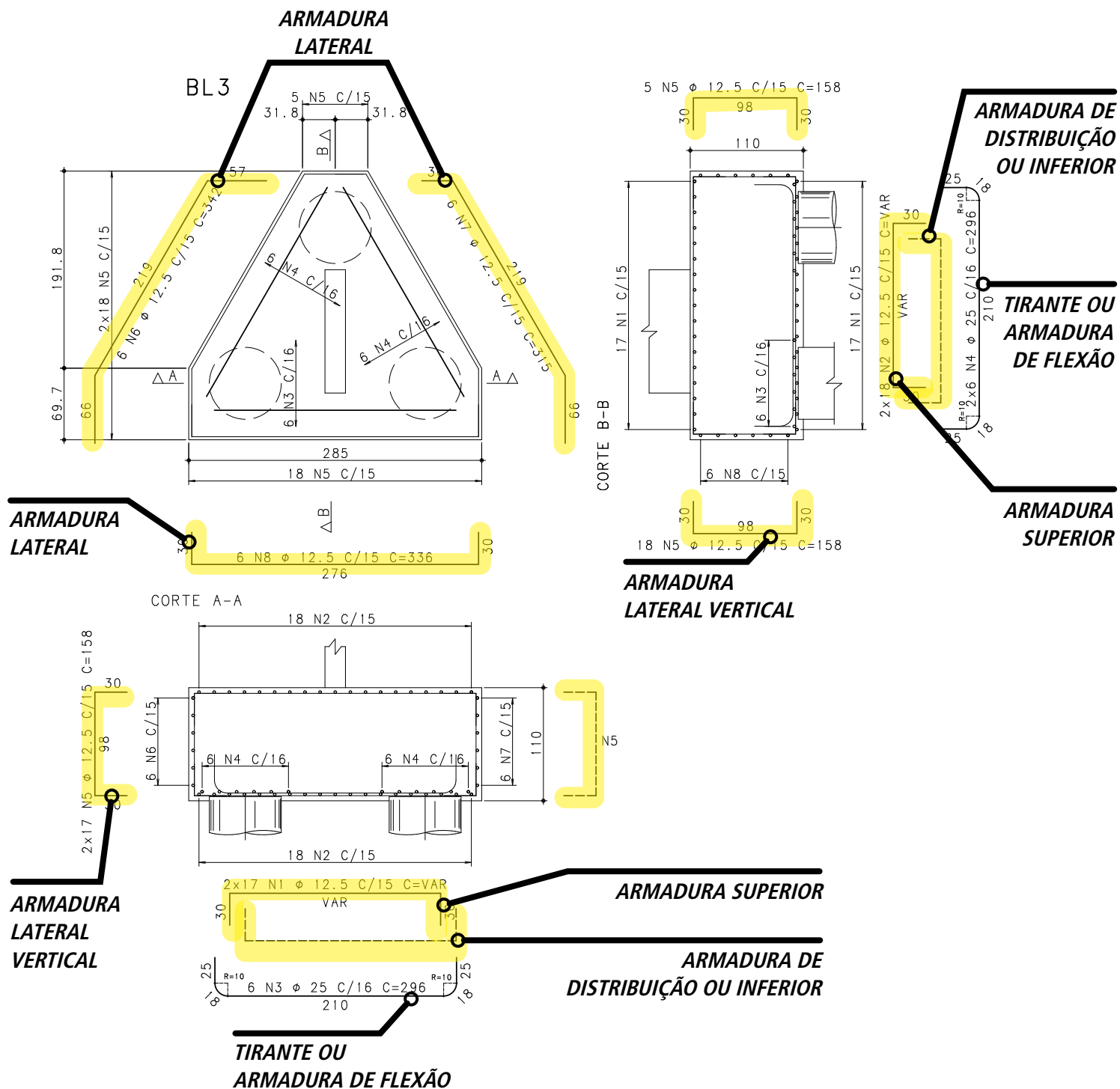


Figura 4.18

Projeto de armadura em blocos de coroamento sobre três estacas, com armaduras segmentadas para facilitar a montagem destacadas em amarelo.
Nota: exemplo apenas para fins de montagem. Para dimensionamento e detalhamento, consultar normas e bibliografias específicas.

BLOCO DE COROAMENTO SOBRE QUATRO ESTACAS

Em blocos de coroamento simétricos nas duas direções (ou seja, quadrados em planta) é recomendada a utilização da mesma armadura nas duas direções. Caso os valores de dimensionamento dos tirantes sejam diferentes devido à disposição do pilar e/ou das estacas, recomenda-se o detalhamento em projeto com a maior armadura obtida, de forma a prevenir uma inadvertida troca de posição das armaduras por parte da obra, dada a dificuldade de referências quando da montagem.

As **Figuras 4.19 e 4.20** apresentam um bloco de coroamento sobre quatro estacas de grande diâmetro. Diversos dos vergalhões apresentados estão em formatos e disposições que facilitam o transporte e a montagem.

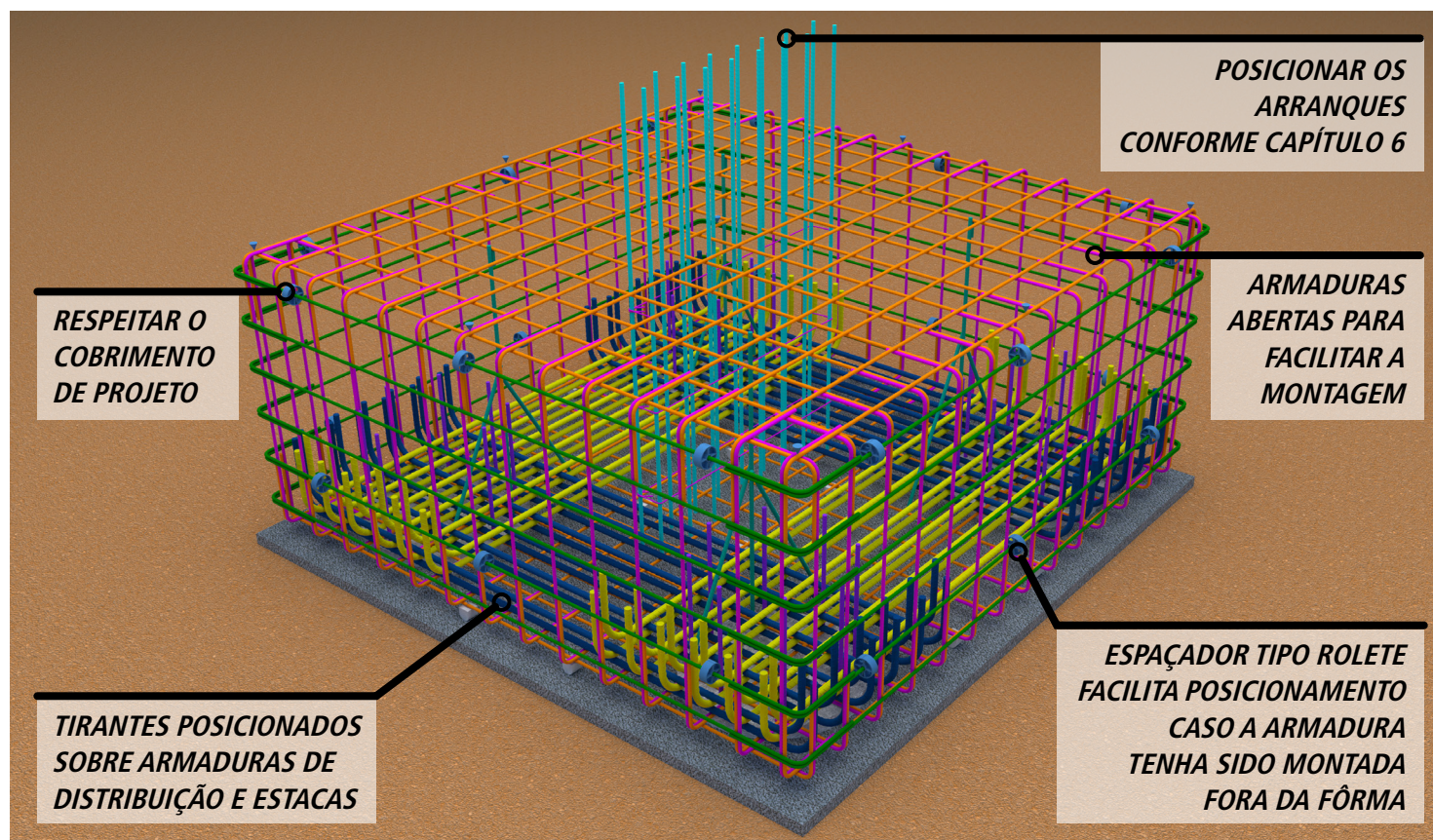
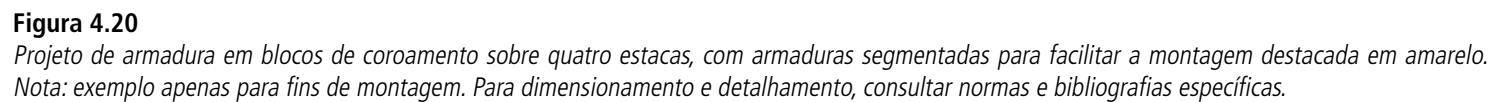


Figura 4.19
Posicionamento da armadura em blocos de coroamento sobre quatro estacas



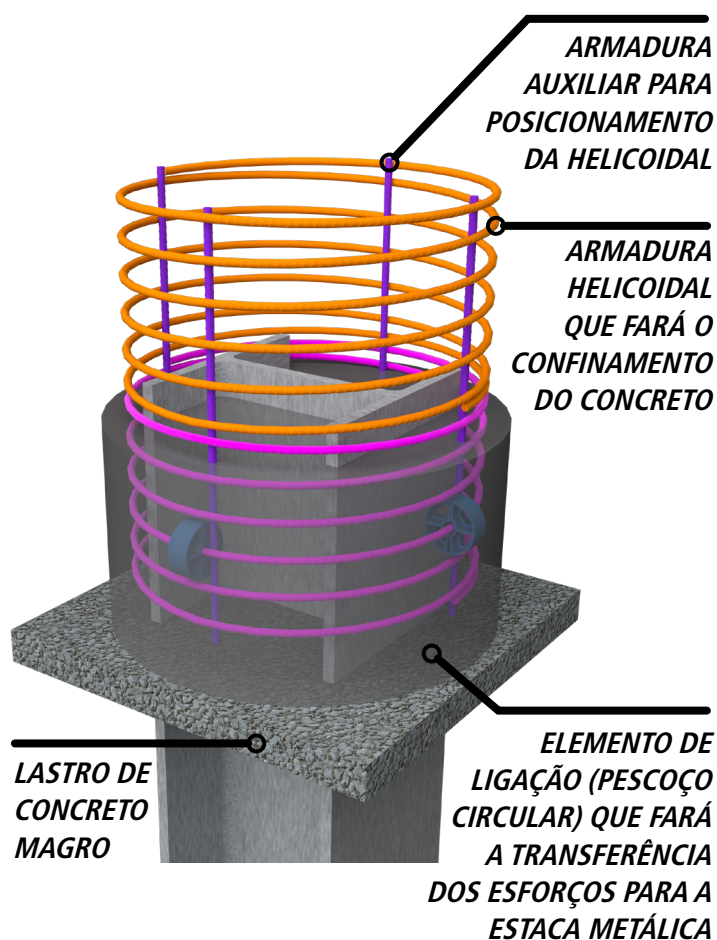


Figura 4.21

Detalhe da ligação entre a estaca de perfil metálico e o bloco de coroamento

BLOCO DE COROAMENTO SOBRE ESTACA METÁLICA

Quando adotada a solução de estaca metálica, deve-se tomar cuidado com a ligação entre a estaca e o bloco de coroamento. Um dos meios de realizar esta ligação é usar uma chapa metálica com vergalhões soldados em um dos lados dela. O lado oposto da chapa é soldado no topo do perfil metálico.

Outra forma de realizar esta ligação é através de vergalhões soldados diretamente no perfil metálico. Pode-se notar que, em ambos os casos, o equipamento de solda deve estar presente na obra e, caso a execução aconteça no período das chuvas, a soldagem pode se tornar um processo de maior risco à segurança.

Em busca de alternativas que evitassem a soldagem em obra, Klein Junior (2023) analisou diversos trabalhos sobre a aderência de perfis metálicos com concreto. Em sua pesquisa, Klein estudou o trabalho realizado nos Estados Unidos pelo Departamento de Estradas de Ohio em dezembro de 1947, intitulado "*Investigation of the strength of the connection between a concrete cap and the embedded end of a steel H-Pile*". Neste estudo, foi observado um aumento da resistência da ligação quando posicionados estribos circulares em torno e logo acima da estaca metálica para confinar o concreto, como mostra a **Figura 4.21**.

A partir desta pesquisa, o detalhamento de um pescoço quadrado sob o bloco foi elaborado para facilitar a execução da fôrma (**Figura 4.22**). No entanto, este conjunto seria concretado em duas etapas: uma para o pescoço e outra para o bloco de coroamento. De modo a viabilizar uma etapa única e aumentar a produtividade durante a construção do bloco, o pescoço foi eliminado e a altura do bloco foi estendida (**Figura 4.23**). O aumento do consumo de aço e concreto, neste caso, não foi representativo.

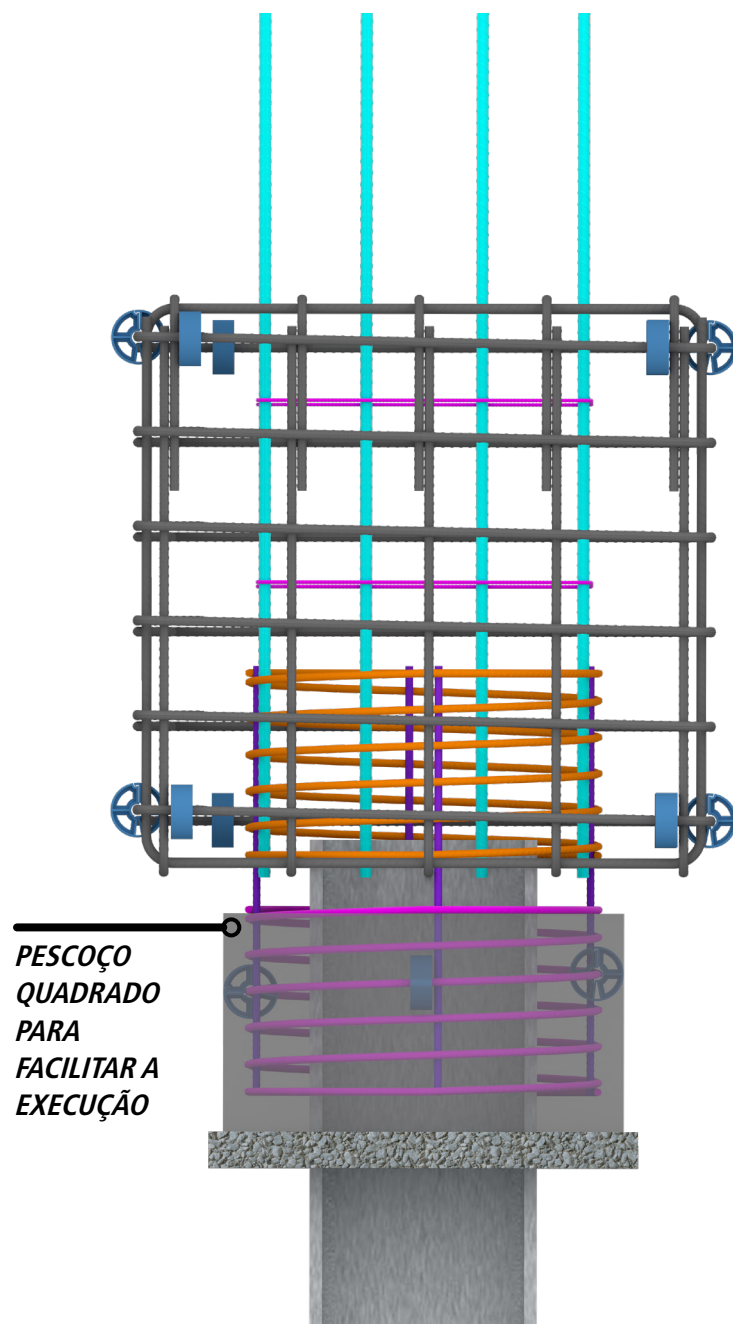


Figura 4.22
Bloco de coroamento com pescoço quadrado

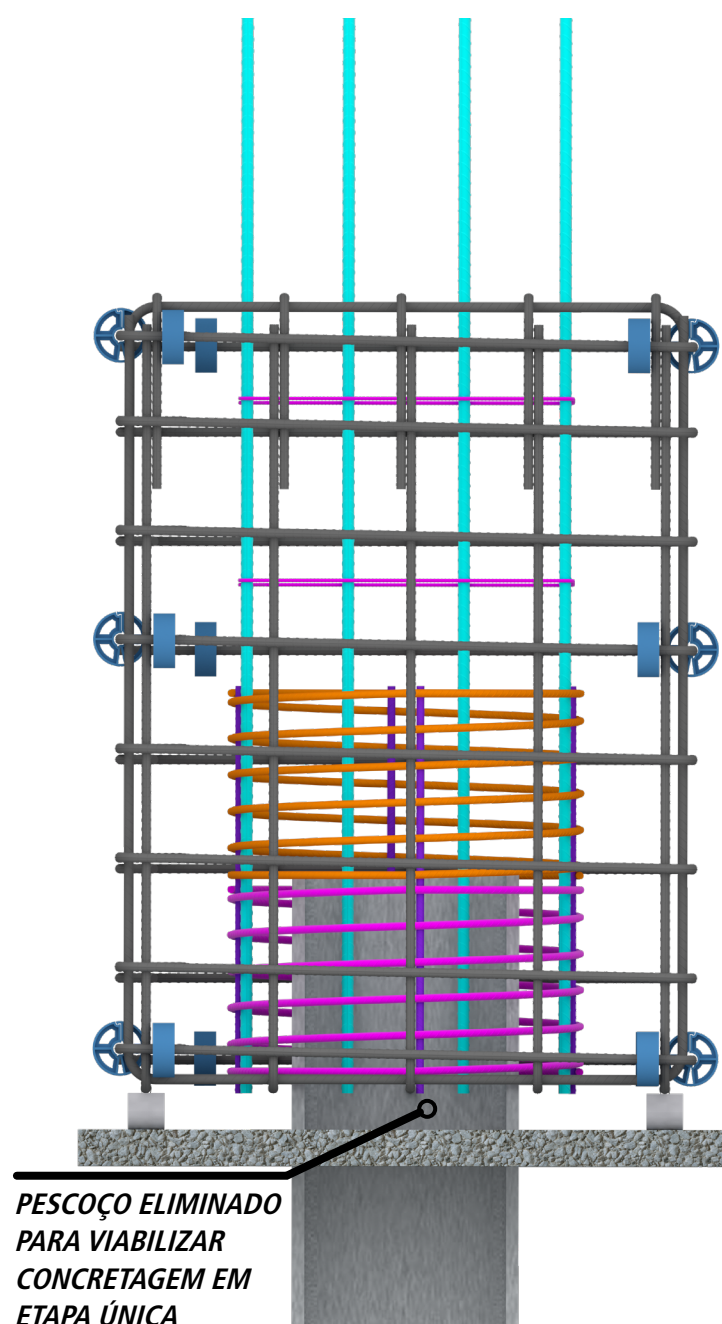


Figura 4.23
Bloco de coroamento com pescoço incorporado

Para blocos de coroamento sobre duas ou mais estacas (Figura 4.24), recomenda-se a concretagem em duas etapas, uma para o trecho do pescoço e outro para o bloco, de modo a evitar o aumento do consumo de materiais.

As Figuras 4.25 a 4.28 detalham a sequência de execução desenvolvida por Klein Junior (2023).

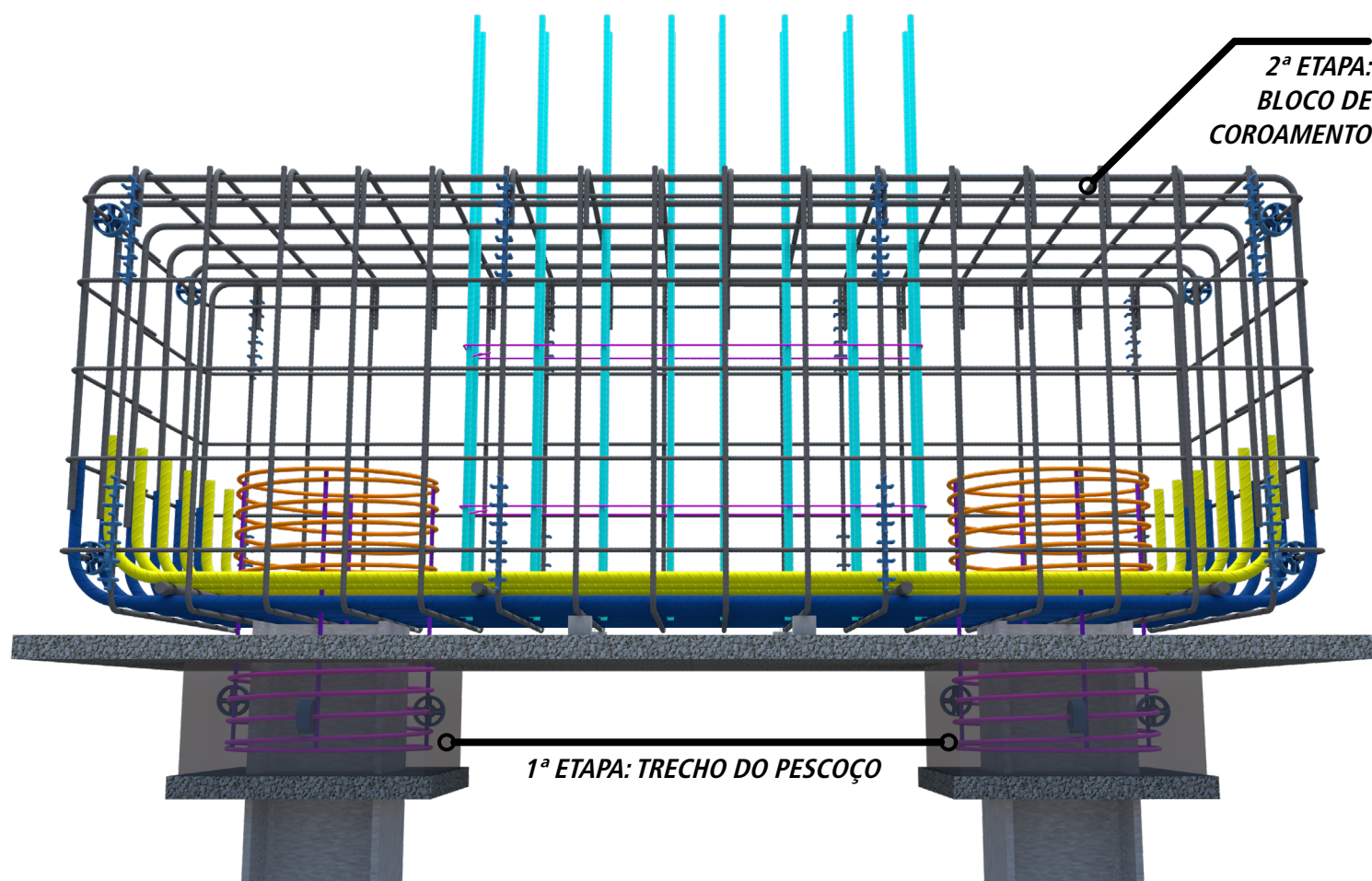


Figura 4.24
Bloco sobre duas estacas metálicas em duas etapas de execução

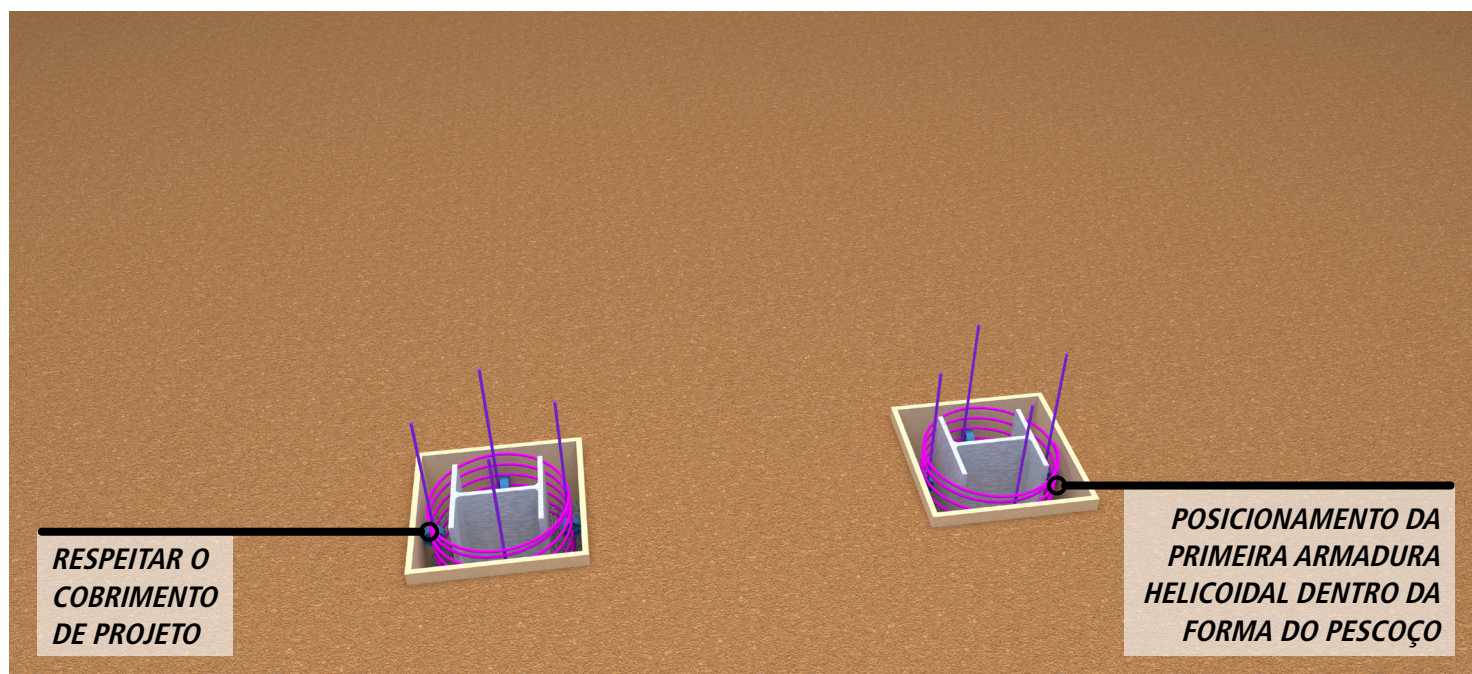


Figura 4.25
ETAPA 1 | Posicionamento das armaduras helicoidais nos pescoços

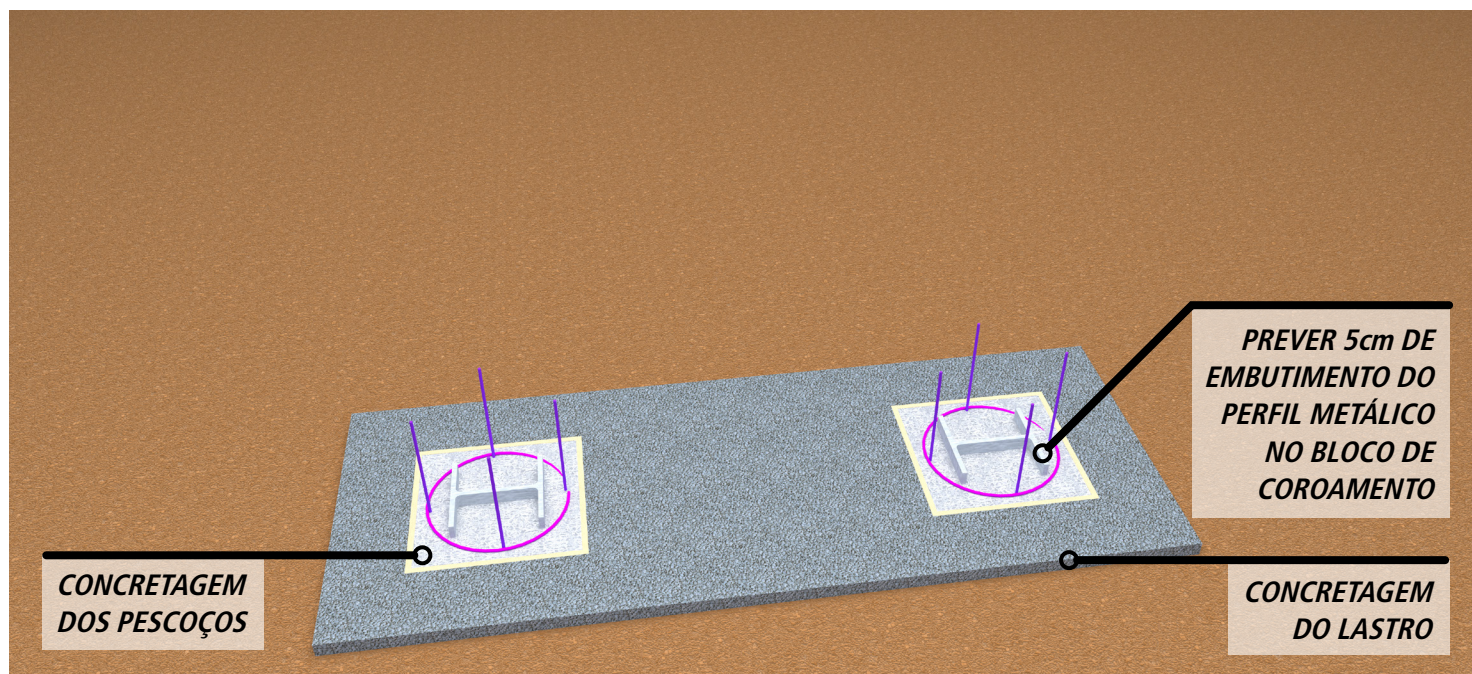
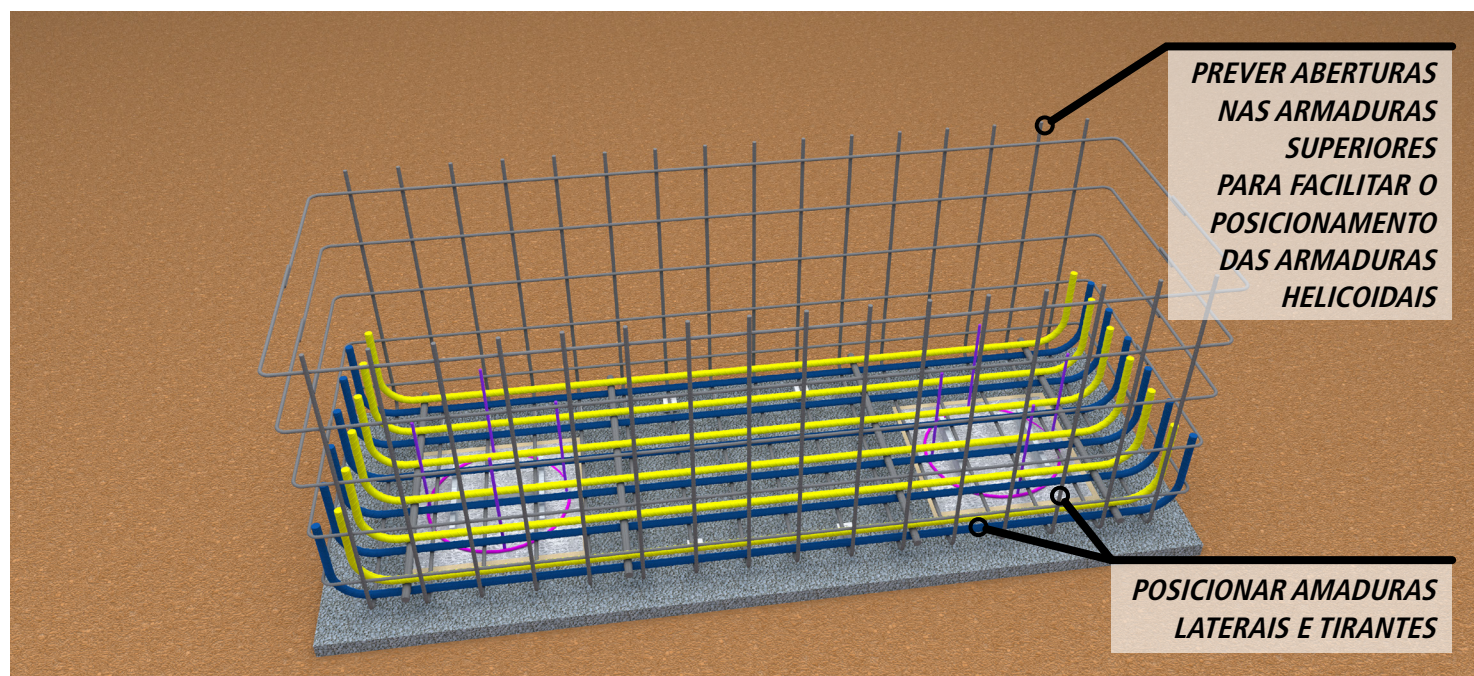
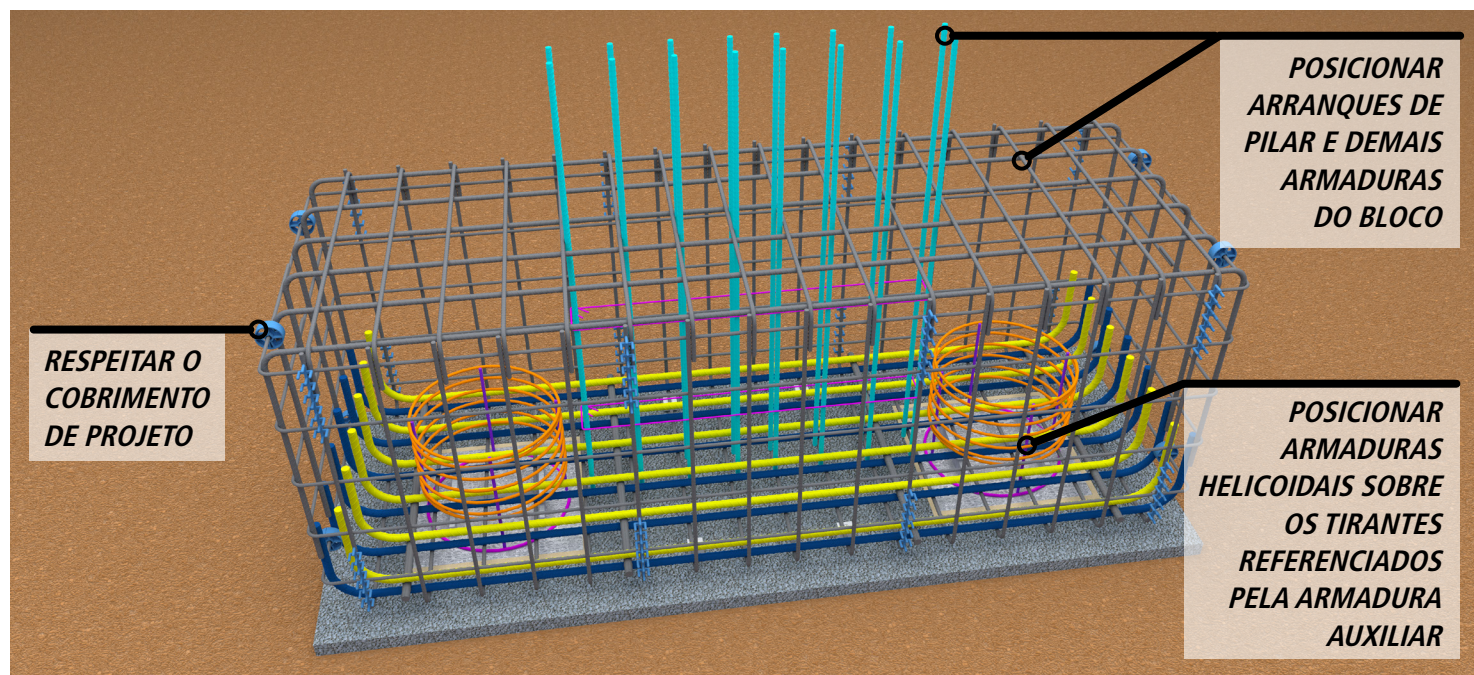


Figura 4.26
ETAPA 2 | Concretagem dos pescoços e lastro

**Figura 4.27**

ETAPA 3 | Posicionamento dos tirantes e armaduras laterais

**Figura 4.28**

ETAPA 4 | Posicionamento das demais armaduras

POSICIONAMENTO DA ARMADURA SUPERIOR

Para blocos de coroamento, radiers e sapatas com grandes proporções (altura e/ou dimensões em planta) e com armadura superior, recomendamos o uso de elementos metálicos (perfis metálicos ou composição de vergalhões) para auxiliar o posicionamento das armaduras (**Figura 4.29**).

De modo a respeitar o cobrimento superior, recomenda-se, entre tais elementos, um espaçamento de $50\varnothing$ (conforme a norma britânica BS 7973-2 de 2001), onde $\varnothing$ é o diâmetro da armadura superior. Em algumas obras, quando a armadura superior é composta por vergalhões de diâmetro de 25mm ou 32mm, é convenção utilizar a distância de 1,50m entre estes elementos de metálicos.

Abaixo, apresentamos as distâncias máximas entre estes elementos metálicos para diferentes diâmetros de armaduras superiores:

Diâmetro (mm)	Distância máxima
Ø 8	40cm
Ø 10	50cm
Ø 12,5	60cm
Ø 16	80cm
Ø 20	100cm
Ø 25 e 32	150cm

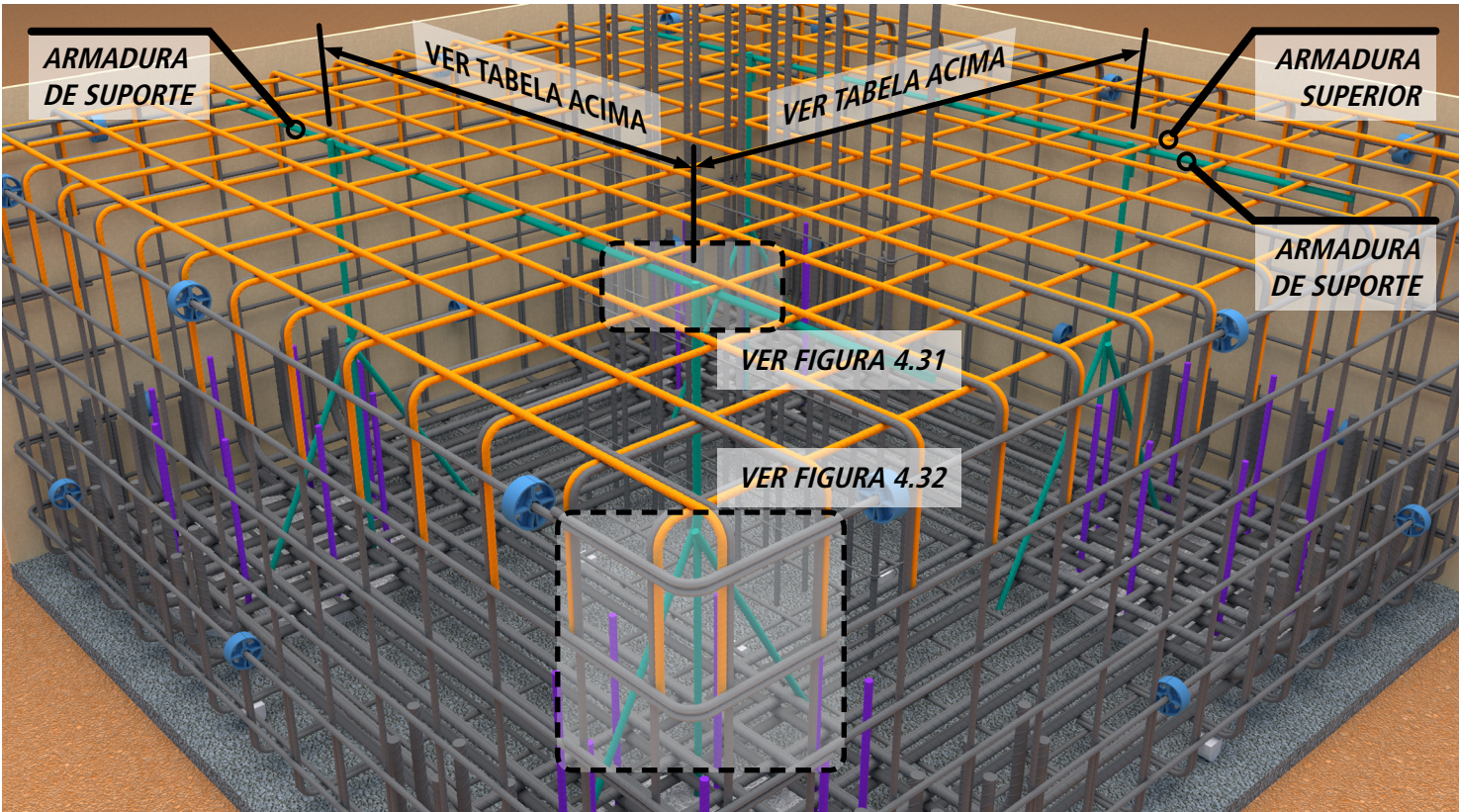


Figura 4.29
Exemplo de posicionamento dos elementos metálicos (tripés)

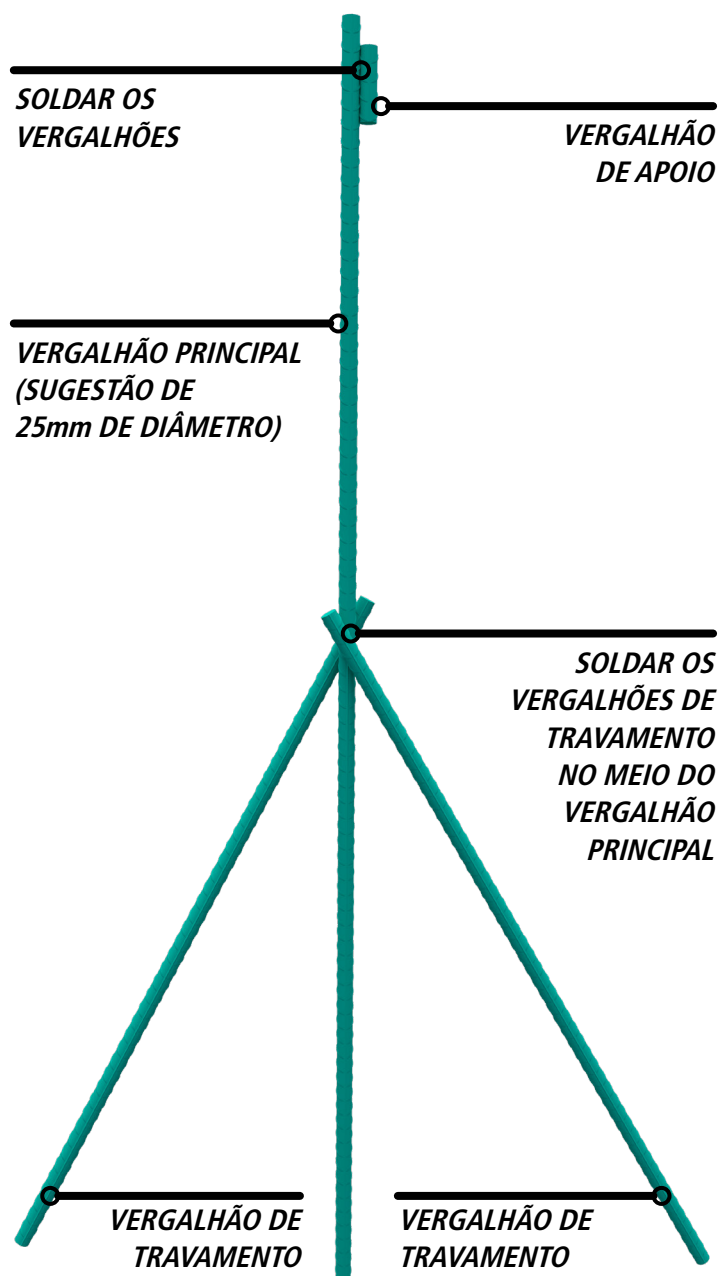


Figura 4.30
Exemplo de elemento metálico (tripé) para posicionamento da armadura superior

Não existe um formato padrão para este elemento metálico. Desta forma, na **Figura 4.30**, apresenta-se uma opção interessante observada em alguns canteiros de obra, opção esta apelidada de "tripé".

O tripé é constituído por segmentos de vergalhão soldados entre si. A solda é recomendada em vez da amarração para garantir a segurança dos armadores trabalhando abaixo e acima da armadura superior. Além disso, recomenda-se que o topo do tripé seja soldado à armadura superior (**Figura 4.31**).

O tripé tem um bom funcionamento até uma altura de 3,0m. Para elementos estruturais superiores a esta altura, recomenda-se o uso de perfis metálicos.

Conforme a **ABNT NBR 14931**, elementos metálicos não podem permanecer expostos na face de elementos estruturais. Embora também esteja claro na norma que tal regra não é válida para elementos de fundação, recomenda-se que as pontas do tripés (**Figura 4.32**) sejam pintadas, conforme orientações do Capítulo 1 deste Manual. Além disso, recomenda-se, como outra alternativa, o posicionamento de ponteiros plásticos de proteção. No entanto, se as pontas do tripé forem posicionadas sobre as estacas, não há a necessidade de fazer tal proteção.

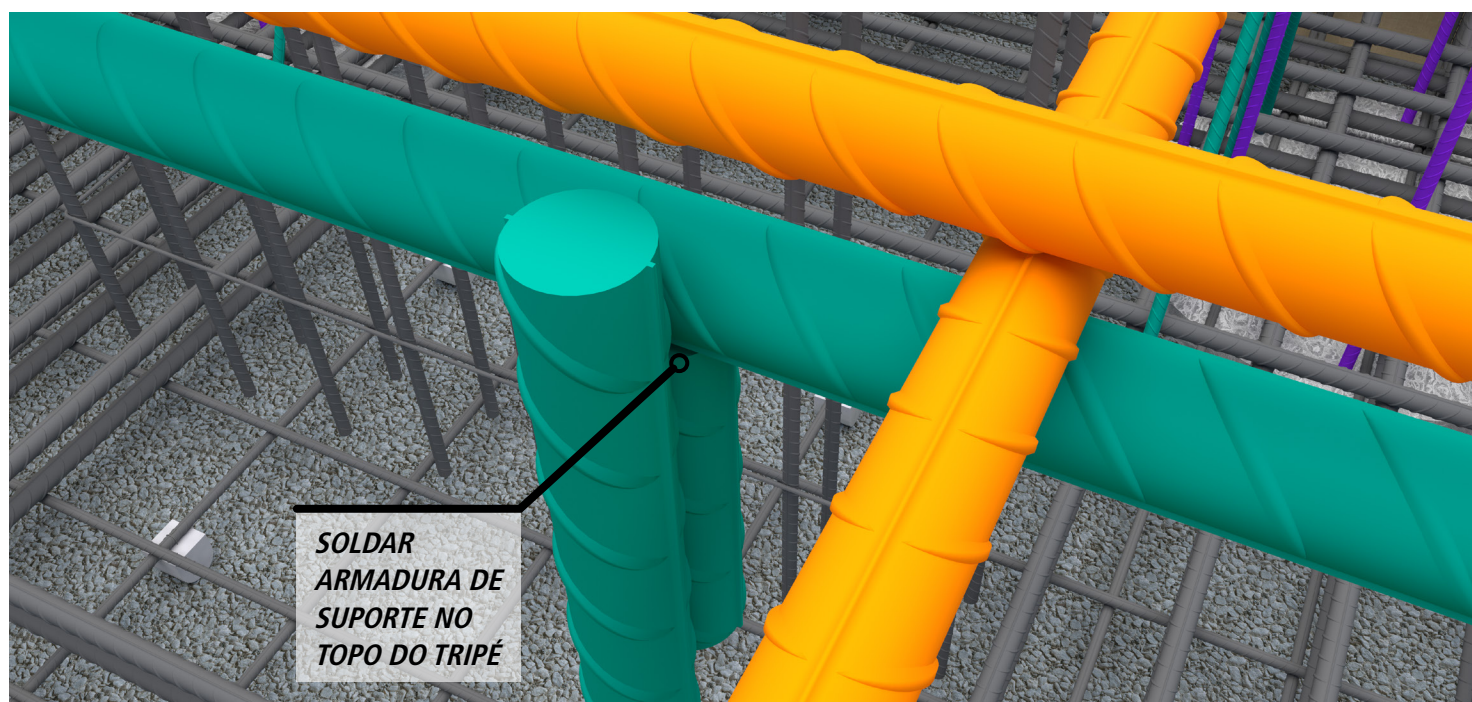


Figura 4.31
Ponto de apoio da armadura no tripé

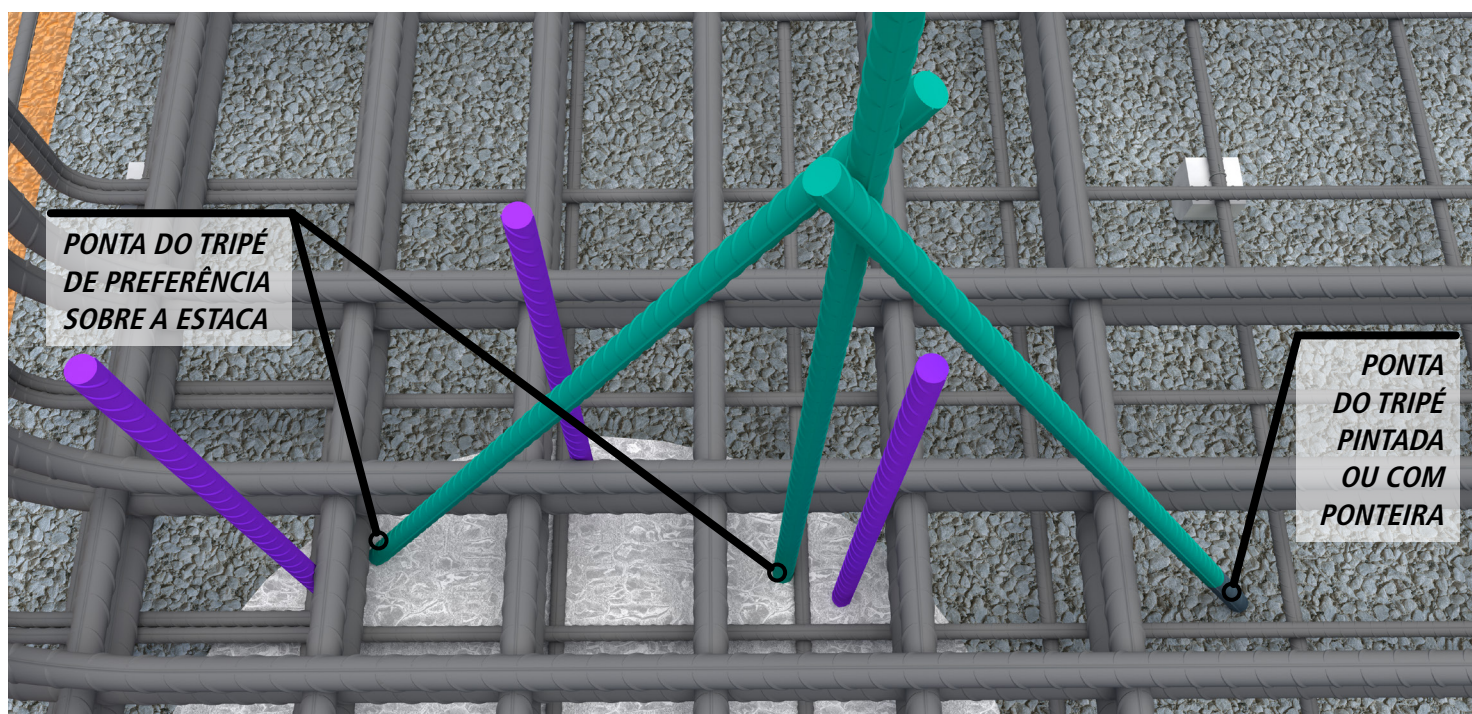


Figura 4.32
Pontos de apoio do tripé

CAPÍTULO 5

ARMADURAS DE VIGAS DA FUNDAÇÃO

Neste capítulo, três tipos de vigas utilizadas comumente nas fundações são apresentados: as vigas baldrame (também conhecidas como cintas da fundação), as vigas de travamento e as vigas alavanca (também conhecidas como vigas de equilíbrio).

Existem diversas soluções para o dimensionamento dessas vigas – visando a economia de concreto e aço –, com tempos de execução e detalhes variados. O foco deste capítulo não é, pois, recomendar a melhor forma de se dimensionar essas vigas, já que diversos exemplos já foram estudados na literatura atual, mas sim detalhar as boas práticas no posicionamento das armaduras dessas vigas, especificamente nos encontros com as sapatas e os blocos.

São abordados os seguintes encontros:

- Viga baldrame apoiada em blocos de coroamento;
- Viga baldrame apoiada em sapatas;
- Viga de travamento apoiada em blocos de coroamento;
- Viga alavanca apoiada em blocos de coroamento;
- Viga alavanca apoiada em sapatas.

VIGA BALDRAME

Embora esta viga seja a mais simples entre as vigas presentes em fundações, mantém-se necessário cuidado em seu posicionamento (**Figuras 5.2 e 5.4**). A viga baldrame é posicionada sob a alvenaria nos empreendimentos onde o solo (no nível do piso) não possui uma boa resistência para suportar a carga linear da alvenaria (mesmo com contrapiso armado) ou nos casos em que o nível do solo está abaixo do nível de assentamento da fundação.

A viga baldrame pode apoiar-se em blocos de coroamento, como mostra a **Figura 5.1**, ou em sapatas, como apresentado na **Figura 5.3**.

O modelo de cálculo de uma viga baldrame assemelha-se ao de uma viga usual de pavimento, já que o engenheiro estrutural a projeta para resistir essencialmente à flexão e ao cisalhamento decorrente do peso da alvenaria e do peso próprio.

Vale ressaltar que os comprimentos de ancoragem das armaduras longitudinais das vigas baldrame devem sempre ser respeitados.

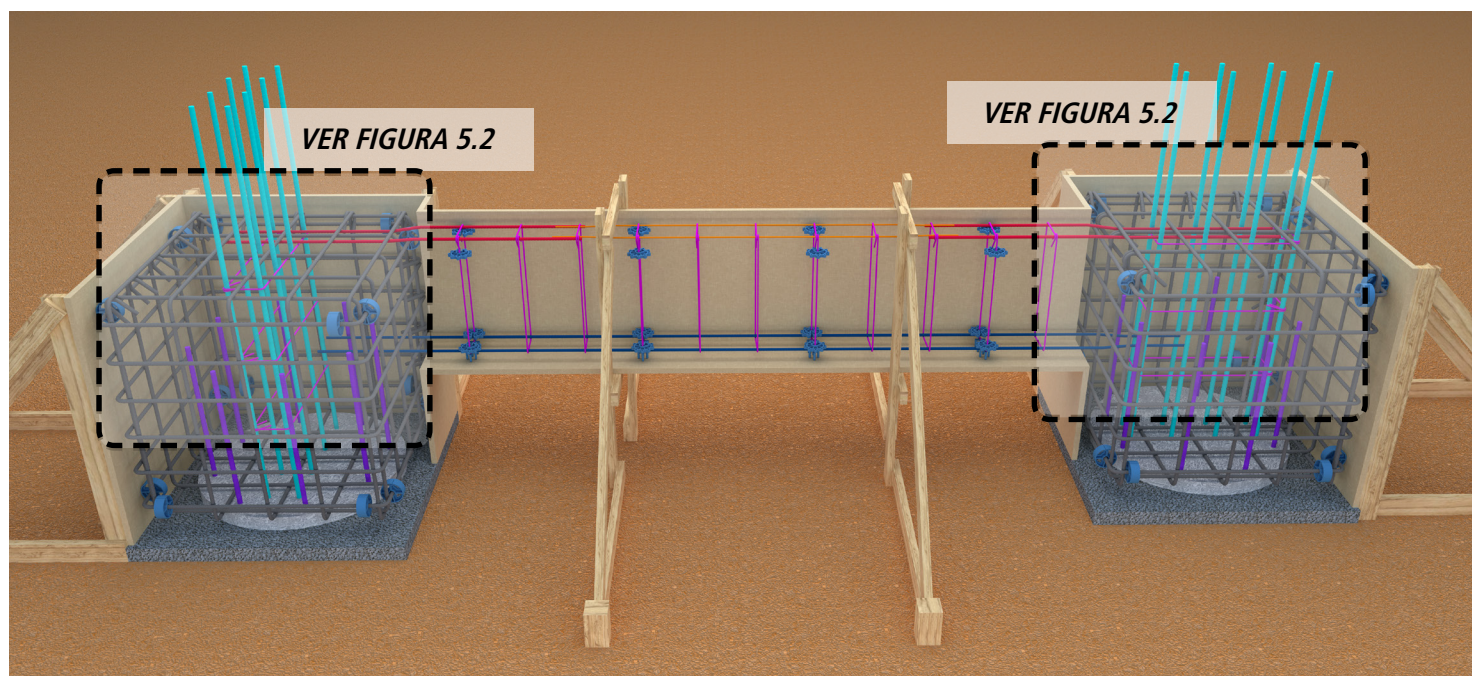


Figura 5.1

Exemplo de uma viga baldrame apoiada em blocos. Para o posicionamento dos espaçadores, consultar o Capítulo 7.

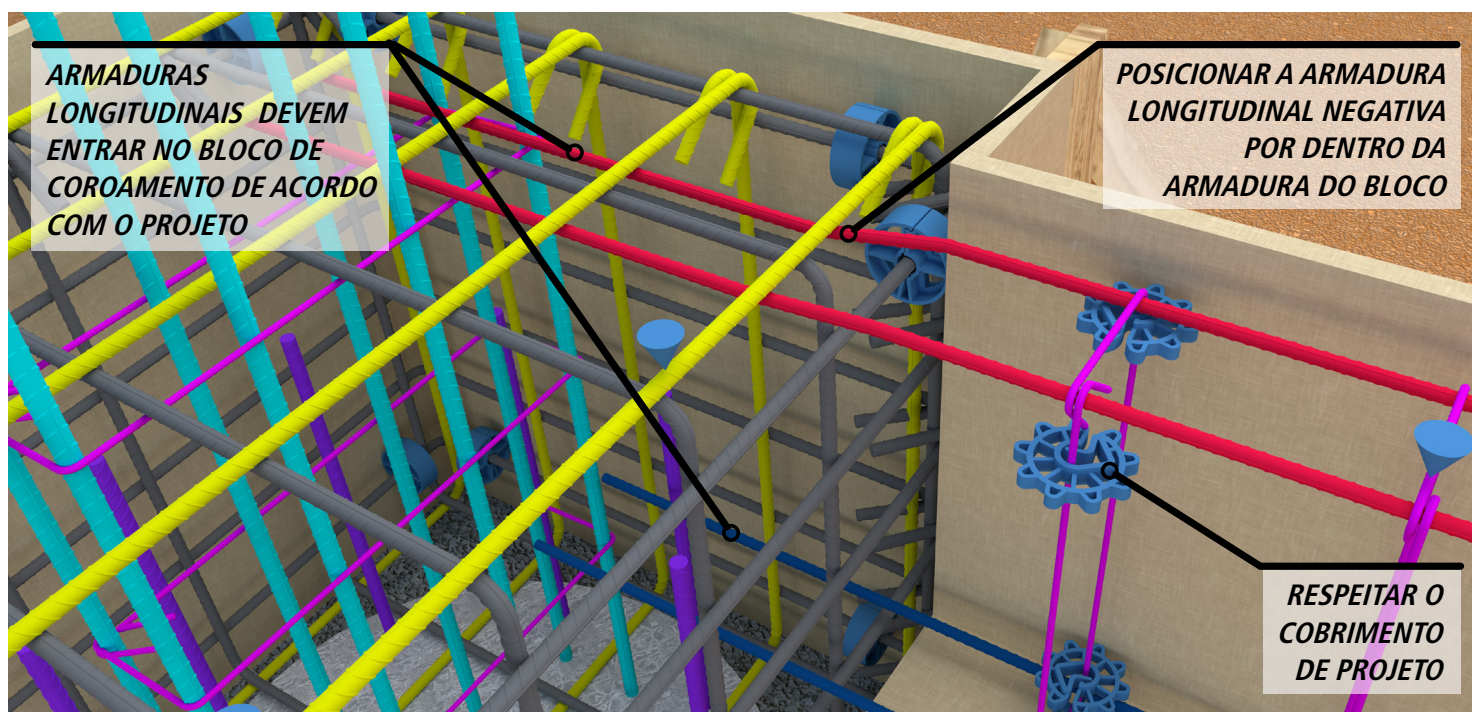


Figura 5.2

Detalhe do posicionamento das armaduras da viga baldrame em bloco de coroamento

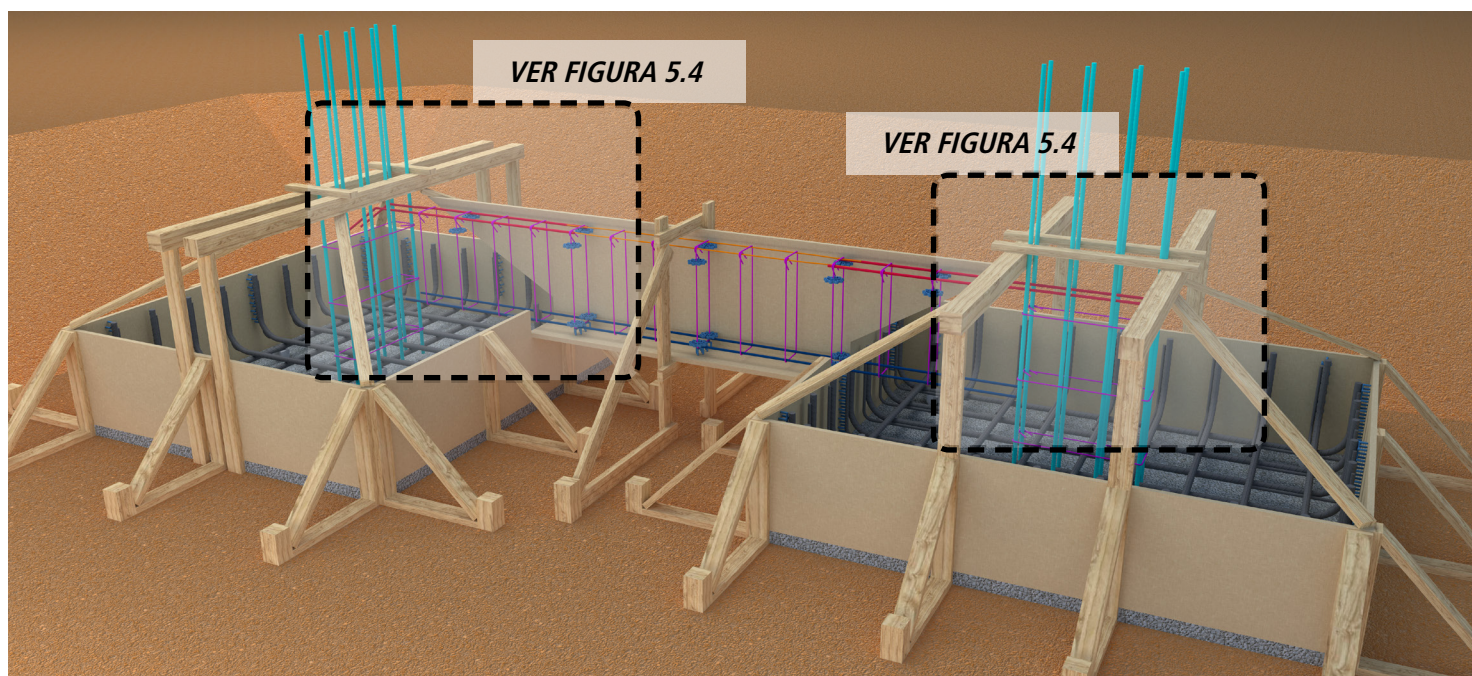


Figura 5.3

Exemplo de uma viga baldrame apoiada em sapatas. Para o posicionamento dos espaçadores, consultar o Capítulo 7.

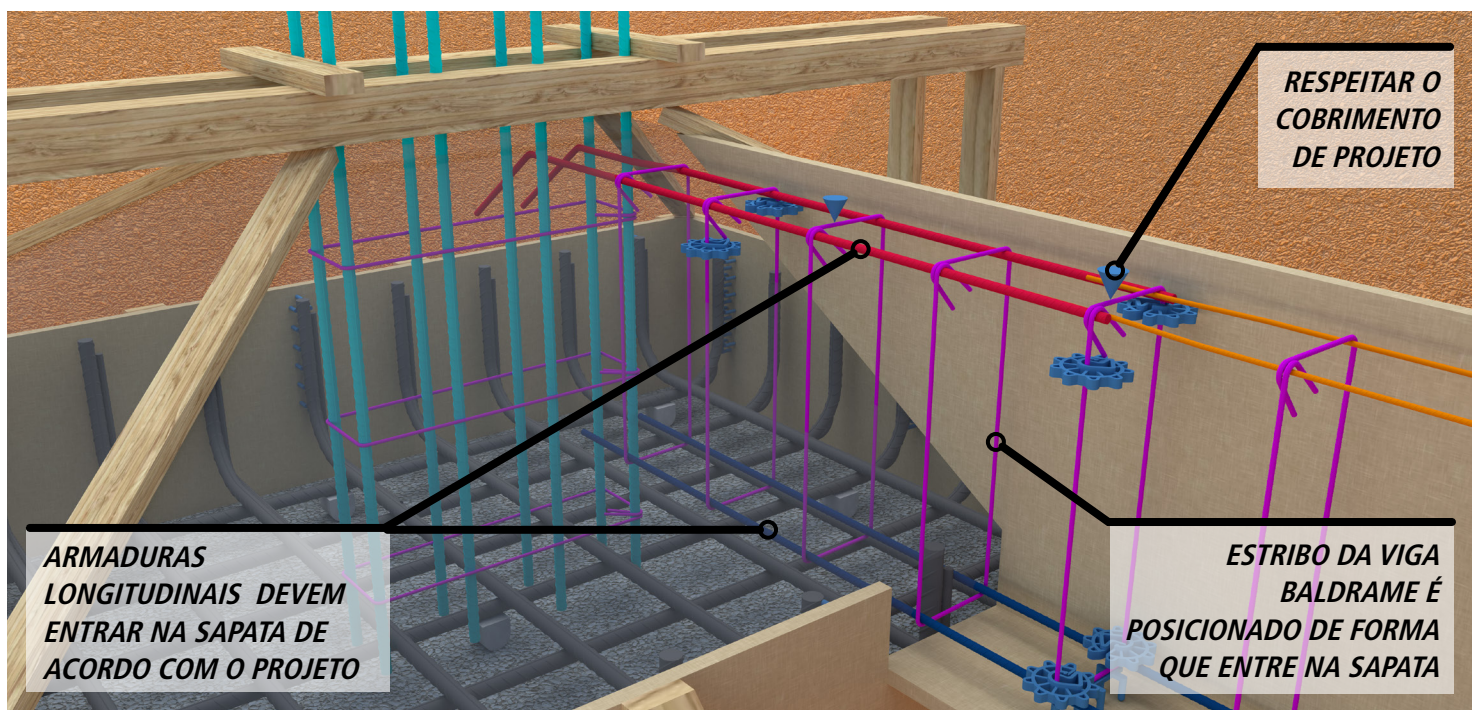


Figura 5.4

Detalhe do posicionamento das armaduras da viga baldrame em sapata

VIGA DE TRAVAMENTO

A viga de travamento (**Figura 5.5**) é solicitada pelo consutor de solos para travar os blocos de coroamento, ou seja, transmitir os esforços do pilar de um bloco para outro. Isso acontece quando a(s) estaca(s) do primeiro bloco não possuem capacidade de transferir os esforços diretamente para o solo.

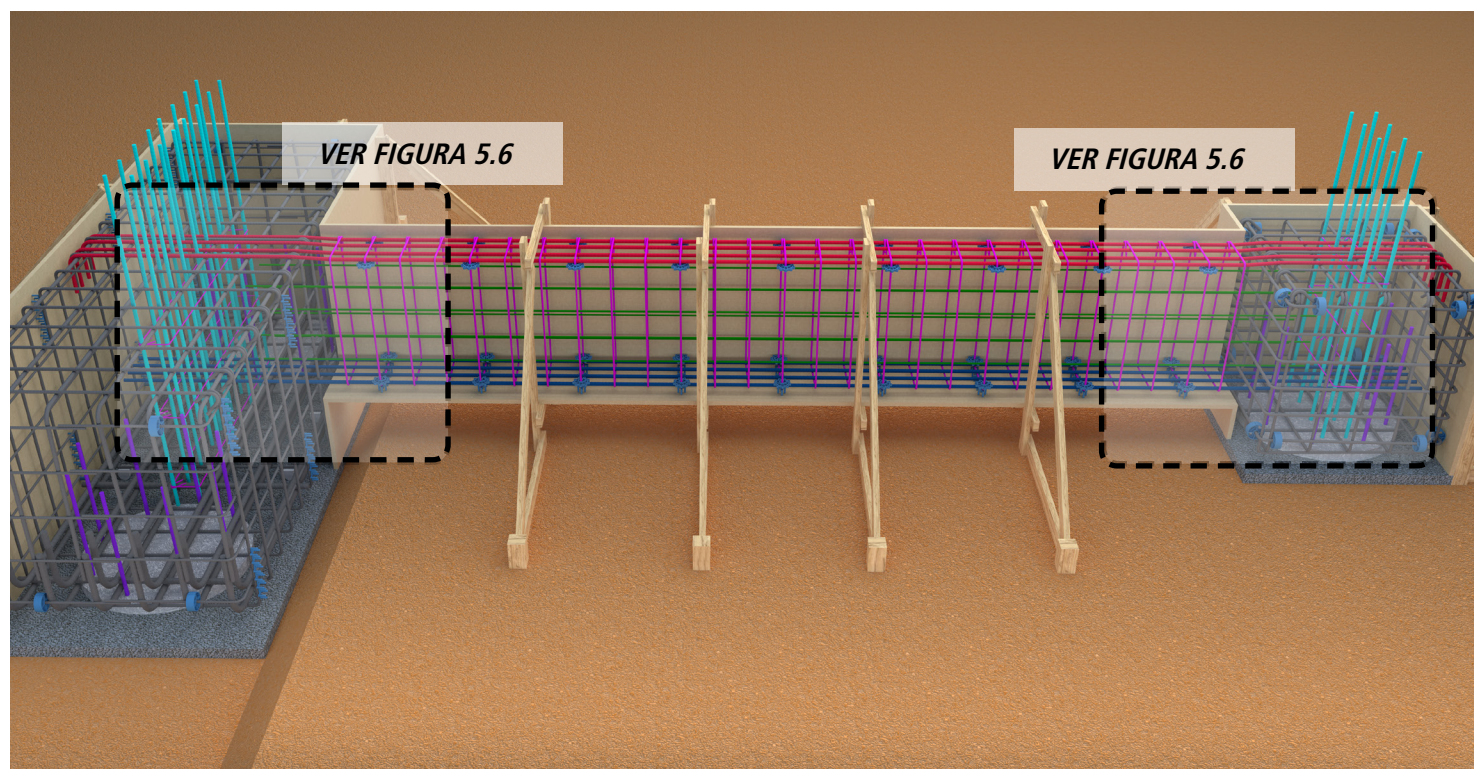


Figura 5.5

Exemplo de blocos travados por uma viga de travamento. Para o posicionamento dos espaçadores, consultar o Capítulo 7.

É importante posicionar a primeira camada da armadura do bloco de coroamento paralela à armadura longitudinal negativa da viga de travamento. Assim, o respeito ao cobrimento de projeto é facilitado. A **Figura 5.6** ressalta este detalhe.

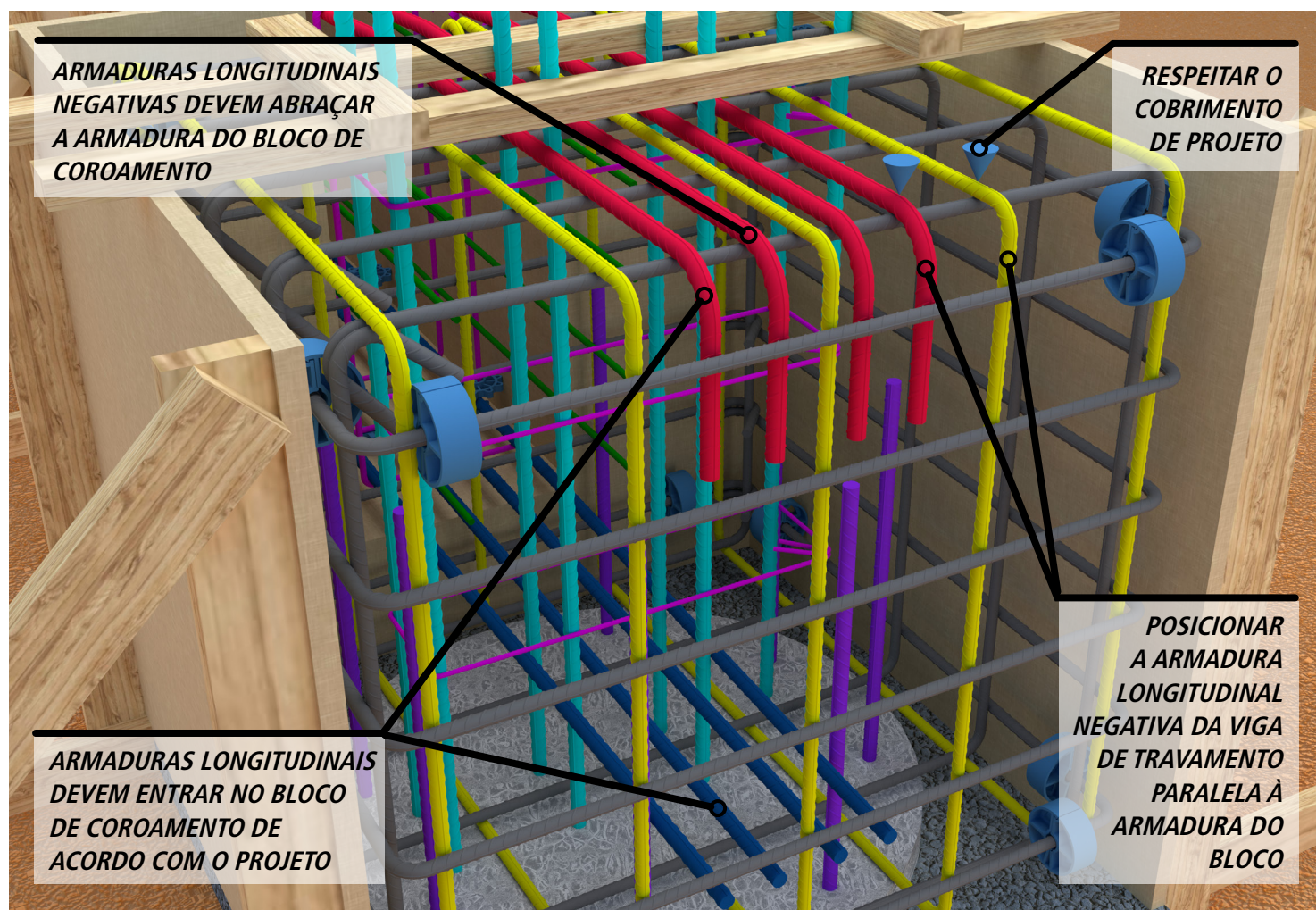


Figura 5.6

Detalhe do posicionamento das armaduras da viga de travamento no bloco de coroamento

VIGA ALAVANCA

Quando o pilar e o elemento de fundação – bloco ou sapata – não possuem os centros geométricos (CGs) coincidentes, e o elemento de fundação não possui resistência suficiente para absorver os esforços do pilar e da excentricidade adicional, é utilizada uma viga alavanca (**Figura 5.7 e 5.10**). Este caso acontece, por exemplo, quando pilares estiverem posicionados no limite do terreno e as estacas não puderem ser executadas sob os pilares.

Assim como a viga de travamento, a viga alavanca também é solicitada pelo consultor de solos.

Na viga alavanca, a tração se concentra em sua face superior. Para combater essa tração, vergalhões são posicionados nessa região. No entanto, resistir a esses esforços somente é possível ao garantirmos a ancoragem desses vergalhões. O posicionamento dos grampos de ancoragem estão indicados na **Figura 5.9** para o caso de apoio em bloco de coroamento e na **Figura 5.12** para o caso de apoio em sapatas.

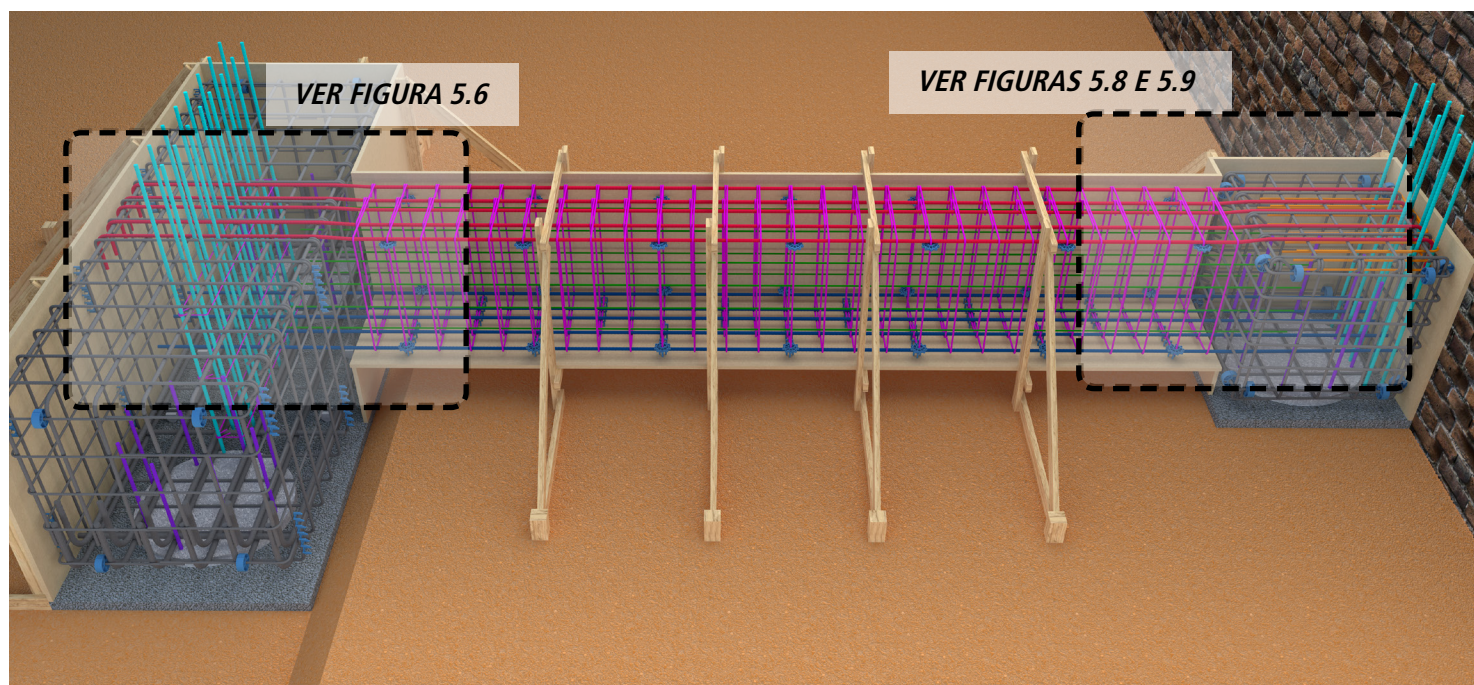
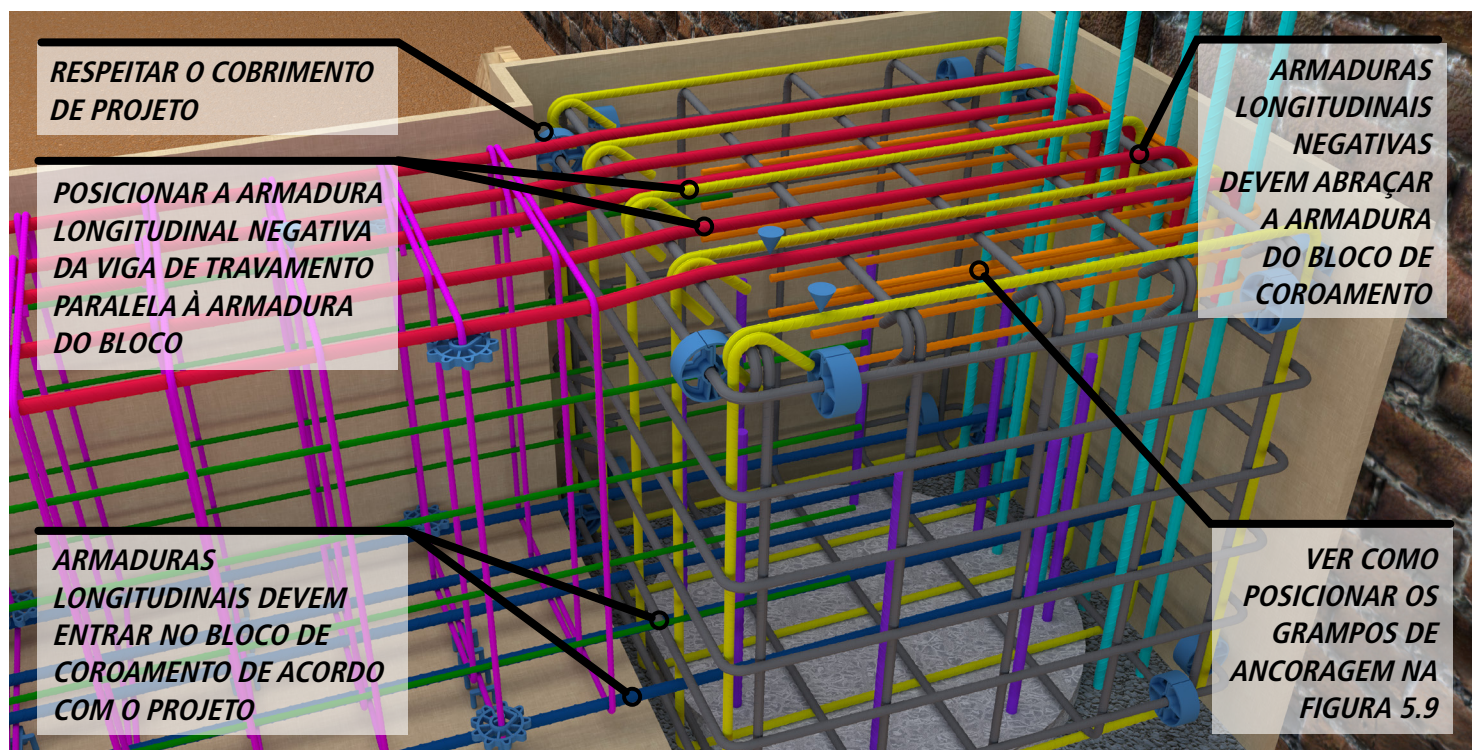
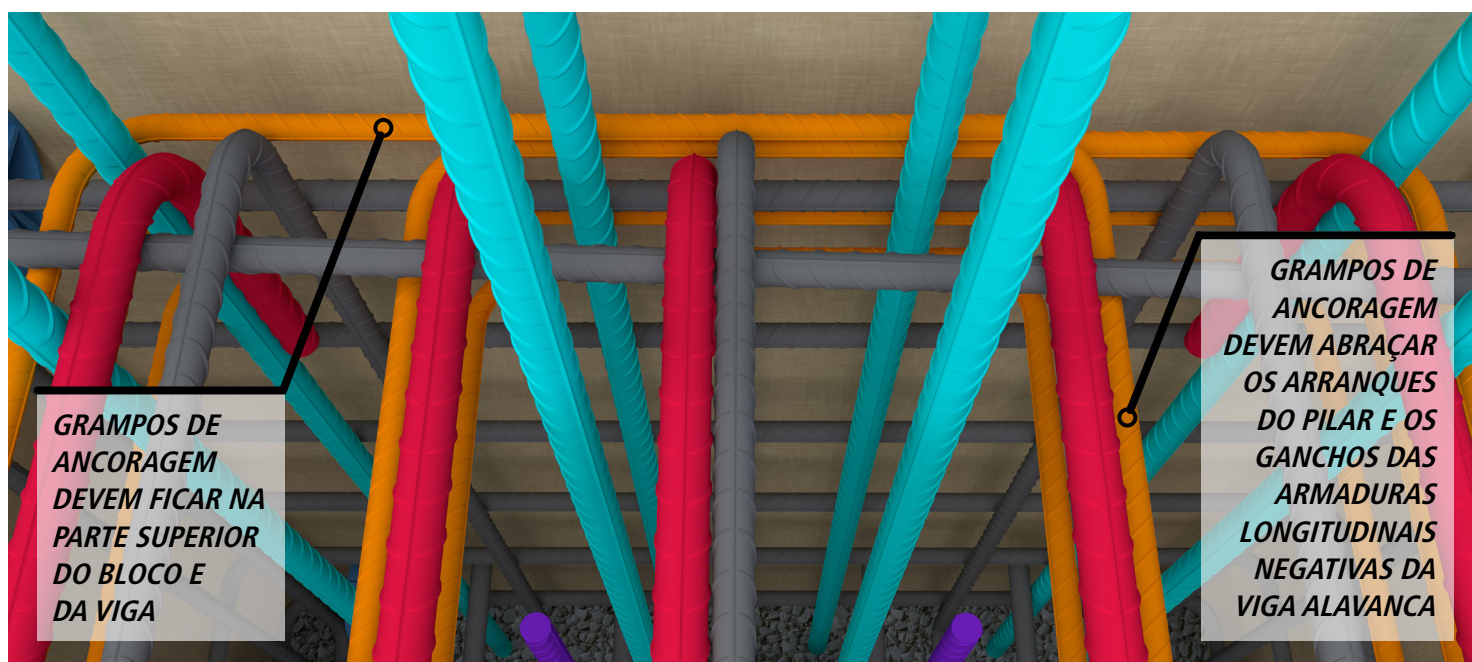


Figura 5.7

Exemplo de viga alavanca em bloco de coroamento. Para o posicionamento dos espaçadores, consultar o Capítulo 7.

**Figura 5.8**

Detalhe do posicionamento das armaduras da viga alavanca no bloco de coroamento, onde o pilar está posicionado próximo à divisa do terreno

**Figura 5.9**

Detalhe do posicionamento dos grampos de ancoragem da viga alavanca no bloco de coroamento

Abaixo dos grampos de ancoragem, os arranques ainda sofrem compressão e estão situados próximo à face da sapata. Dependendo do posicionamento destes arranques, a flambagem (ou instabilidade) dos vergalhões pode ocorrer (ver Capítulo 6 para mais detalhes). Dessa forma, é conveniente prever estribos de pilar nestes arranques, principalmente em vigas alavanca de sapatas, como mostra a **Figura 5.12**.

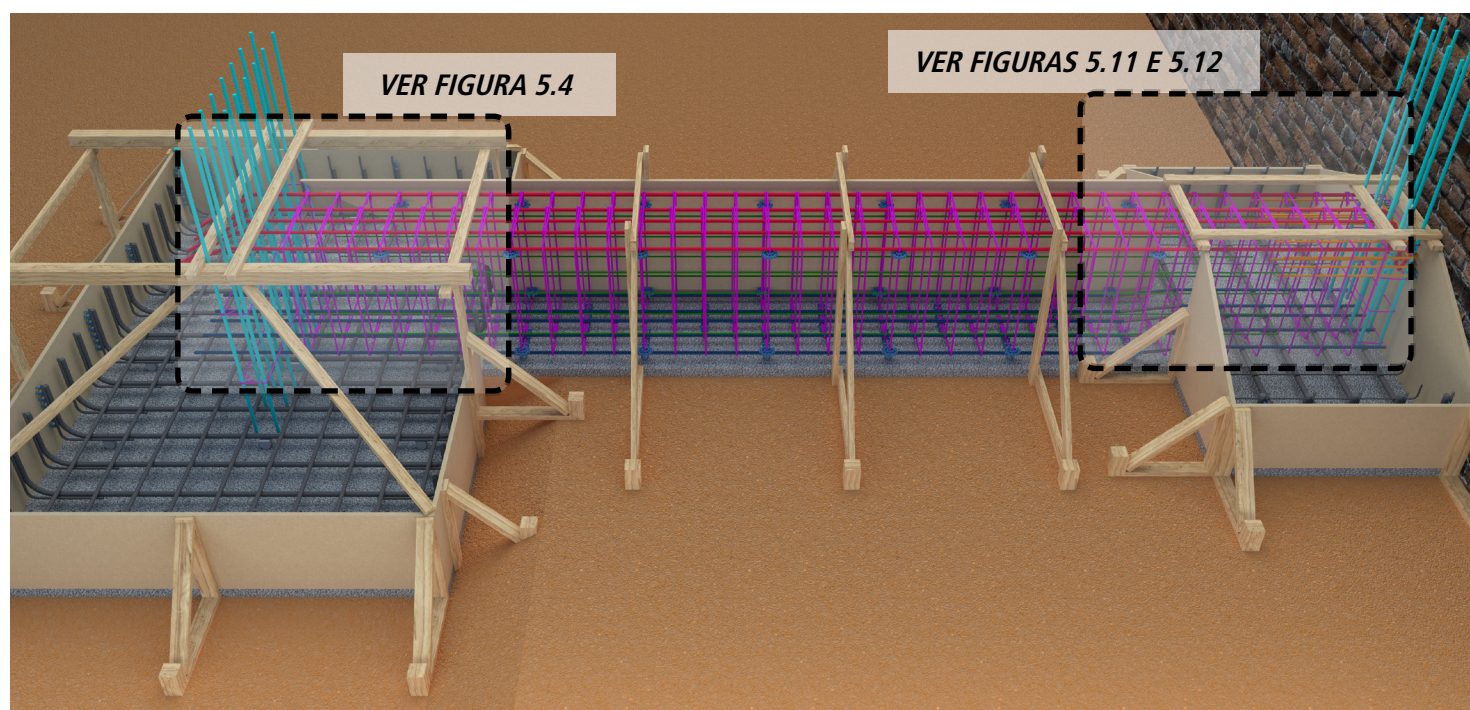


Figura 5.10

Exemplo de viga alavanca em sapata. Para o posicionamento dos espaçadores, consultar o Capítulo 7.

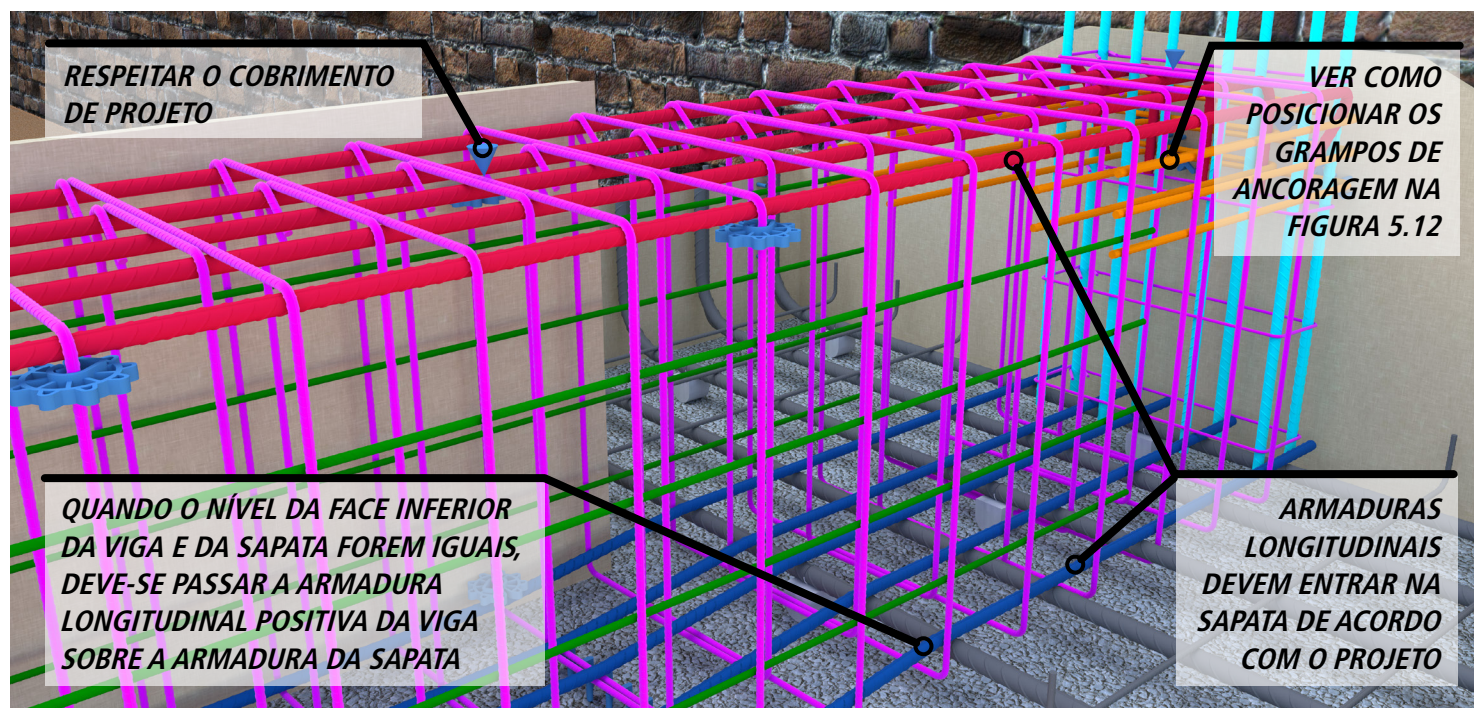


Figura 5.11

Detalhe do posicionamento das armaduras da viga alavanca na sapata, onde o pilar nasce próximo à divisa do terreno

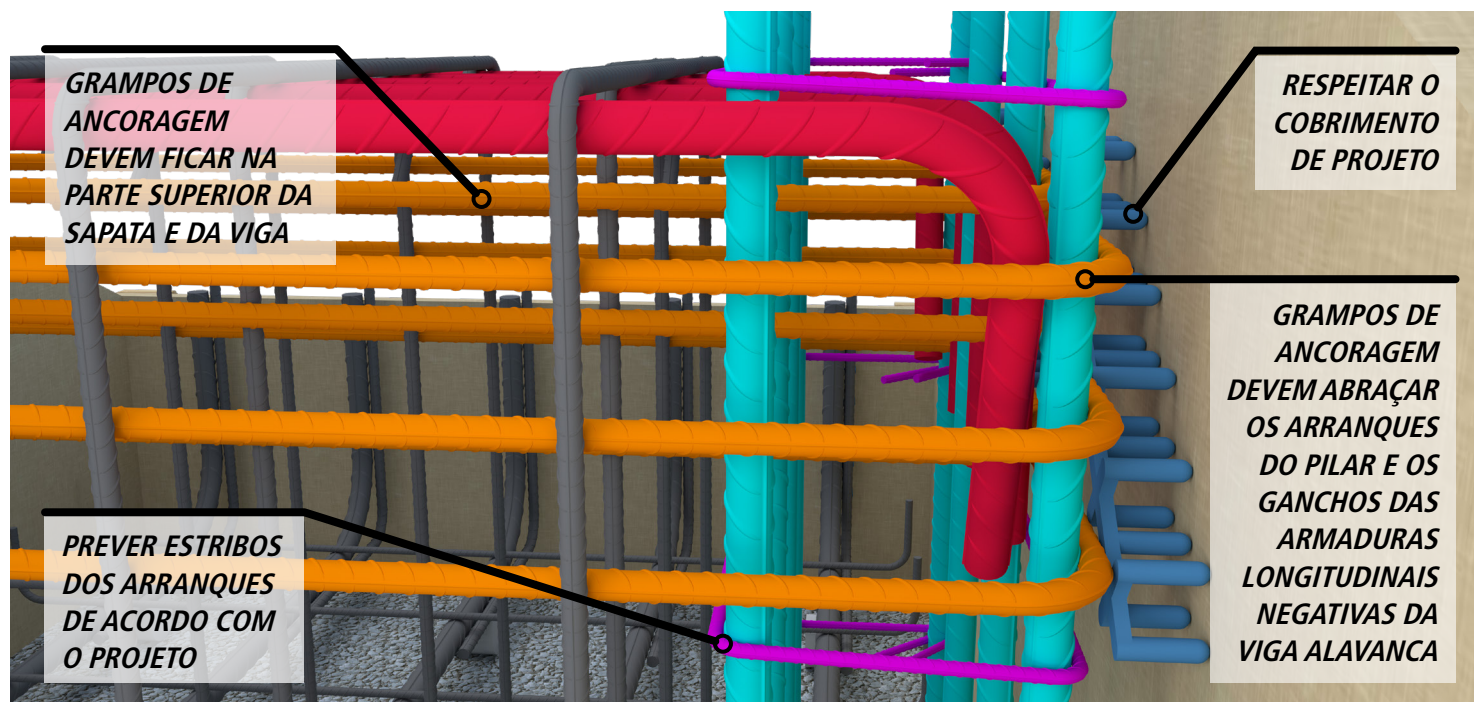


Figura 5.12

Detalhe do posicionamento dos grampos de ancoragem da viga alavanca na sapata

CAPÍTULO 6

ARMADURAS DE PILARES

POSICIONAMENTO DE ARRANQUES DOS PILARES

Para o posicionamento dos arranques de pilar nos elementos estruturais de fundação, o pilar é locado através dos eixos da obra. Feito isto, é produzido um gabarito (tipo gualho) cujas dimensões consideram o lado do pilar subtraindo dois cobrimentos e dois diâmetros do estribo (**Figura 6.1**). O gabarito é, então, posicionado acima do topo dos elementos estruturais de fundação (**Figuras 6.2 e 6.3**). É comum posicionar ganchos nas extremidades dos arranques para que o cobrimento seja respeitado. Em relação ao dimensionamento, os ganchos são realmente necessários quando a altura do elemento estrutural (bloco de coroamento ou sapata) for inferior ao comprimento de ancoragem ou caso ocorra tração no pilar.

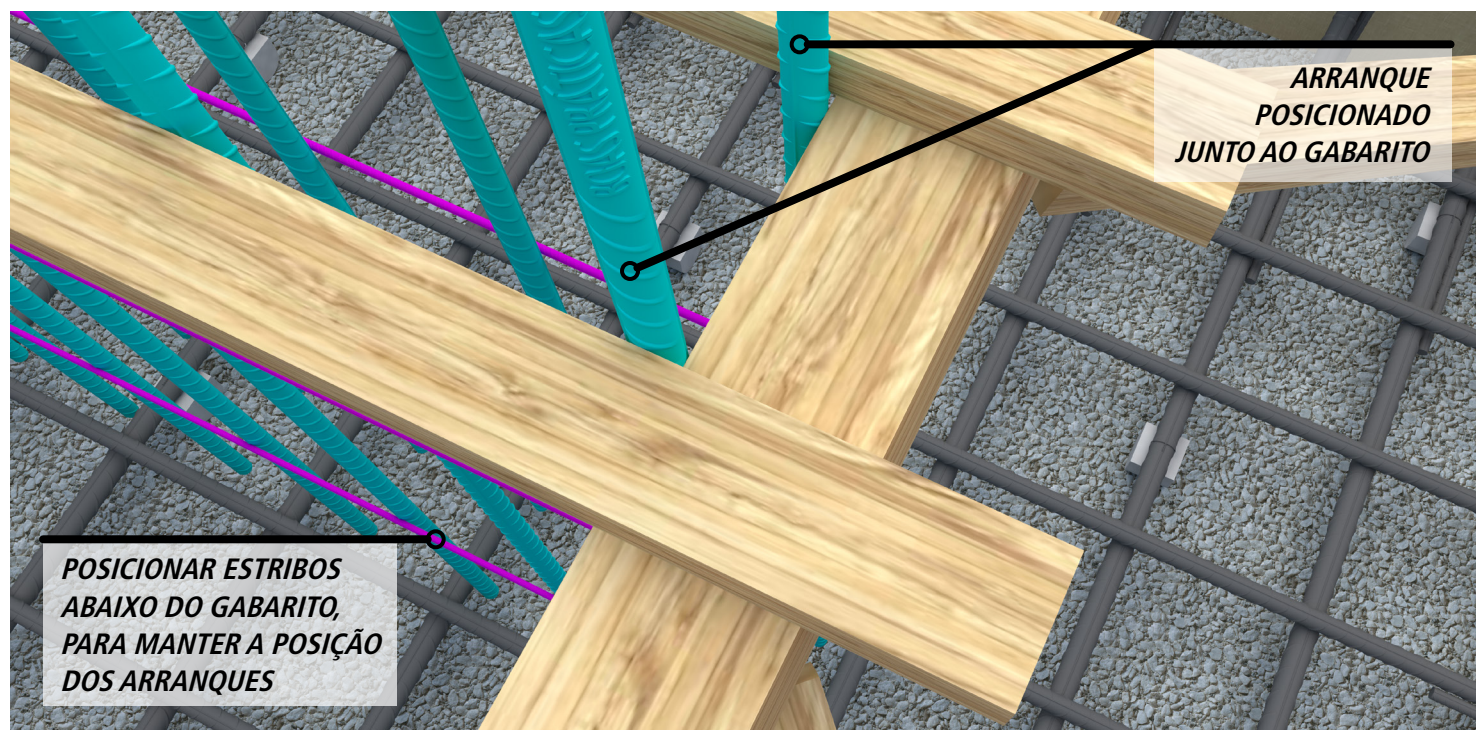


Figura 6.1

Gabarito para posicionamento dos arranques de pilar

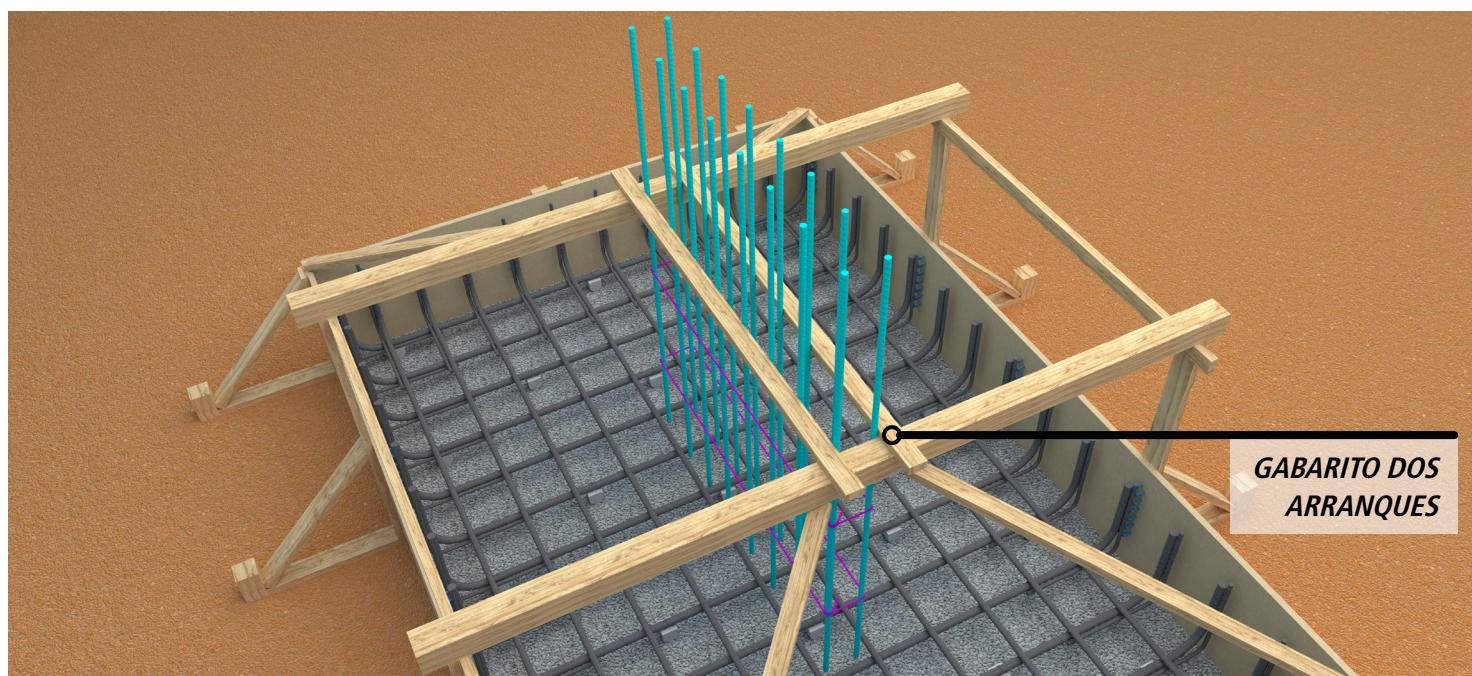


Figura 6.2
Exemplo de posicionamento dos arranques de pilar em sapata

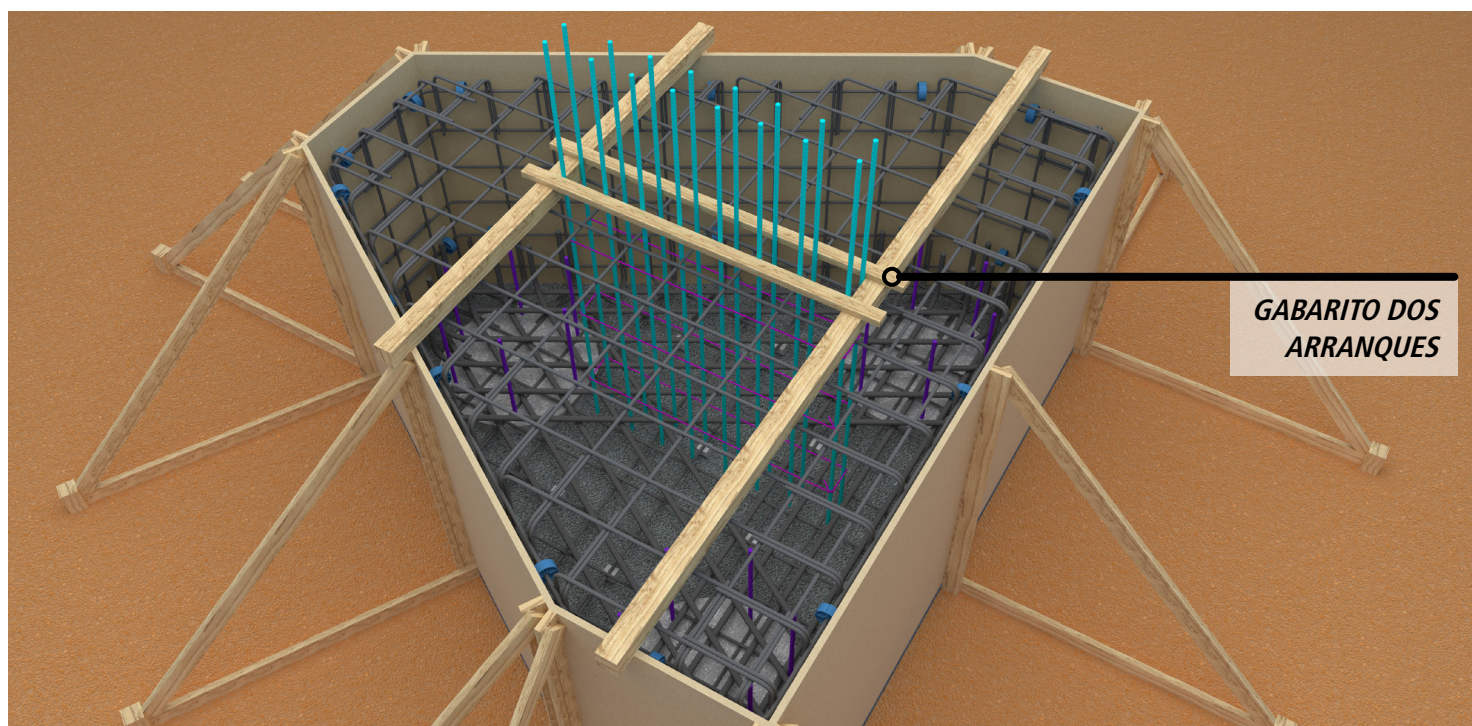


Figura 6.3
Exemplo de posicionamento dos arranques de pilar em bloco de coroamento

ESPAÇADORES EM PILARES

Cada obra deverá encontrar as distâncias/posicionamento entre os espaçadores que respeitem os cobrimentos definidos em projeto. Nas regiões onde os estribos do pilar possuem interferências com as armaduras das vigas e com os arranques do pilar do lance inferior, a possibilidade dos espaçadores circulares se desprender é grande. De modo a evitar tal desprendimento, recomenda-se o uso do espaçador centopeia (**Figura 6.7**).

Interferências com outras armaduras também são comuns, aumentando as chances do cobrimento não ser respeitado. Convém, desse modo, adicionar mais espaçadores (**Figura 6.5**), especialmente nos cantos dos estribos (**Figura 6.6 e 6.7**) e do lado dos grampos (**Figura 6.8**). Estas regiões merecem atenção especial, pois contêm as dobras dos estribos ou os arames de amarração dos vergalhões com os grampos (ou estribos suplementares), deixando o estribo menos deslocável.

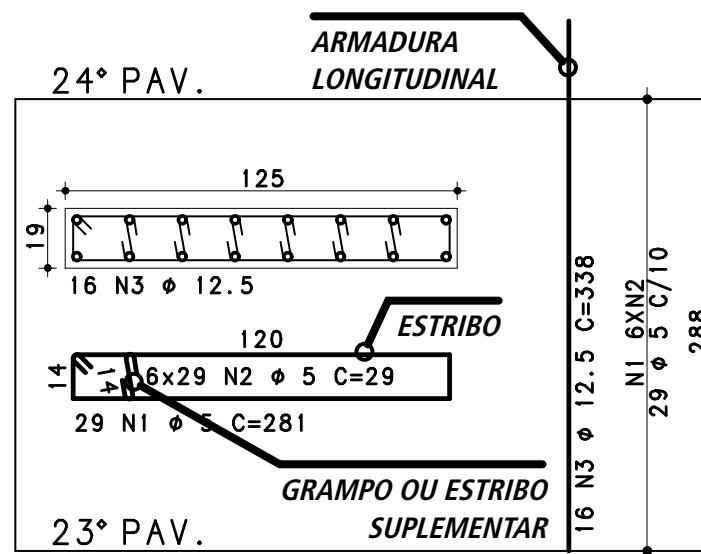


Figura 6.4

Projeto de armadura de pilar. Nota: exemplo apenas para fins de montagem. Para dimensionamento e detalhamento, consultar normas e bibliografias específicas.

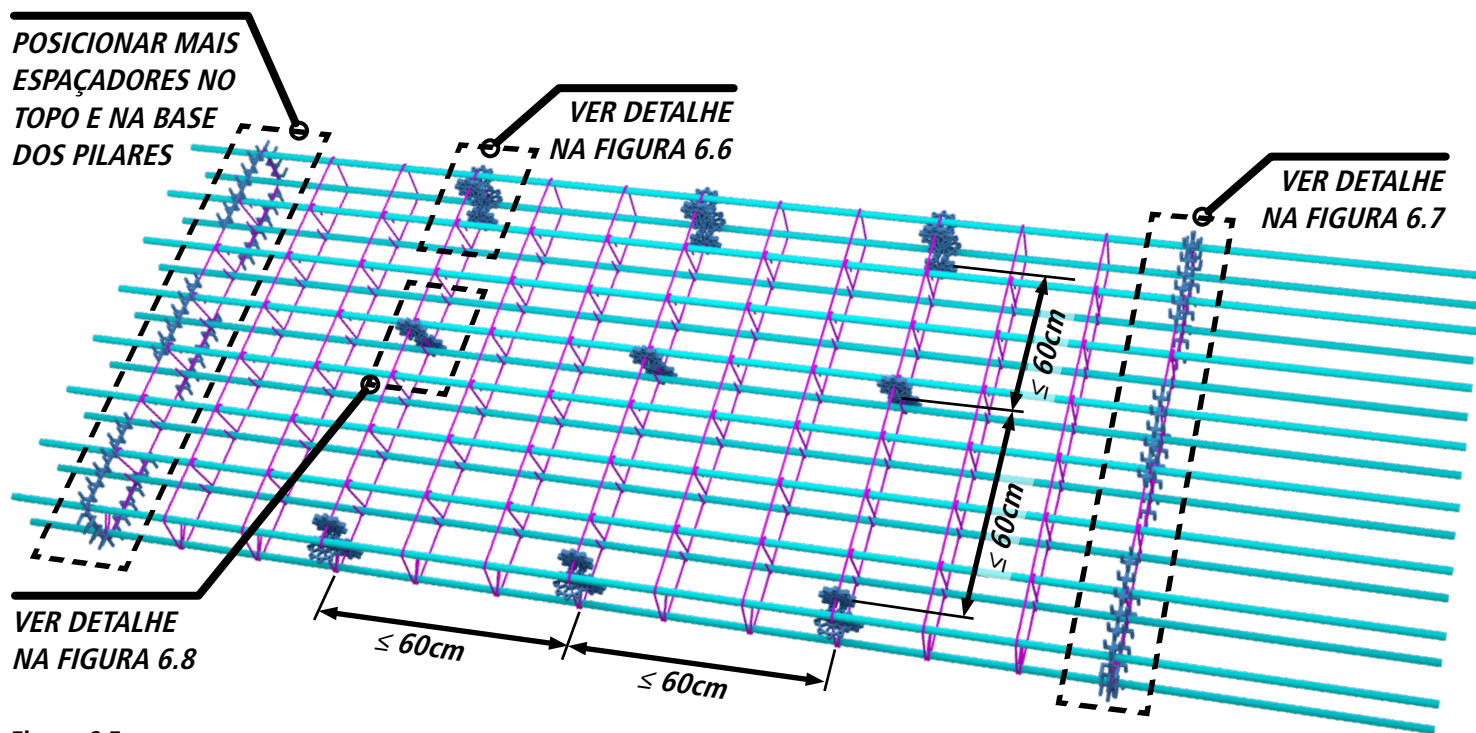


Figura 6.5

Sugestão de posicionamento dos espaçadores em pilares

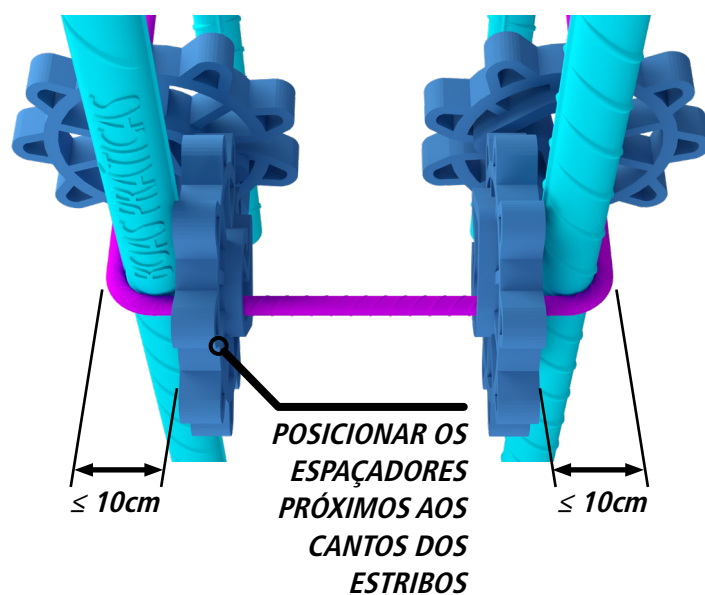


Figura 6.6
Posicionamento dos espaçadores circulares

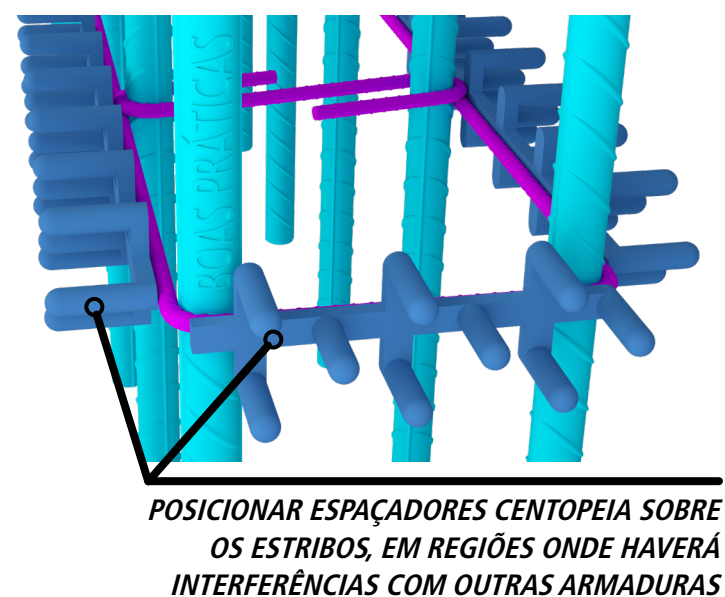


Figura 6.7
Posicionamento dos espaçadores centopeia

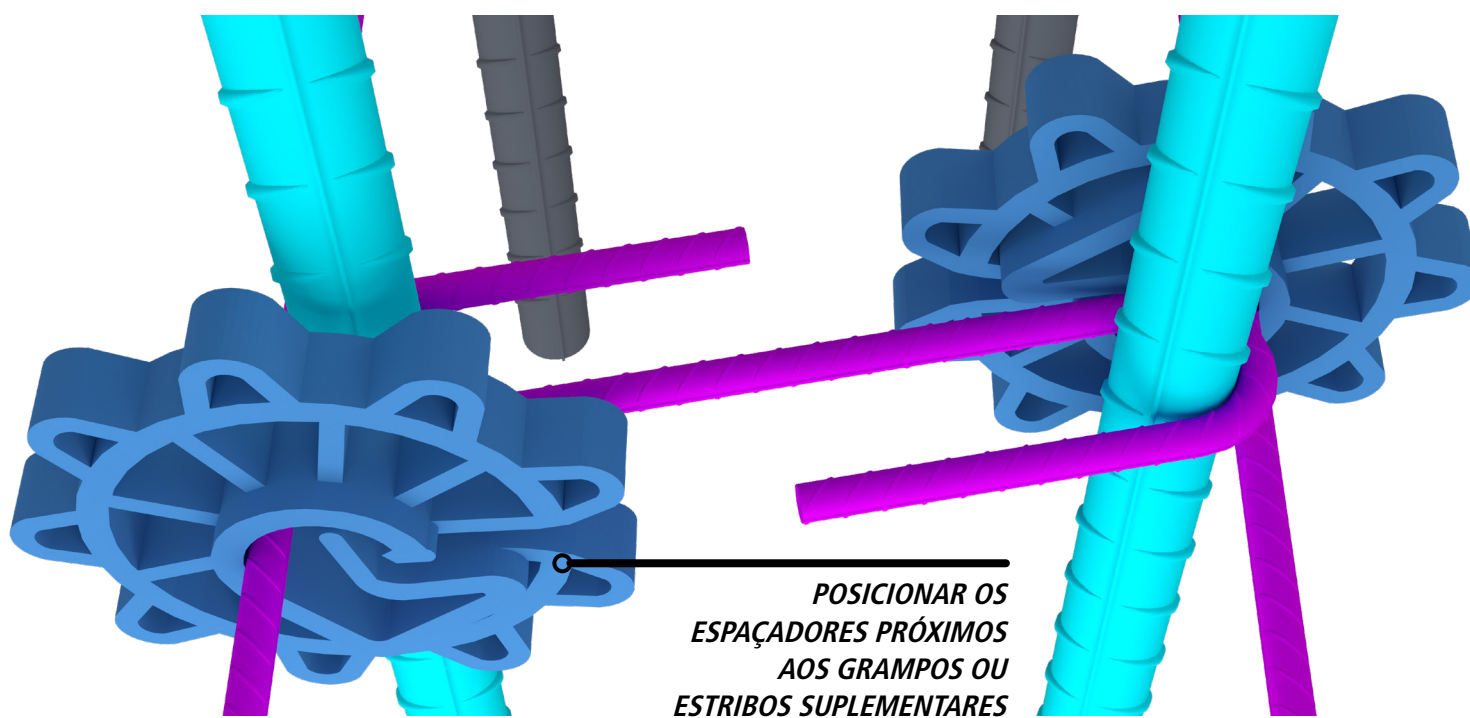


Figura 6.8
Posição dos espaçadores próximos aos grampos do pilar (ou estribos suplementares)

ESTRIBOS DE PILARES

No capítulo 18 da *ABNT NBR 6118*, enfatiza-se o uso obrigatório de estribos ao longo da altura dos pilares, incluindo em regiões de cruzamento com vigas e lajes. É extremamente importante posicionar os estribos conforme o projeto de armação, pois eles possuem funções importantes para o bom comportamento do pilar.

As funções dos estribos dependem de sua posição ao longo do pilar, conforme mostrado na imagem ao lado (**Figura 6.9**). Fortes et al. (2023) descrevem as funções dos estribos conforme importantes referências bibliográficas. Abaixo, um resumo destas funções:

FUNÇÃO 1

Travamento à flambagem (ou instabilidade) dos vergalhões da armadura longitudinal.

FUNÇÃO 2

Armadura de costura na região das emendas da armadura longitudinal.

FUNÇÃO 3

Armadura de costura para as variações de tensão na armadura decorrentes dos momentos fletores. Um exemplo de ação que pode acarretar esta variação de momentos fletores é a ação variável do vento, que pode ou não ocorrer.

FUNÇÃO 4

Armadura de costura das bielas comprimidas de concreto no encontro viga/pilar (nó de pórtico).

FUNÇÃO 5

Armadura de força cortante em casos especiais. Um exemplo desses casos especiais seria uma estrutura metálica aplicando uma força perpendicular ao eixo do pilar. Pórticos vierendeel também são exemplos desses casos especiais.

FUNÇÃO 6

Armadura para o equilíbrio de modificações suaves de direção da armadura longitudinal. Este é o clássico exemplo de engarramento dos vergalhões.

FUNÇÕES
1+3+4

FUNÇÕES
1+3+5

FUNÇÕES
1+2+3+5

FUNÇÕES
1+3+4+6

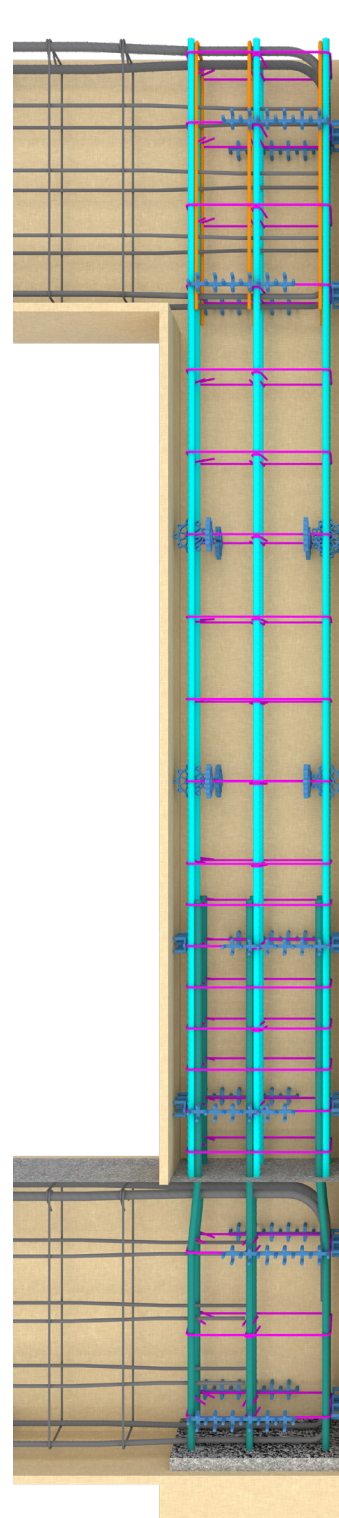


Figura 6.9
Posicionamento de estribos em pilares

GANCHOS DOS ESTRIBOS DE PILARES

De acordo com capítulo 9 da *ABNT NBR 6118*, é possível utilizar ganchos de 90° e 135°.

O correto funcionamento dos ganchos de ângulo de 90° depende do concreto envolver toda a região do gancho. Sem este envolvimento, existe a tendência do gancho se abrir devido à força que a armadura longitudinal exerce sobre o estribo.

A *ABNT NBR 6118* recomenda o uso preferencial dos ganchos em ângulo de 135° (**Figura 6.10**). Além disso, Nakajima et al. (2021) relatam a importância do uso de ganchos em ângulo de 135° para casos específicos, como em pilares de alta resistência submetidos a incêndio.

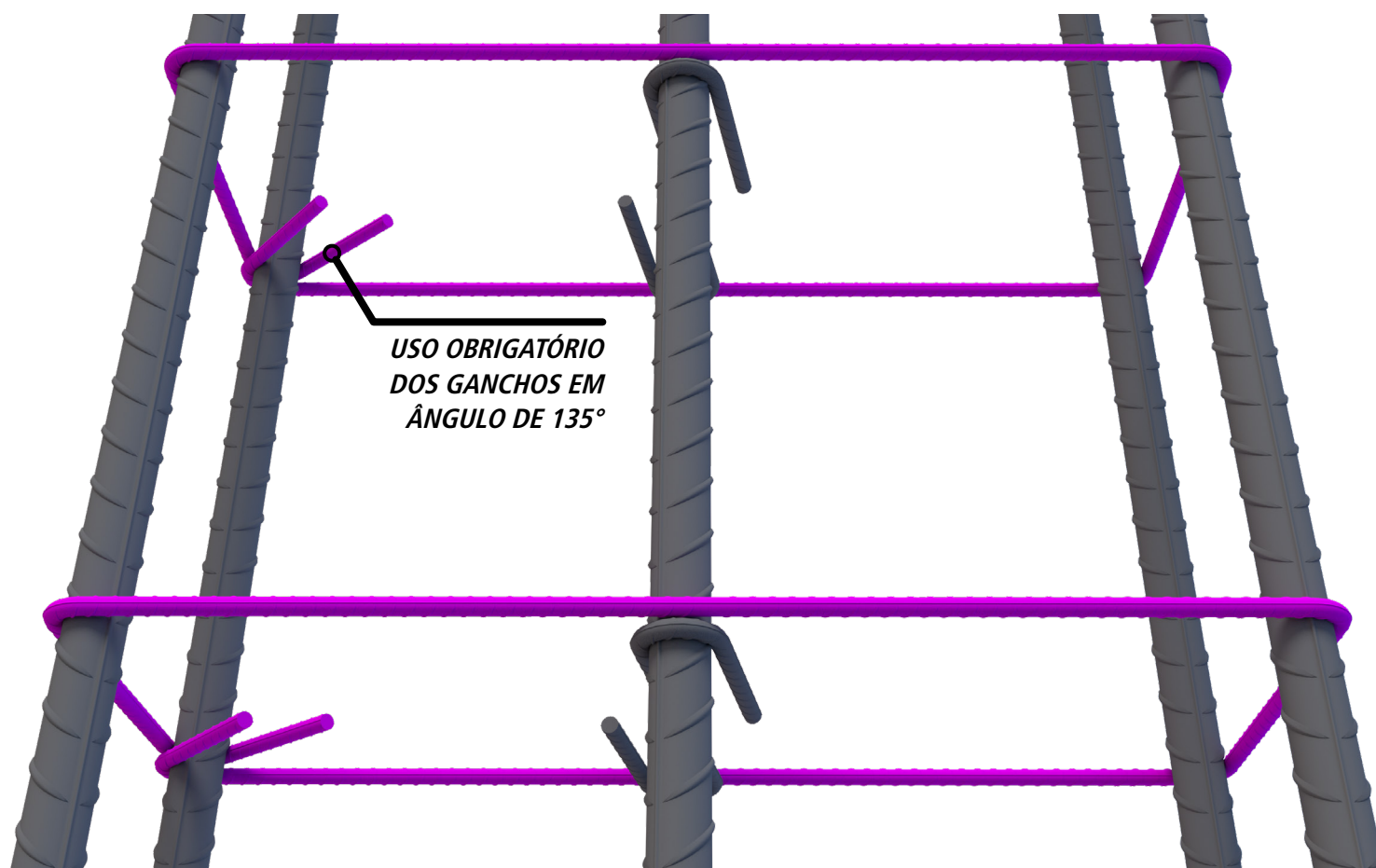


Figura 6.10
Exemplo de estribos com ganchos de 135°

ESTRIBO SUPLEMENTAR (GRAMPO)

Conforme o capítulo 18 da *ABNT NBR 6118*, estribos suplementares são de essencial importância para o travamento à “flambagem” dos vergalhões da armadura longitudinal. Com diferentes formatos, eles são conhecidos como “grampos” quando constituídos por um vergalhão reto terminado em ganchos (recomendável ângulos de 180° ou 135°). Para que sua função seja garantida, o grampo necessita atravessar o elemento estrutural, com os ganchos envolvendo as armaduras longitudinais ou armaduras longitudinais mais os estribos.

Ambas as normas *ABNT NBR 15575-1* e *ABNT NBR 6118* salientam a importância do correto posicionamento das armaduras para garantir a durabilidade das estruturas de concreto armado. Respeitar o cobrimento de acordo com a classe de agressividade ambiental, por exemplo, é imprescindível para garantir tal durabilidade. Para que o cobrimento seja respeitado, a *ABNT NBR 14931* ainda menciona, em seu capítulo 8, que o espaçador deve ser posicionado na armadura mais exposta. Além disso, para facilitar o controle do cobrimento, é interessante que o grampo envolva somente a armadura longitudinal (Figura 6.11), mantendo o grampo e o estribo alinhados.

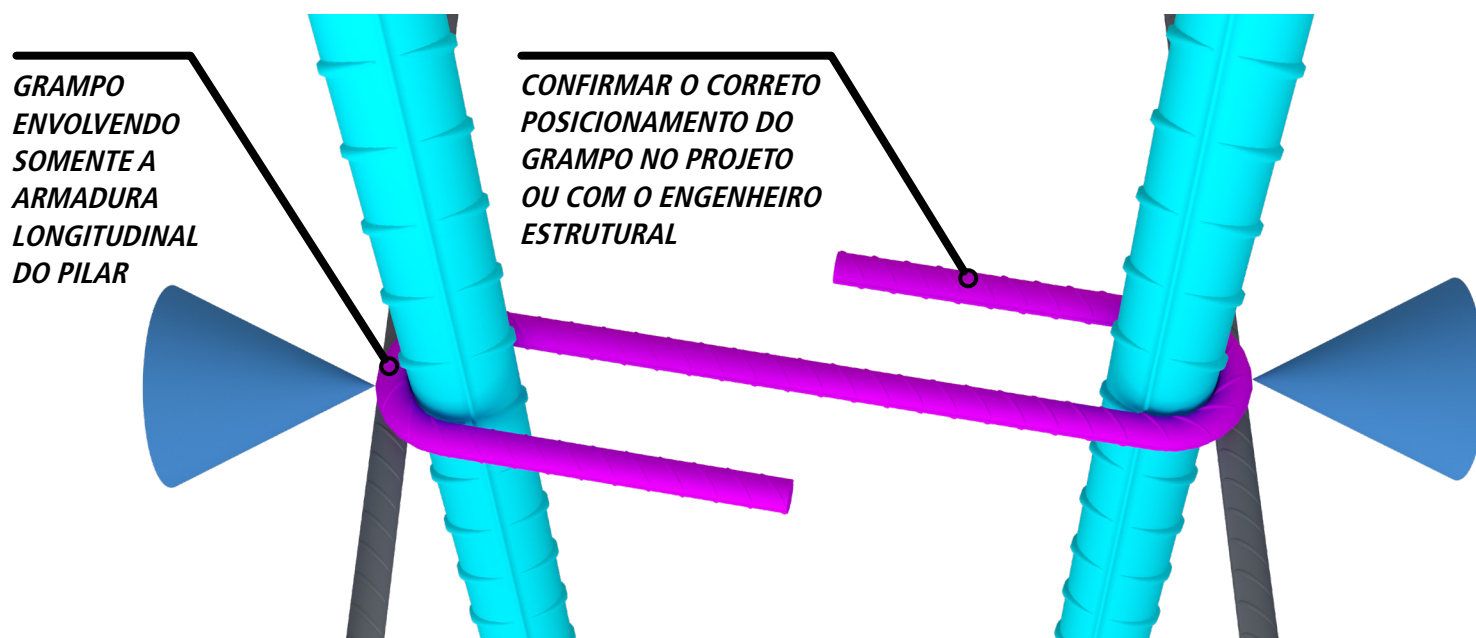


Figura 6.11
Posição do grampo envolvendo somente a armadura longitudinal

Existe a alternativa dos grampos envolverem, além da armadura longitudinal, o estribo (**Figura 6.12**).

É importante salientar, no entanto, que, para facilitar a montagem nestes casos, o espaçador é posicionado no estribo e não no canto do grampo. O cobrimento nominal, que é constituído pelo cobrimento mínimo mais a tolerância de execução ($\Delta c = 10\text{mm}$), torna-se reduzido. Isso significa que o projeto estaria usando a tolerância de execução, que deveria ser primordialmente destinada para os executores da estrutura.

Segunda Maran (2020), a tolerância de execução ($\Delta c = 10\text{mm}$) deve ser composta pelas tolerâncias de desnivelamento do sistema de fôrmas, de deformação dos espaçadores e de deformação plástica da armadura. O projeto, assim, não deveria depender destas tolerâncias para acomodar o cobrimento mínimo. Tal alternativa depende de um controle maior por parte da obra ou da alteração de alguns parâmetros de projeto. Desse modo, é de extrema importância que o engenheiro estrutural deixe claro em seu projeto a forma na qual o estribo suplementar deve ser posicionado (envolvendo ou não o estribo).

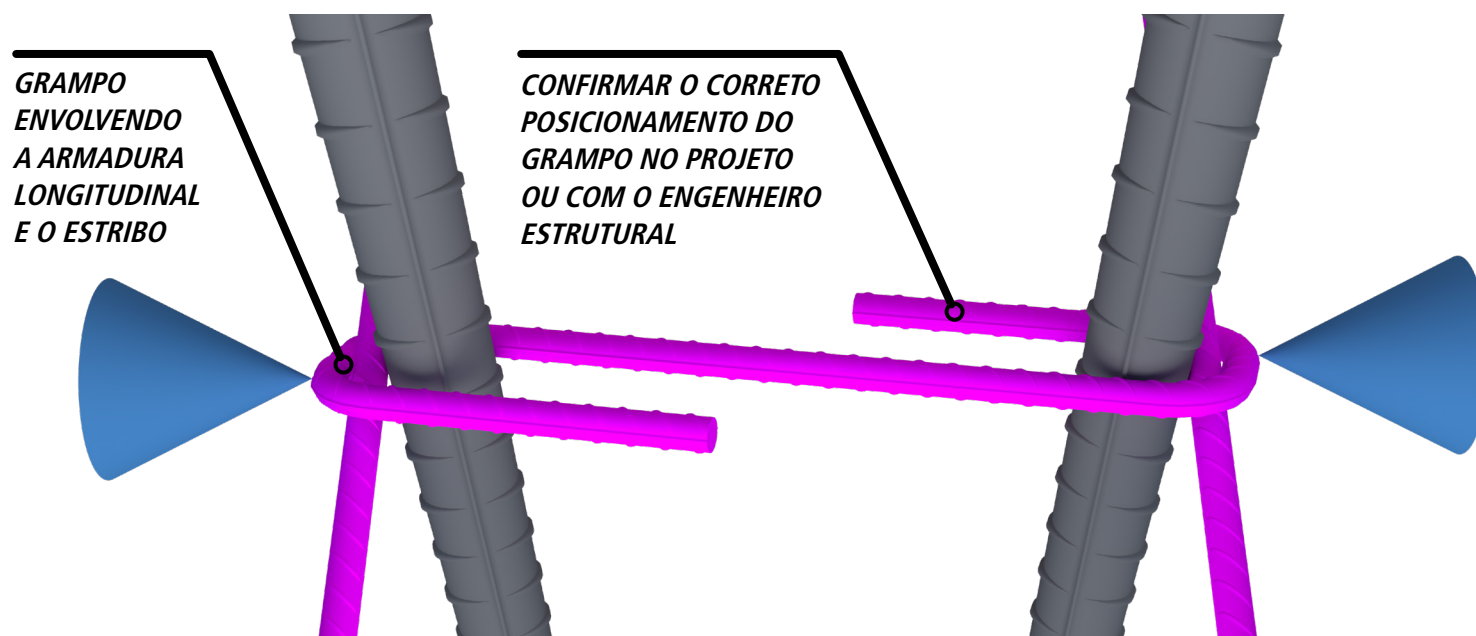


Figura 6.12
Posição do grampo envolvendo o estribo além da armadura longitudinal

ENGARRAFAMENTO

A redução de seção do pilar pode ser resolvida com o engarrafamento da armadura longitudinal. No entanto, deve ser feita somente de acordo com o detalhamento no projeto de armação (Figura 6.13).

Atenção: os estribos são obrigatórios na região pilar x viga.

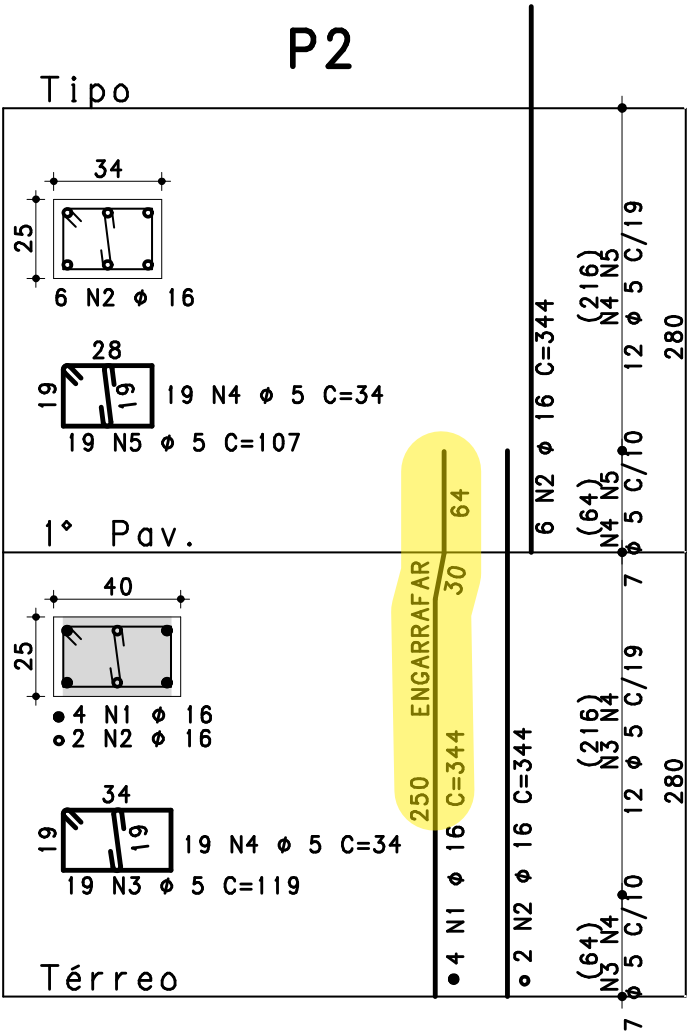


Figura 6.13
Indicação do engarrafamento do vergalhão. Nota: exemplo apenas para fins de montagem. Para dimensionamento e detalhamento, consultar normas e bibliografias específicas.

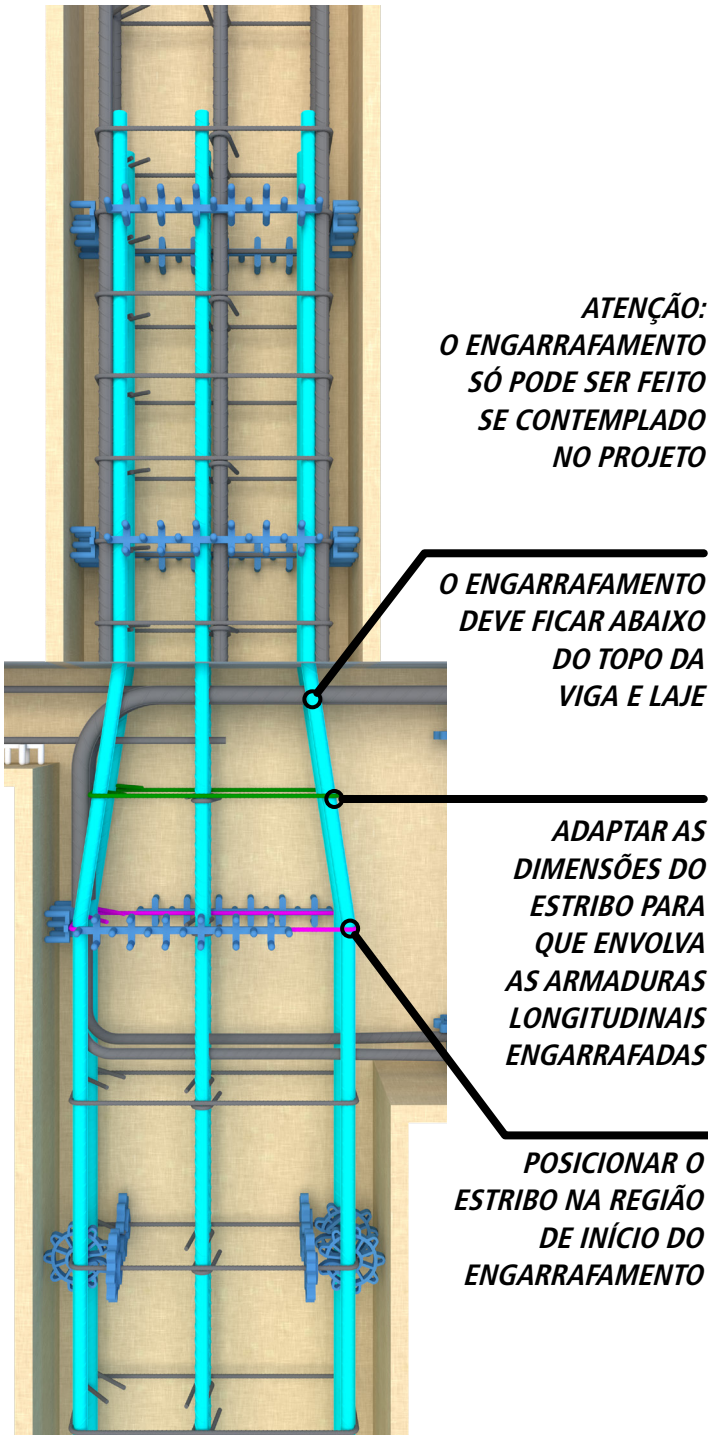


Figura 6.14
Engarrafamento do pilar em vista

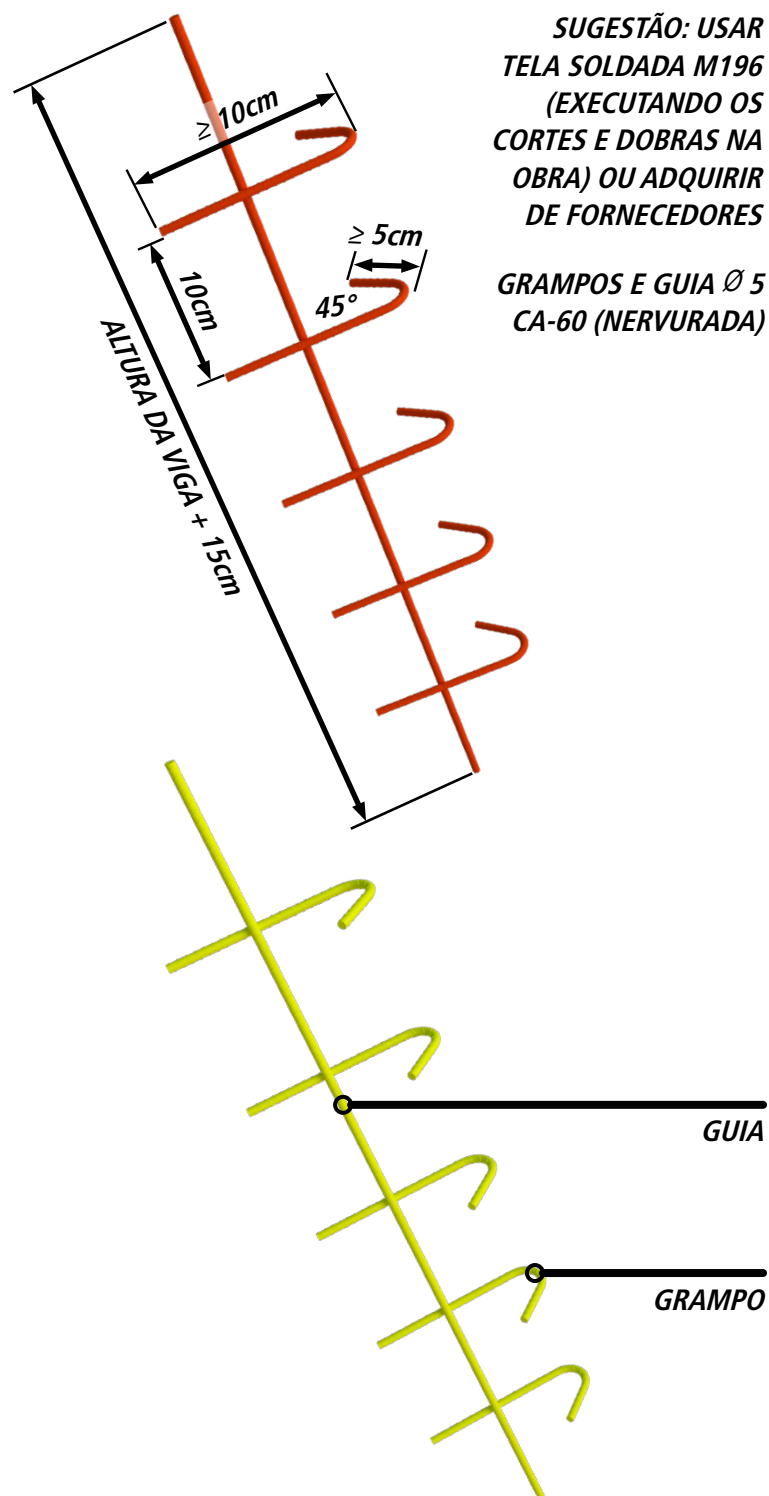


Figura 6.15

Dimensões da REC. Nota: apesar de estarem em cores diferentes nesta imagem, ambas as peças possuem as mesmas características.

RECOMPOSIÇÃO DE ESTRIBOS E GRAMPOS

INOVAÇÃO FRANÇA E ASSOCIADOS

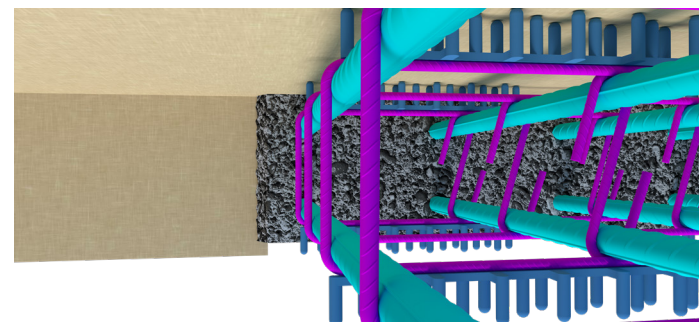
De acordo com o capítulo 18 da *ABNT NBR 6118*, a armadura transversal de pilares (isto é, os estribos e os grampos), deve ser colocada em toda a altura do pilar, incluindo a região de cruzamento com vigas e lajes. Na página 88, são citadas as funções estruturais dos estribos e dos grampos do pilar.

Em muitas obras, é realizado o corte dos estribos e grampos dos pilares nas regiões de encontro do pilar com a viga (**Figuras 6.16 e 6.17**). Ressaltamos que os cortes são efetuados por conta própria na obra (isto é, não constam em projeto), de modo a facilitar o posicionamento da armadura da viga, que é montada por completo fora da fôrma.

De acordo com a norma e a literatura técnica, **é obrigatório recompor estribos e grampos que forem cortados em obra.**

Apresenta-se, neste manual, a REC (abreviação de REComposição), ilustrada na **Figura 6.15**, como uma opção para recompor o estribo ou o grampo quando estes são cortados. Nas **Figuras 6.16 a 6.21**, a sequência de posicionamento das RECs é exemplificada.

A REC é eficiente para o combate da flambagem dos vergalhões da armadura longitudinal do pilar. Para as funções 3, 4 ou 6 dos estribos (como observado página 88), é importante consultar o engenheiro estrutural com o intuito de avaliar possíveis cuidados especiais de montagem e se a REC atende aos requisitos de cálculo do projeto.



DETALHE - Vista superior do pilar

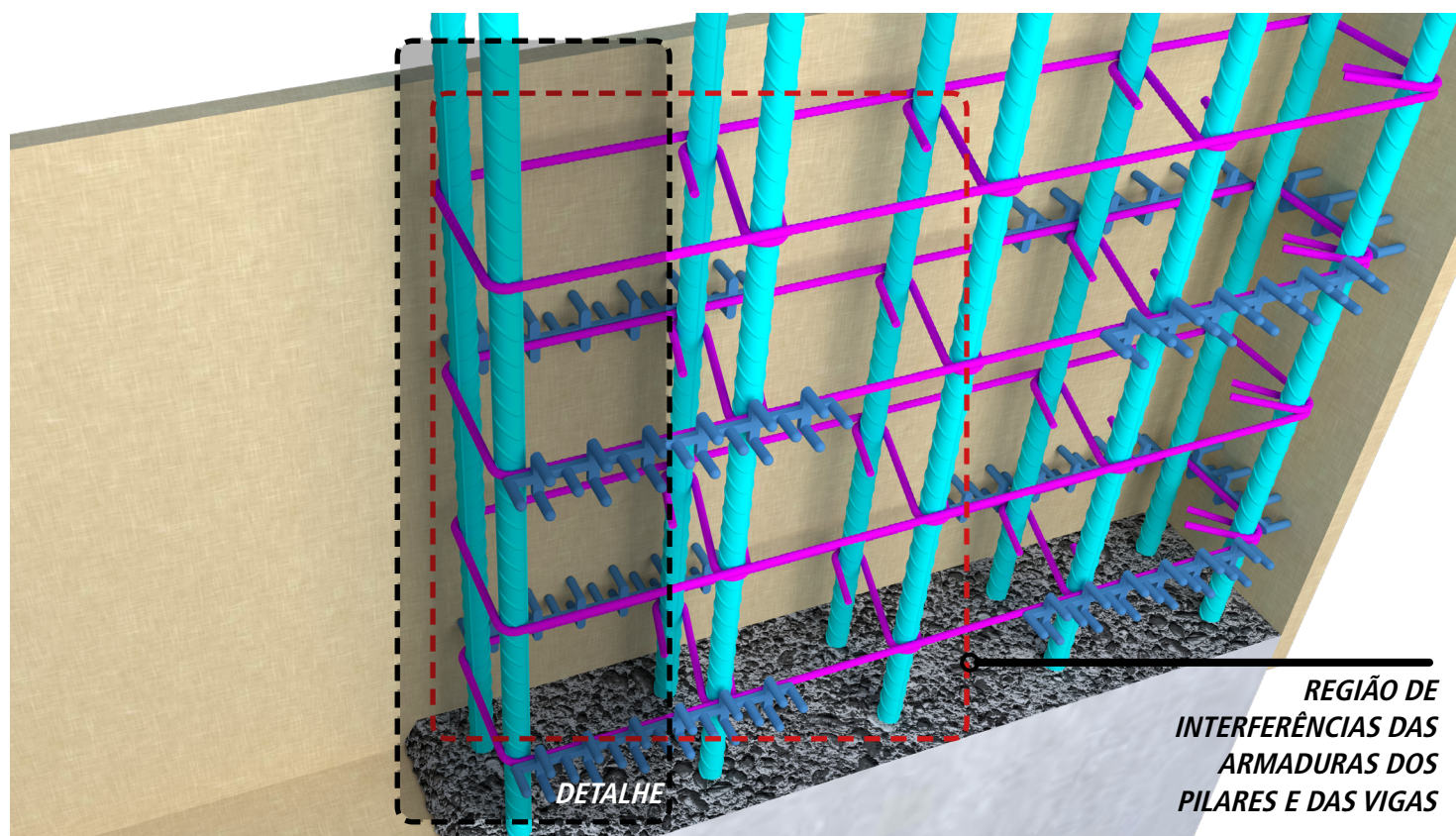
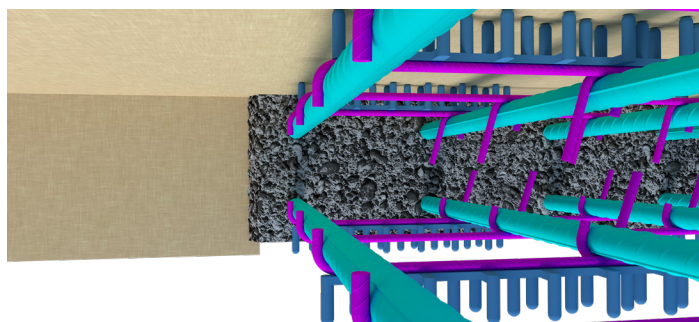


Figura 6.16

ETAPA 1 | Armadura do pilar antes do posicionamento da armadura da viga



DETALHE - Vista superior dos estribos e dos grampos cortados

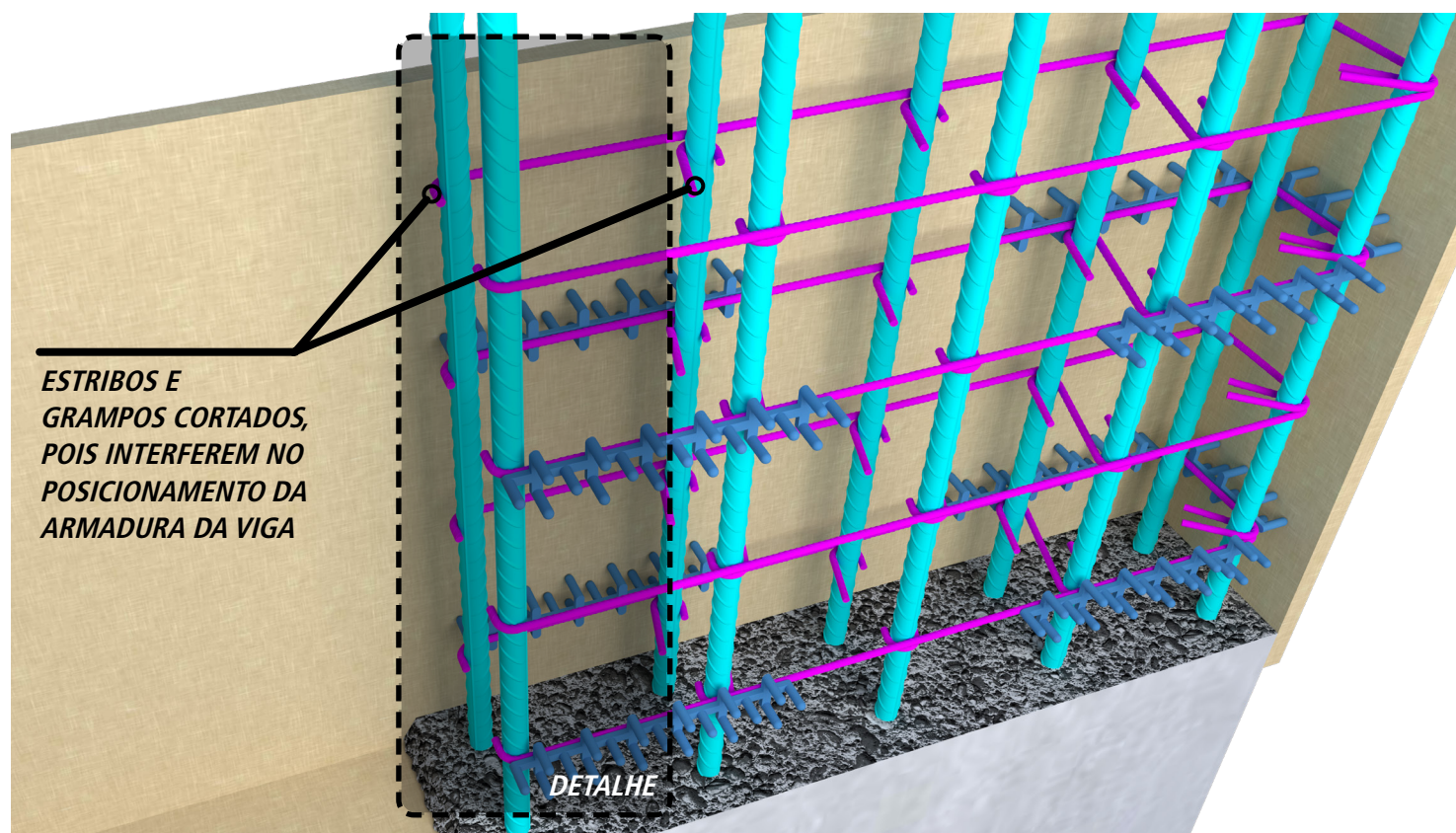


Figura 6.17
ETAPA 2 | Estribos e grampos do pilar cortados

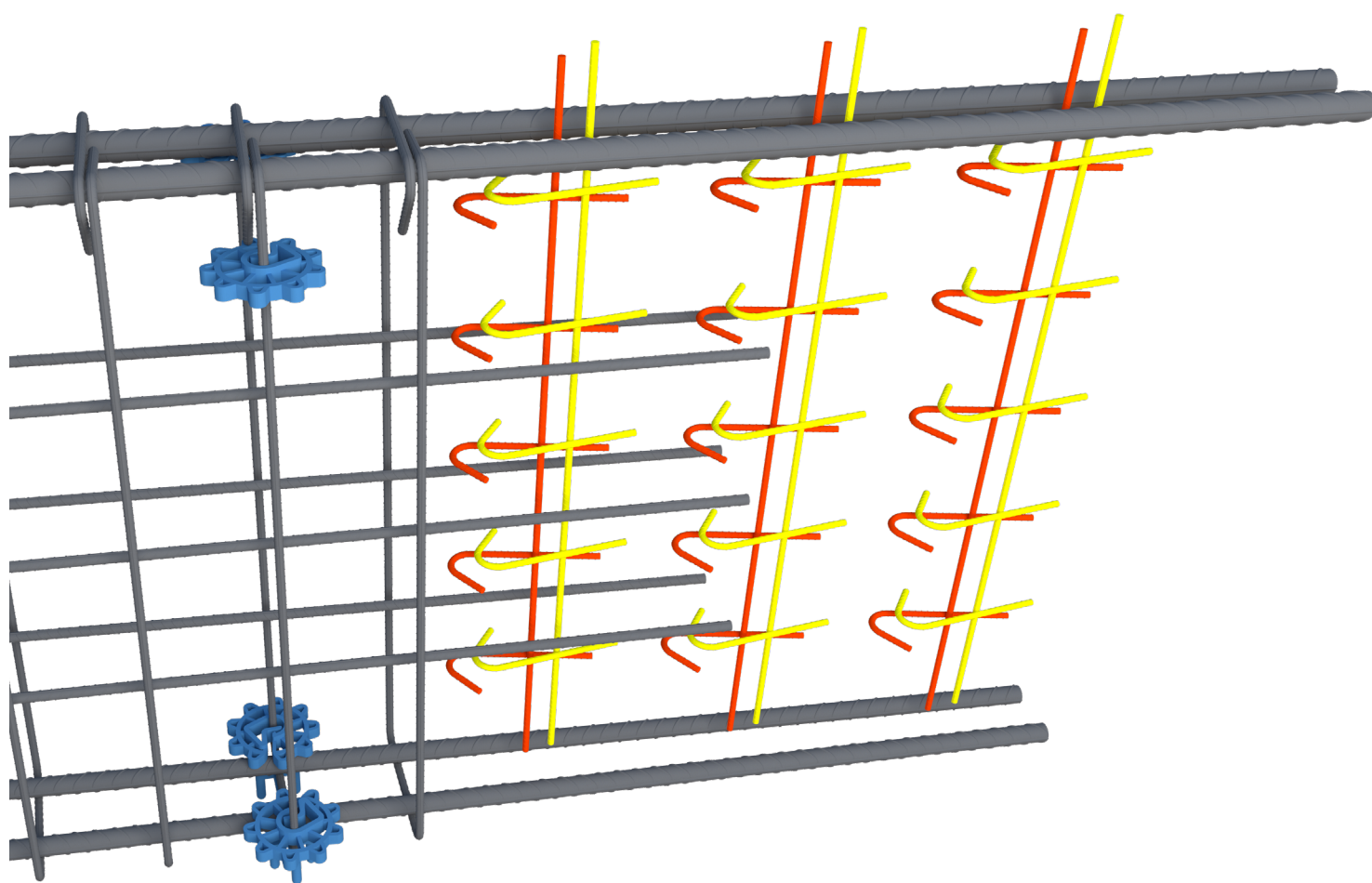
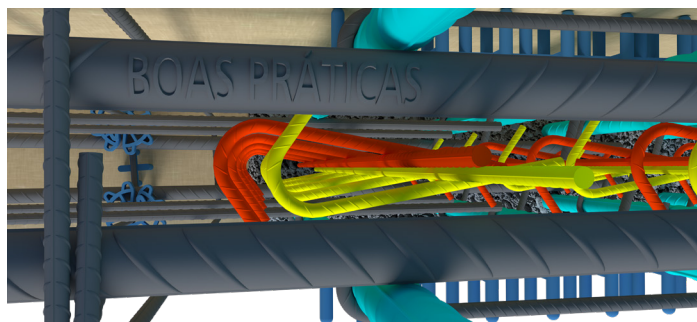
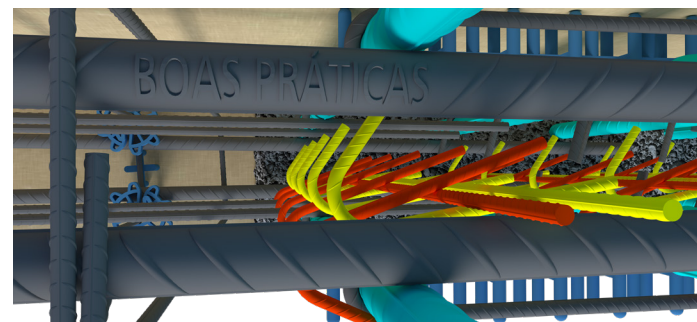


Figura 6.18

ETAPA 3 | Posicionamento das RECs dentro da viga antes de colocar a armadura da viga dentro do pilar



DETALHE - REC dentro da viga



DETALHE - Ajuste no posicionamento da REC (cor laranja) para envolver a armadura longitudinal do pilar

**POSICIONAMENTO DA
ARMADURA DA VIGA
DENTRO DA FÔRMA**

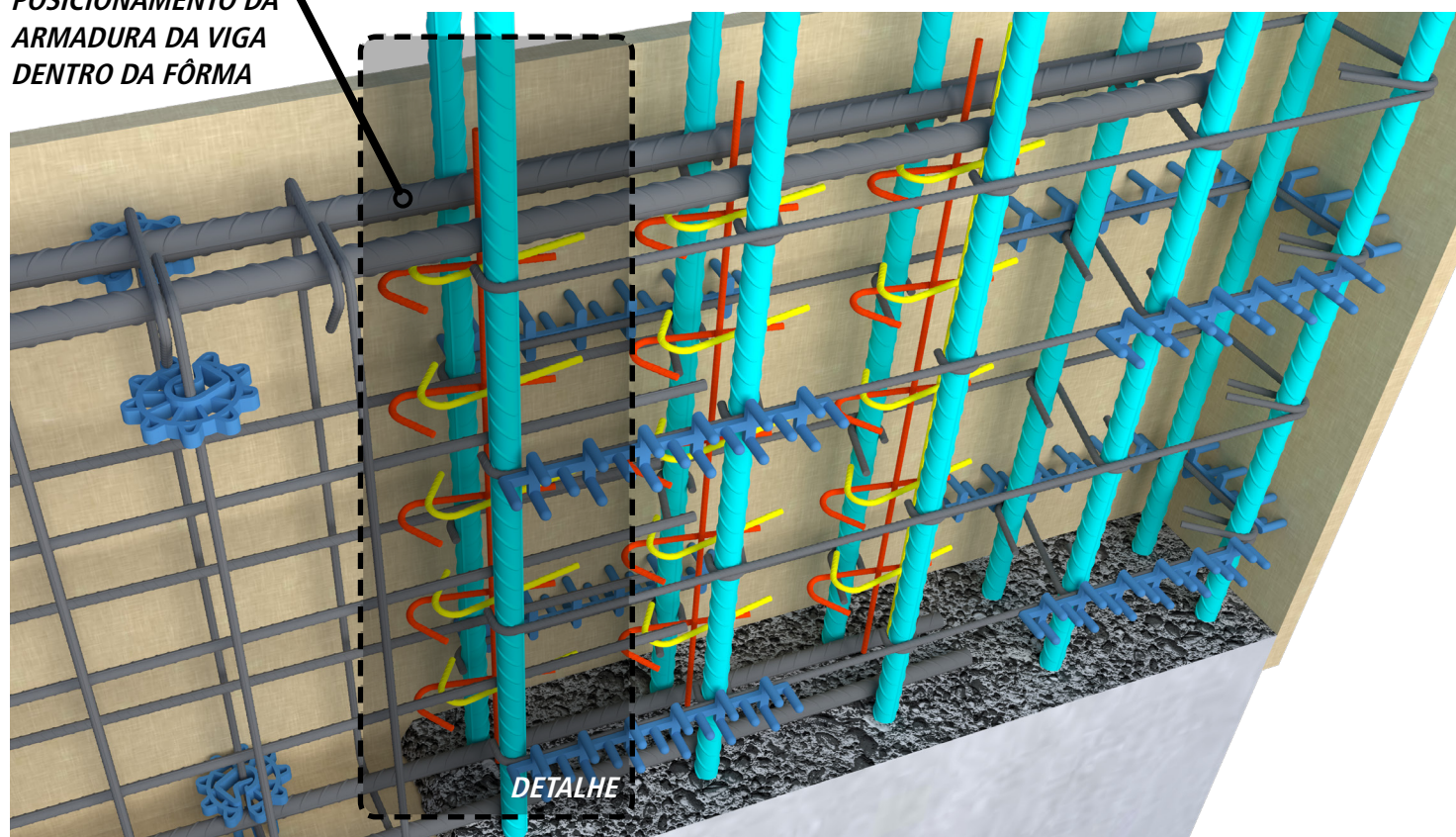
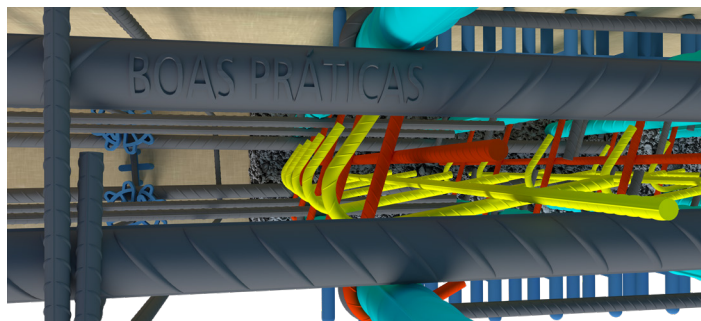
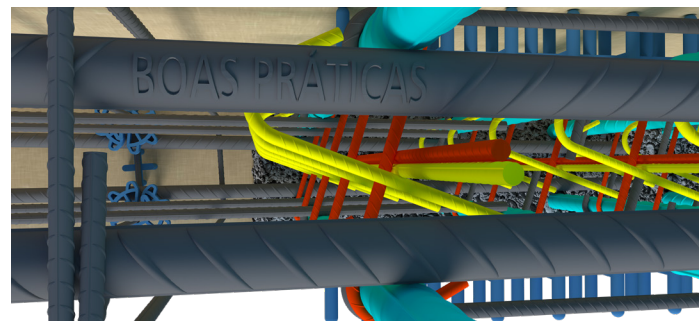


Figura 6.19
ETAPA 4 | Posicionamento da armadura da viga com as RECs



DETALHE - REC (cor laranja) envolvendo a armadura longitudinal do pilar



DETALHE - Ajuste no posicionamento da REC (cor amarela) para envolver a armadura longitudinal do pilar

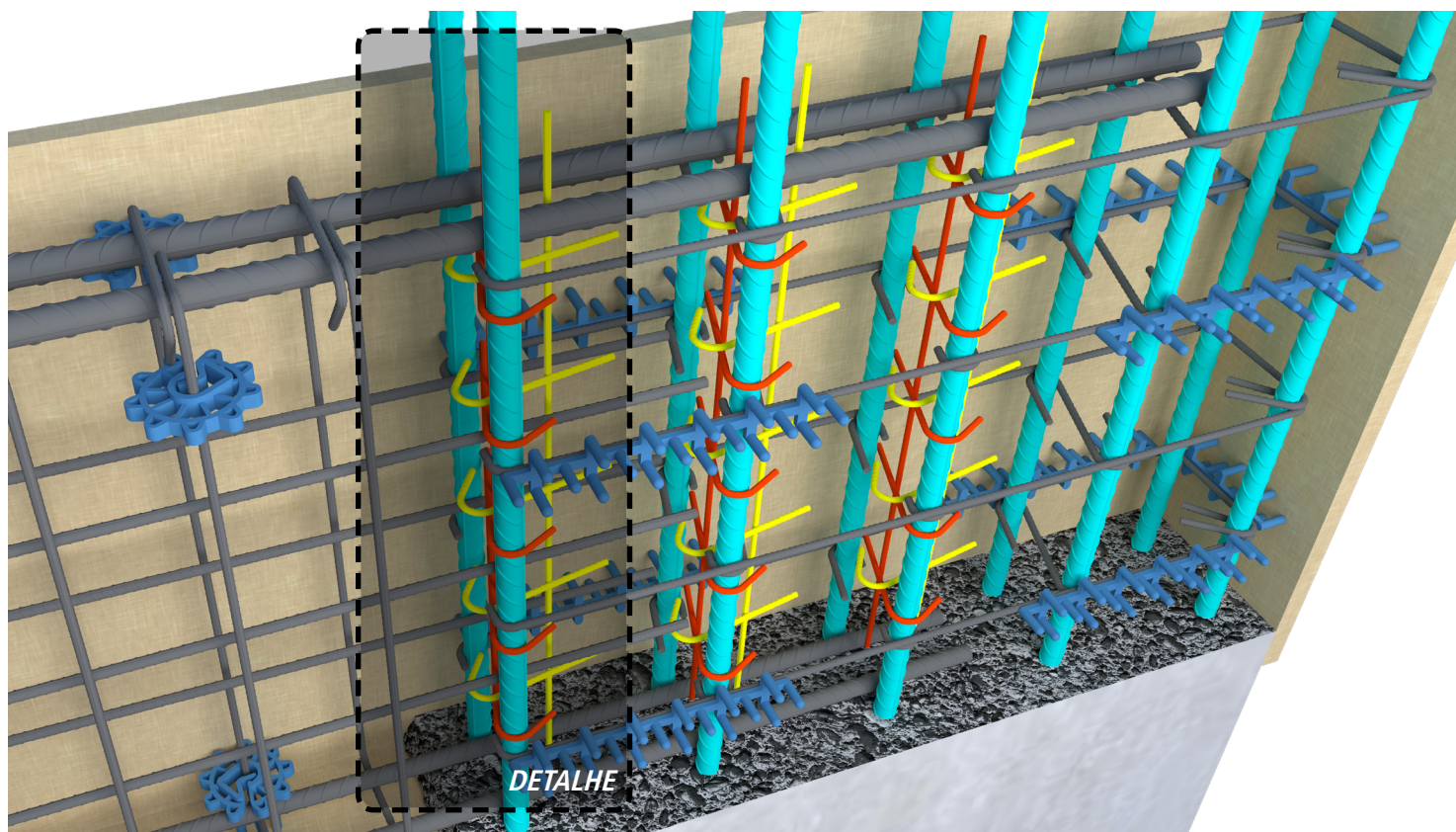
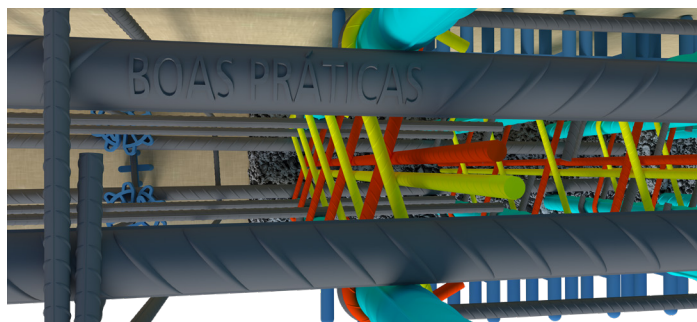


Figura 6.20
ETAPA 5 | Posicionamento das RECs de um lado



DETALHE - REC (cor amarela) envolvendo a armadura longitudinal do pilar

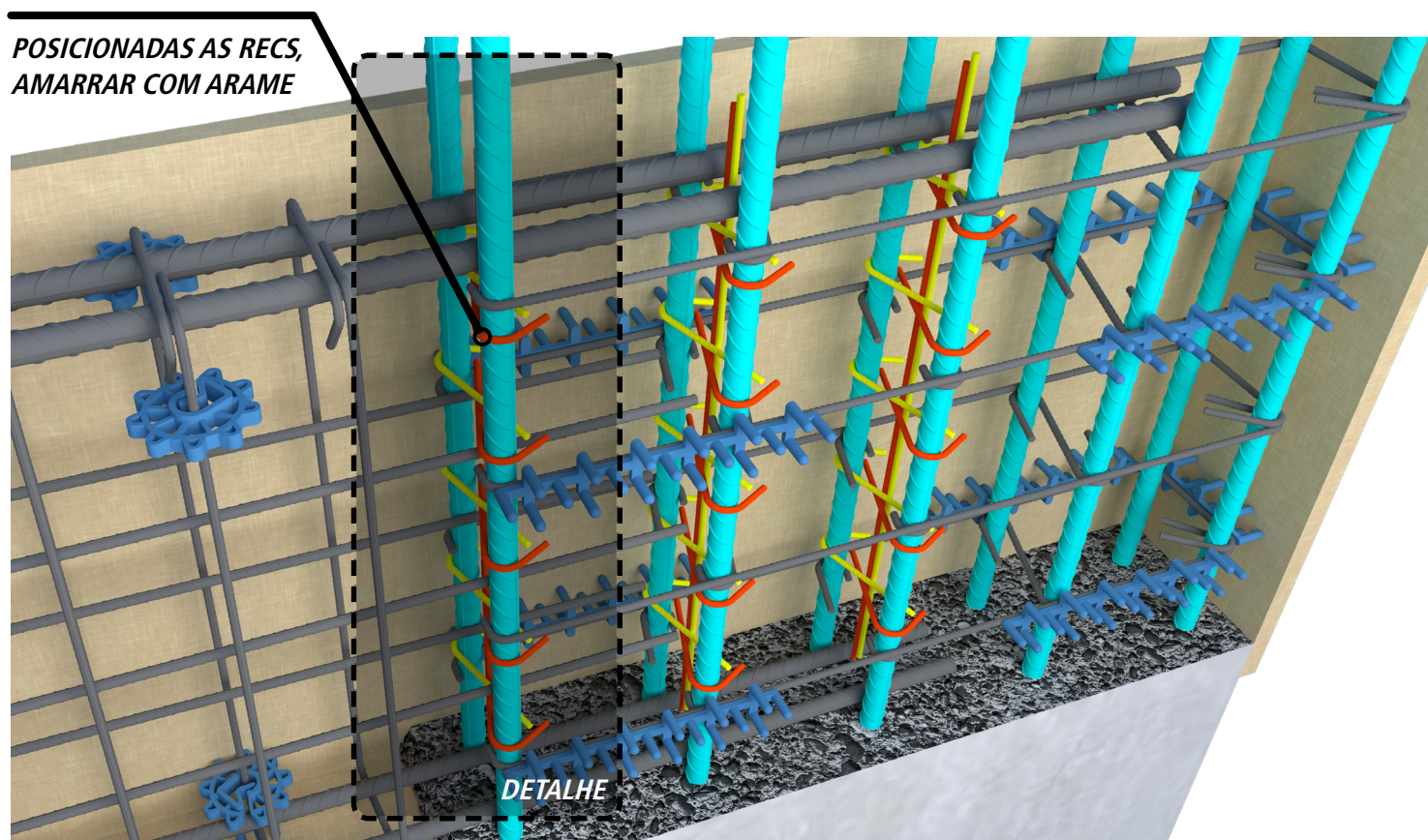


Figura 6.21
ETAPA 6 | RECs envolvendo a armadura longitudinal do pilar e amarradas

CAPÍTULO 7

ARMADURAS DE VIGAS

ESPAÇADORES EM VIGAS

Cada obra deve garantir as distâncias entre os espaçadores que respeitem os cobrimentos definidos em projeto.

Em vigas altas, é sugerido o posicionamento de mais espaçadores na vertical para garantir o cobrimento. Já em vigas densamente armadas, recomenda-se reduzir a distância entre os espaçadores (Figura 7.1). O contrário vale para armaduras leves. Além disso, em vigas densamente armadas, pode ser necessária a utilização de espaçadores de argamassa ou concreto, caso os espaçadores plásticos não resistam ao peso da armadura.

Em geral, recomenda-se posicionar os espaçadores em regiões que possuem maior rigidez, como os cantos dos estribos (Figuras 7.2 e 7.3). Desta forma, evitam-se os deslocamentos dos estribos e, consequentemente, atende-se aos cobrimentos de projeto. Nestes casos, também recomenda-se posicionar espaçadores centopeia longitudinalmente sob os estribos. Caso o espaçador centopeia seja maior que a largura da viga, sugere-se o corte do espaçador para permitir seu posicionamento (Figura 7.3).

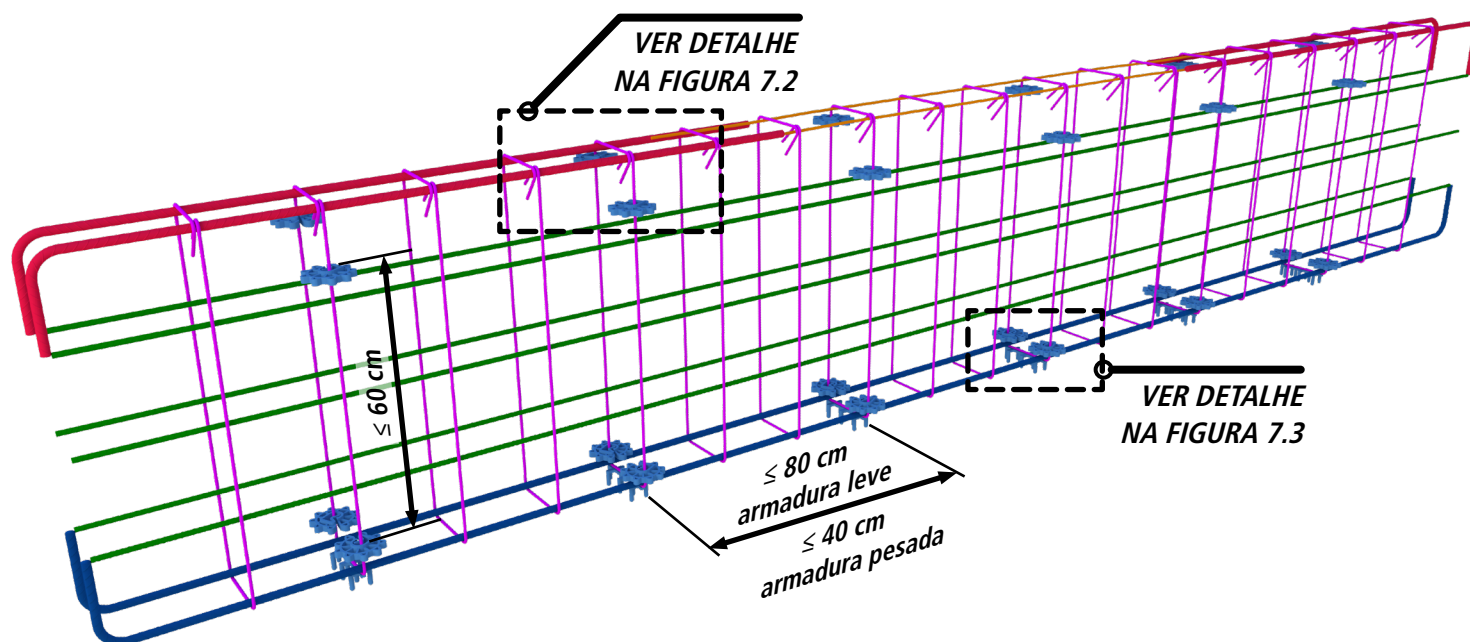


Figura 7.1
Sugestão de posicionamento dos espaçadores em vigas

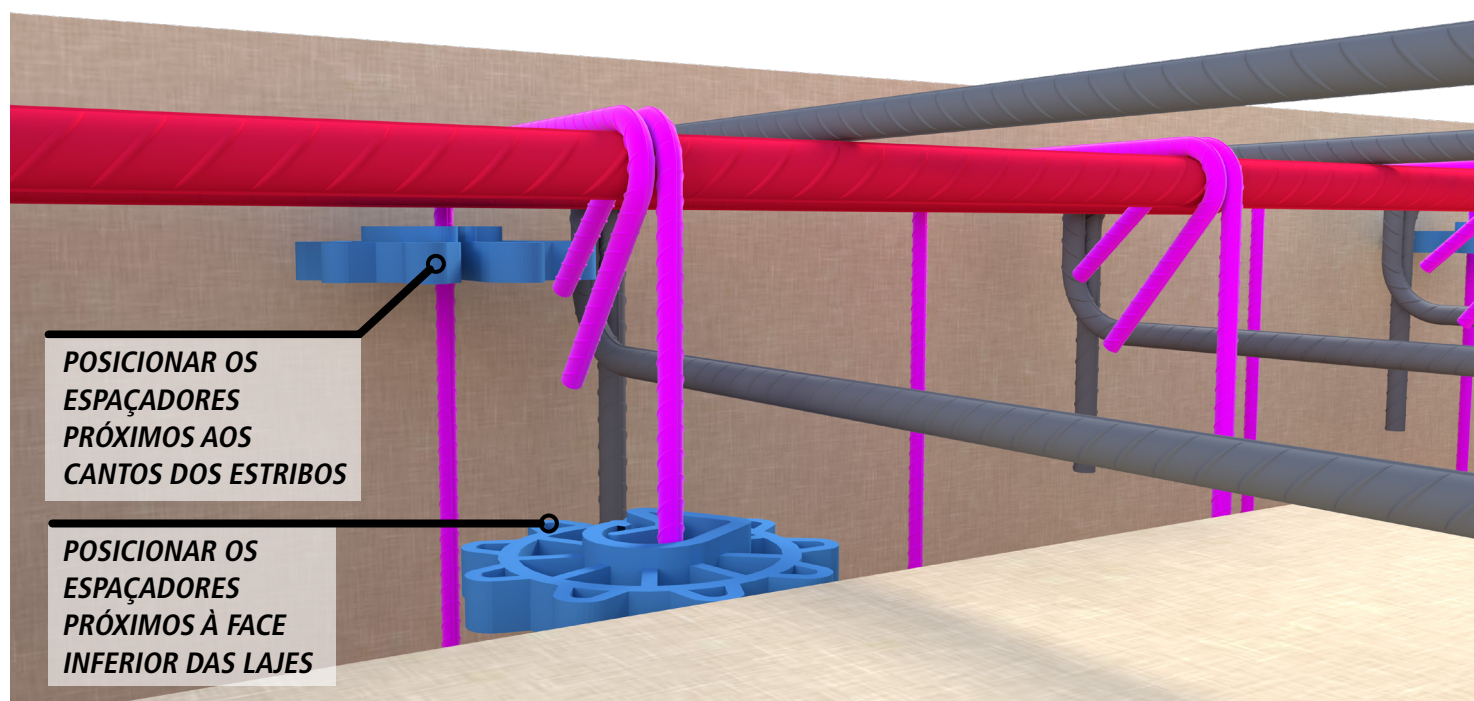


Figura 7.2

Vista lateral superior das armaduras das vigas

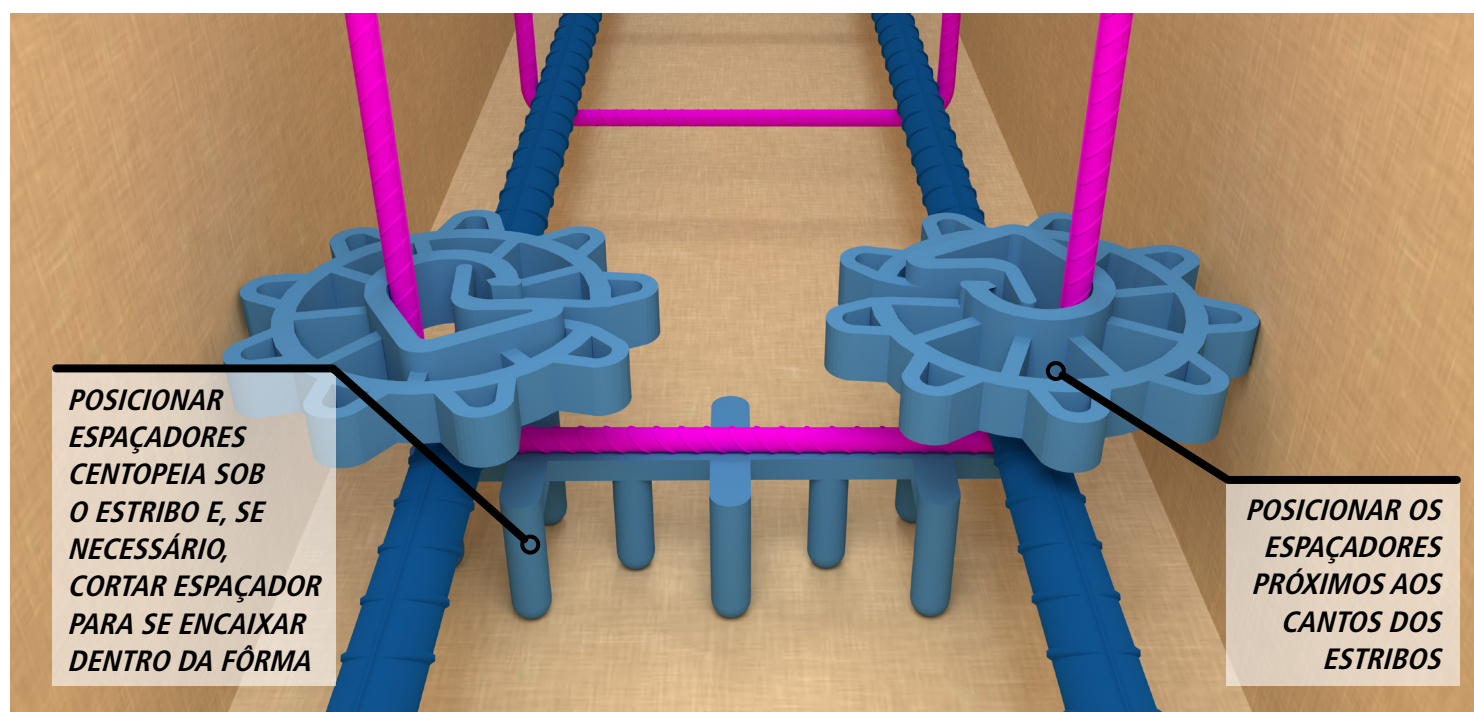


Figura 7.3

Vista inferior das armaduras da viga

GANCHOS DOS ESTRIBOS DE VIGAS

No capítulo 9 da *ABNT NBR 6118*, dois tipos de ganchos são apresentados: o em ângulo de 90° e o semicircular ou em ângulo de 135° .

Gancho em ângulo reto (90°)

Conforme o capítulo 9 da *ABNT NBR 6118*, o gancho com ângulo reto deve possuir ponta reta de comprimento maior ou igual a $10 \varnothing_t$ (diâmetro do estribo), mas não inferior a 7 cm, lembrando que este tipo de gancho não pode ser utilizado para vergalhões lisos. No capítulo 18 da *ABNT NBR 6118*, preconiza-se que os estribos para forças cortantes sejam fechados por meio de um ramo horizontal. Isso se dá envolvendo-se os vergalhões da armadura longitudinal de tração e ancorando-as na face oposta. Caso esta face também tenha a possibilidade de estar tracionada, é necessário que o ramo horizontal do estribo esteja nessa região, ou seja, complementado por meio de um vergalhão adicional.

Gancho semicircular ou em ângulo 135°

De acordo com o capítulo 9 da *ABNT NBR 6118*, o gancho pode ser semicircular ou em ângulo de 135° . Sua ponta deve ter comprimento maior ou igual a $5 \varnothing_t$, mas não inferior a 5 cm. No capítulo 18 da *ABNT NBR 6118*, preconiza-se que os estribos para torção sejam fechados em todo o seu contorno. Eles devem envolver os vergalhões das armaduras longitudinais de tração e suas extremidades devem ser adequadamente ancoradas através de ganchos em ângulo de 135° . Além disso, conforme Leonhardt e Mönning (1978), no caso de vigas contínuas com seção retangular, os estribos devem envolver completamente a armadura longitudinal.

Cabe lembrar que a *ABNT NBR 6118* recomenda o uso preferencial dos ganchos em ângulo de 135° , já que tal formato atende a muitos casos de dimensionamento. No entanto, ressalta-se que os estribos com gancho em ângulo de 90° facilitam a montagem da armadura. Assim, deve-se tomar o devido cuidado na escolha do gancho do estribo e especificá-lo claramente em projeto.

É importante lembrar que não há necessidade de alternar as dobras dos estribos, mas sempre deixá-las na parte superior da viga (**Figura 7.4**).

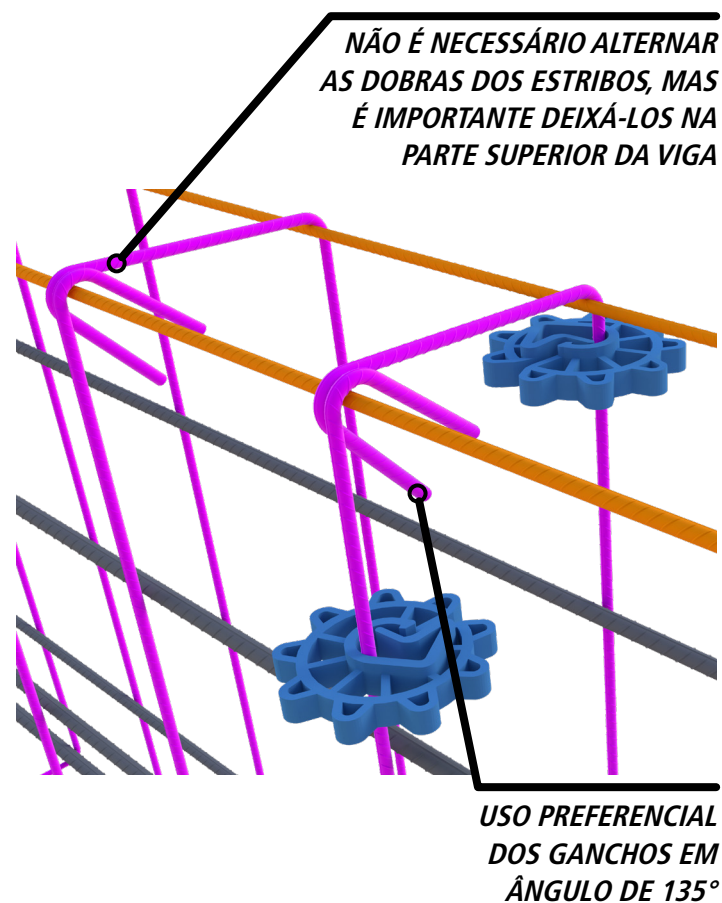
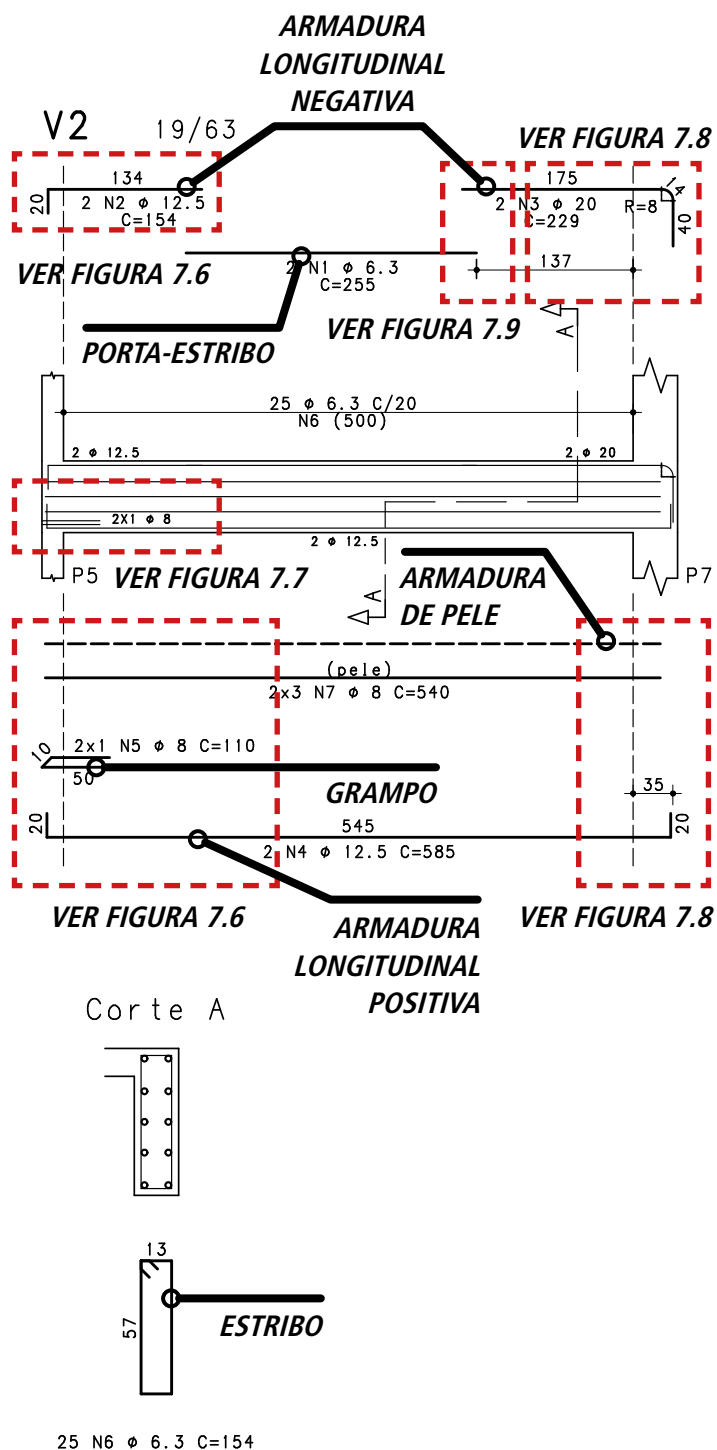


Figura 7.4
Detalhe das dobras dos estribos em vigas

**Figura 7.5**

Projeto de armadura de viga. Nota: exemplo apenas para fins de montagem. Para dimensionamento e detalhamento, consultar normas e bibliografias específicas.

POSICIONAMENTO DAS ARMADURAS DE VIGAS

A não conformidade do cobrimento é algo comum em muitos canteiros de obras, e é causada geralmente por imprudência ou por falta de conhecimento.

De maneira a sanar estes casos, mostra-se aqui como devem ser posicionadas as armaduras de vigas de acordo com o desenho da armadura (**Figuras 7.6 a 7.9**).

É importante lembrar também que, em apoios estreitos ou com esforços altos, onde a armadura longitudinal da viga não se ancora no apoio de forma efetiva, é realizado o dimensionamento do "grampo de ancoragem". A seguir, o detalhamento deste grampo é apresentado com as principais indicações e recomendações para seu posicionamento (**Figuras 7.6 e 7.7**).

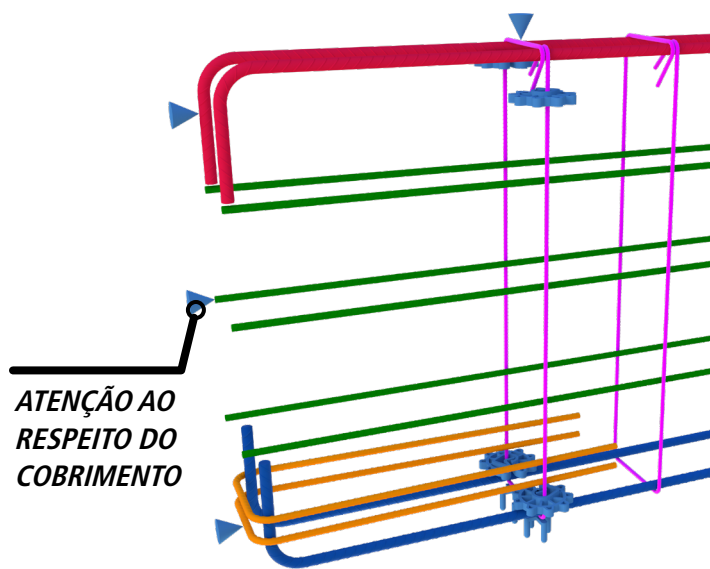


Figura 7.6
Posicionamento das armaduras - atenção ao cobrimento

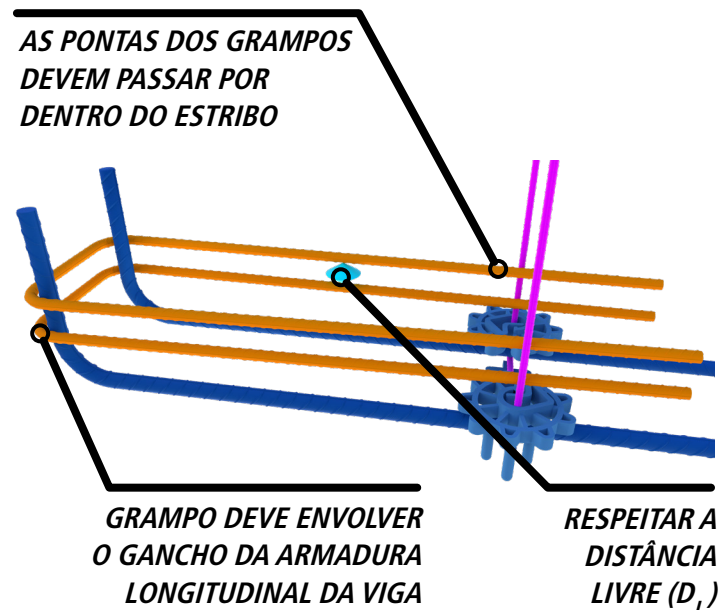


Figura 7.7
Posicionamento do grampo

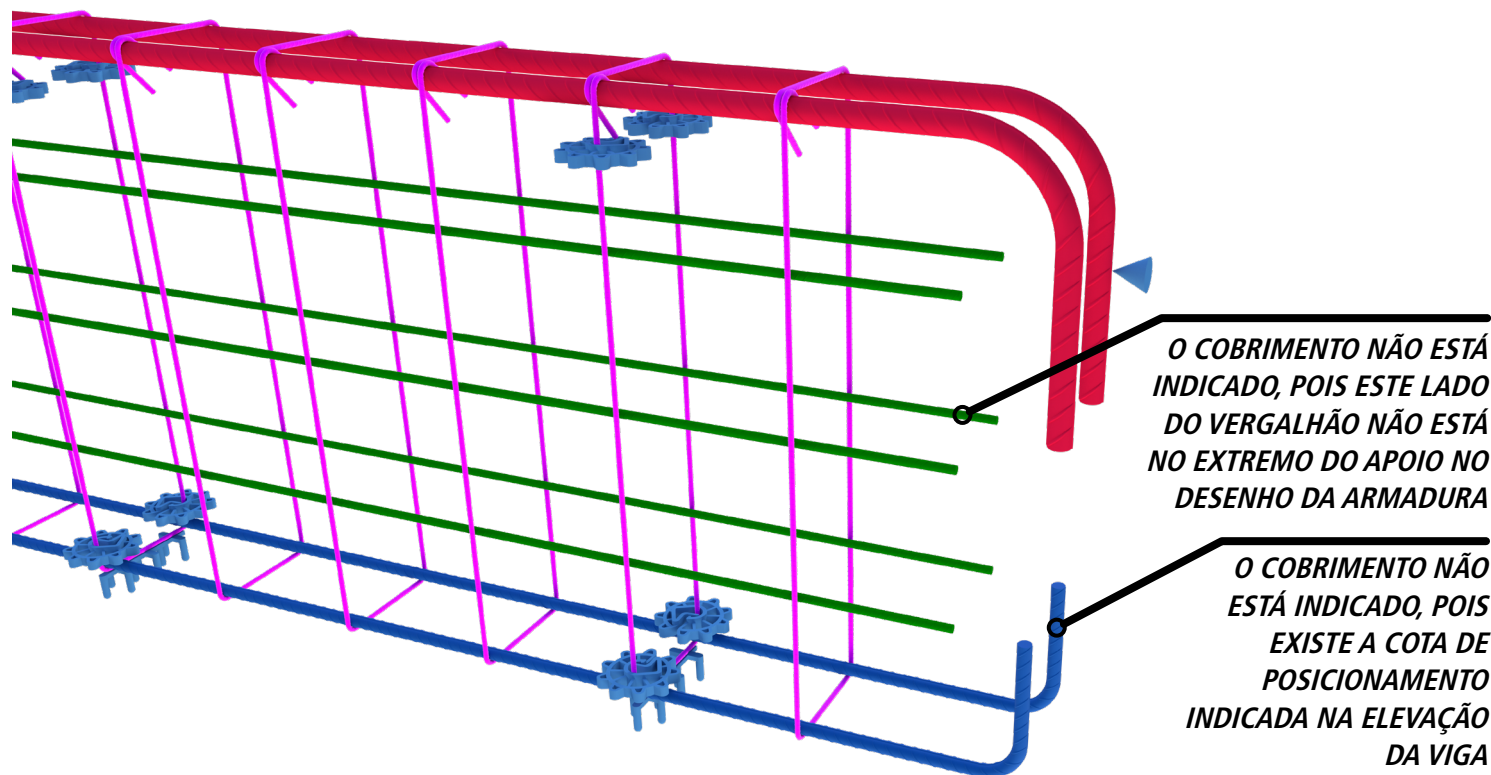


Figura 7.8
Posicionamento das armaduras - atenção ao cobrimento

Em vigas estreitas, principalmente no encontro das armaduras negativas, deve-se prever a passagem do concreto e seu adensamento. Dessa forma, sugere-se o posicionamento das armaduras negativas conforme a **Figura 7.10**.

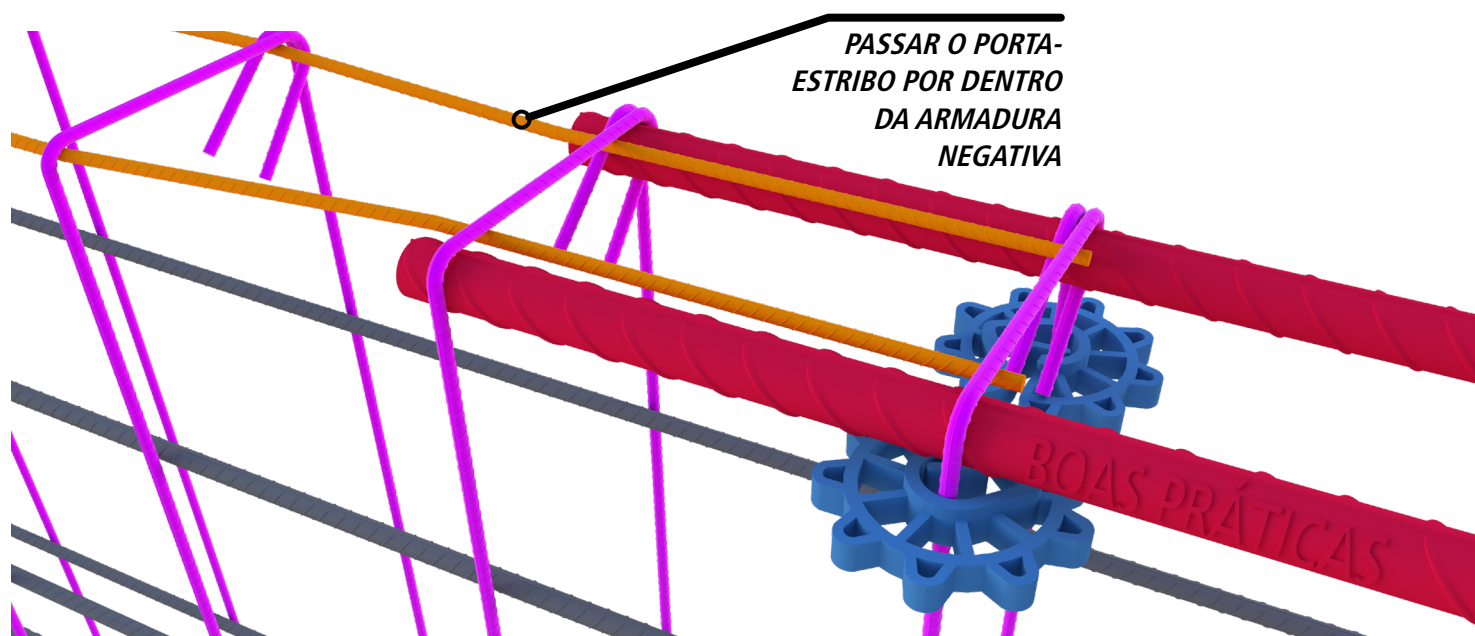


Figura 7.9
Posicionamento do porta-estribo

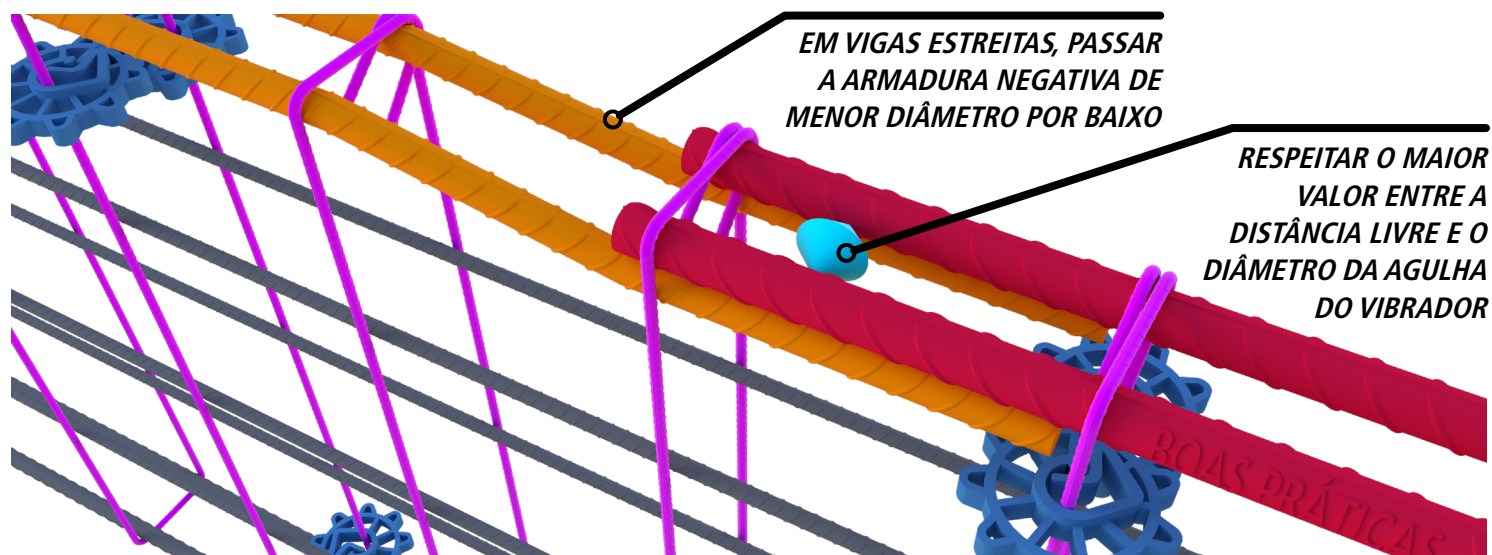


Figura 7.10
Posicionamento das armaduras negativas em vigas estreitas

Tanto a *ABNT NBR 14931* quanto a *ABNT NBR 6118* enfatizam a importância de se respeitar a distância livre entre vergalhões. No caso de armaduras longitudinais em duas camadas, no entanto, não há menção da distância máxima entre as camadas. Na falta desta informação, tanto em normas quanto em projeto (Corte A da **Figura 7.11**), recomenda-se que esta distância não exceda a soma da distância livre (D_L) mais a tolerância horizontal vertical (Δ_{hv}). As **Figuras 7.13 e 7.14** demonstram tal disposição.

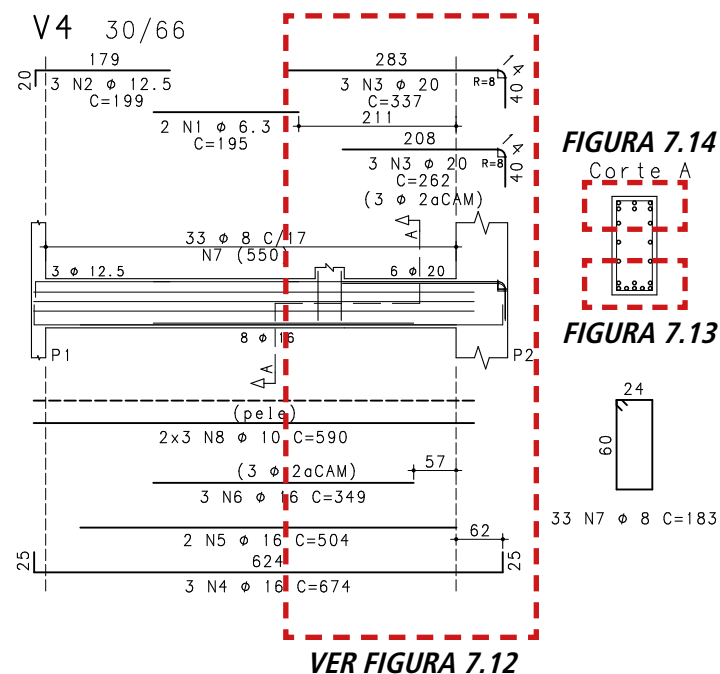


Figura 7.11

Projeto de armadura de viga com armaduras longitudinais na 2ª camada. Nota: exemplo apenas para fins de montagem. Para dimensionamento e detalhamento, consultar normas e bibliografias específicas.

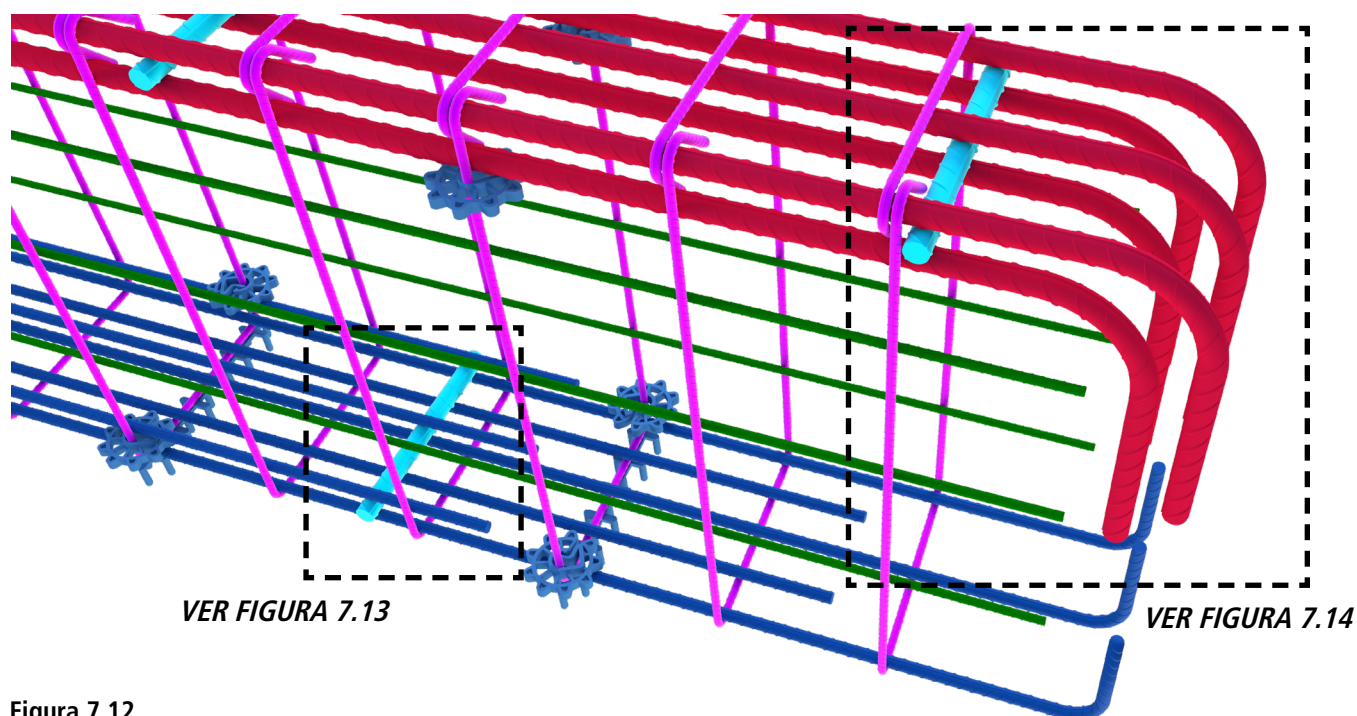


Figura 7.12

Posicionamento das armaduras longitudinais na 2ª camada

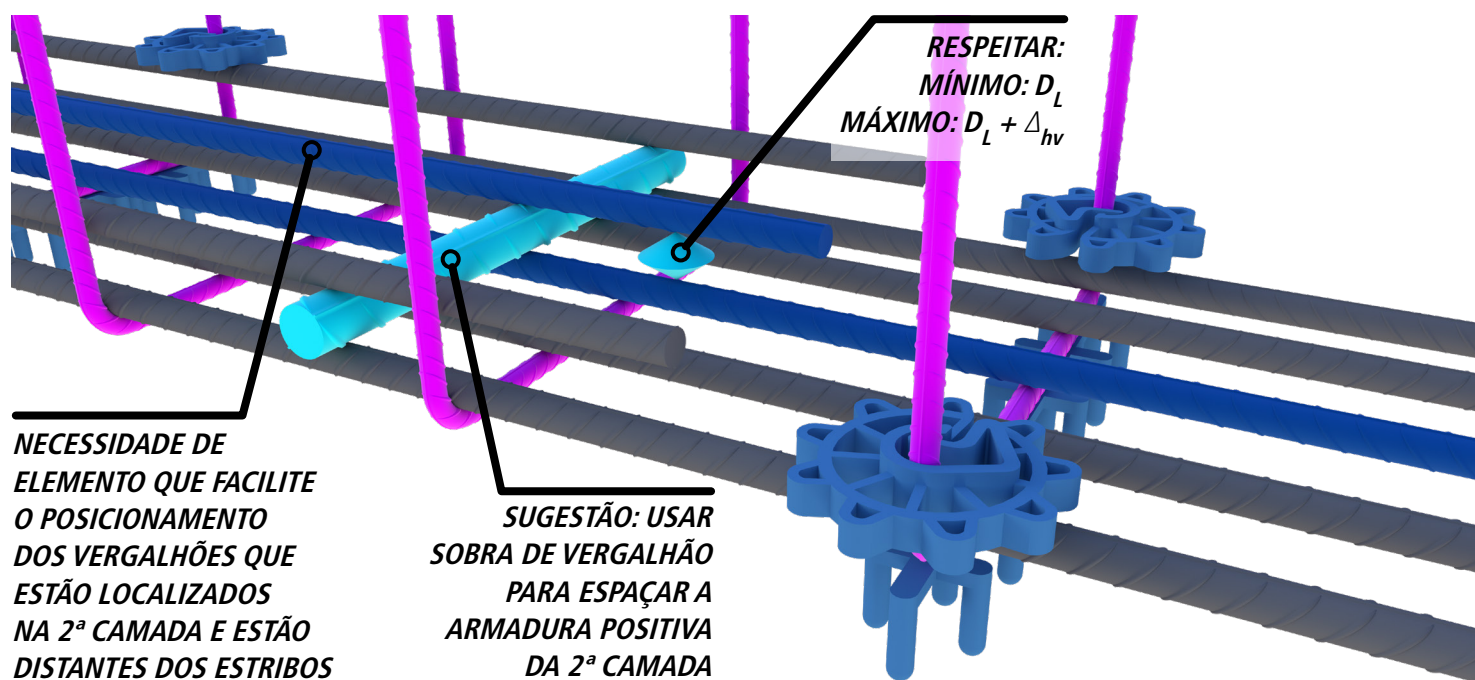


Figura 7.13

Posicionamento da armadura positiva da 2ª camada

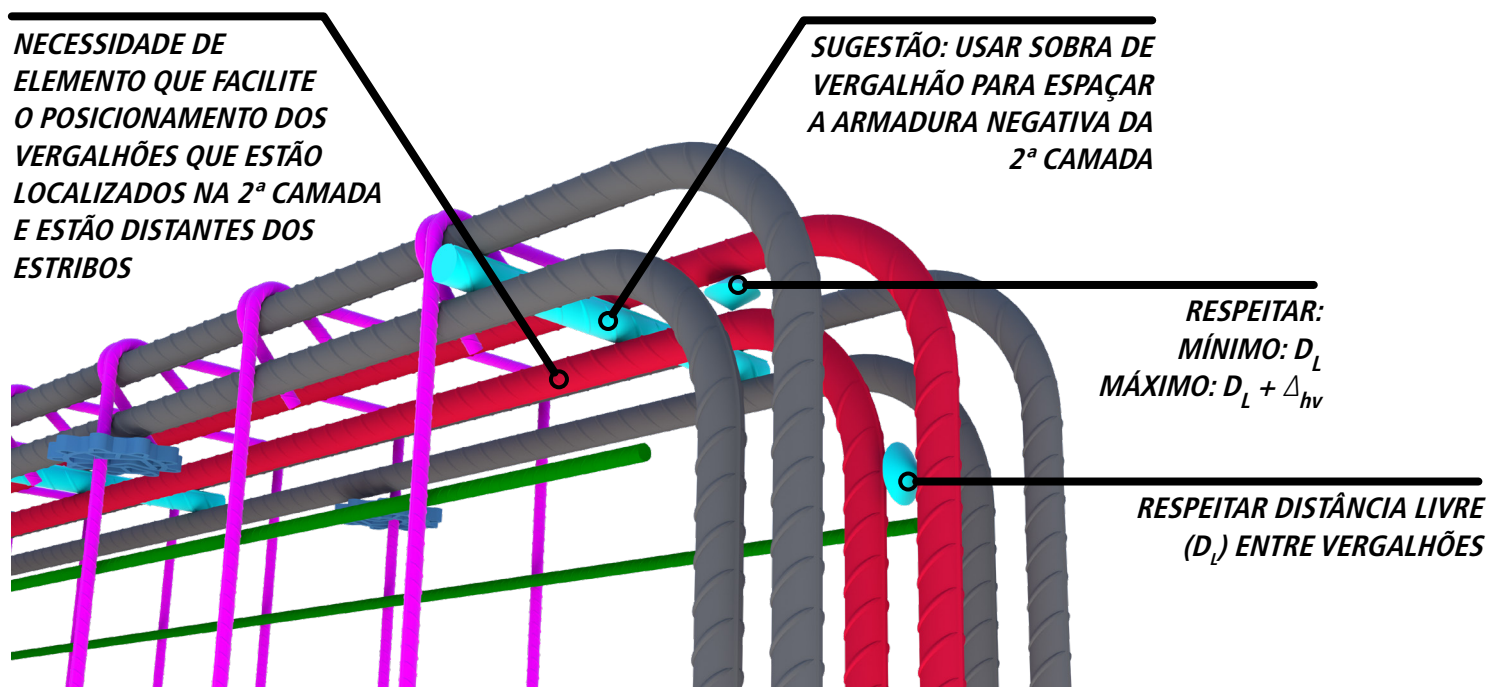


Figura 7.14

Posicionamento da armadura negativa da 2ª camada

ENCONTRO VIGA x PILAR

O que fazer quando a viga que se apoia em pilar ou o pilar que se apoia em viga possuem a mesma largura? A resposta está ligada diretamente ao comportamento estrutural. Em uma estrutura tradicional (reticulada), a laje se apoia na viga, que se apoia no pilar e que, por sua vez, se apoia no elemento de fundação. Através deste comportamento, as armaduras longitudinais do elemento estrutural que se apoia devem entrar na armadura do elemento estrutural que serve como apoio (**Figuras 7.15 e 7.16**).

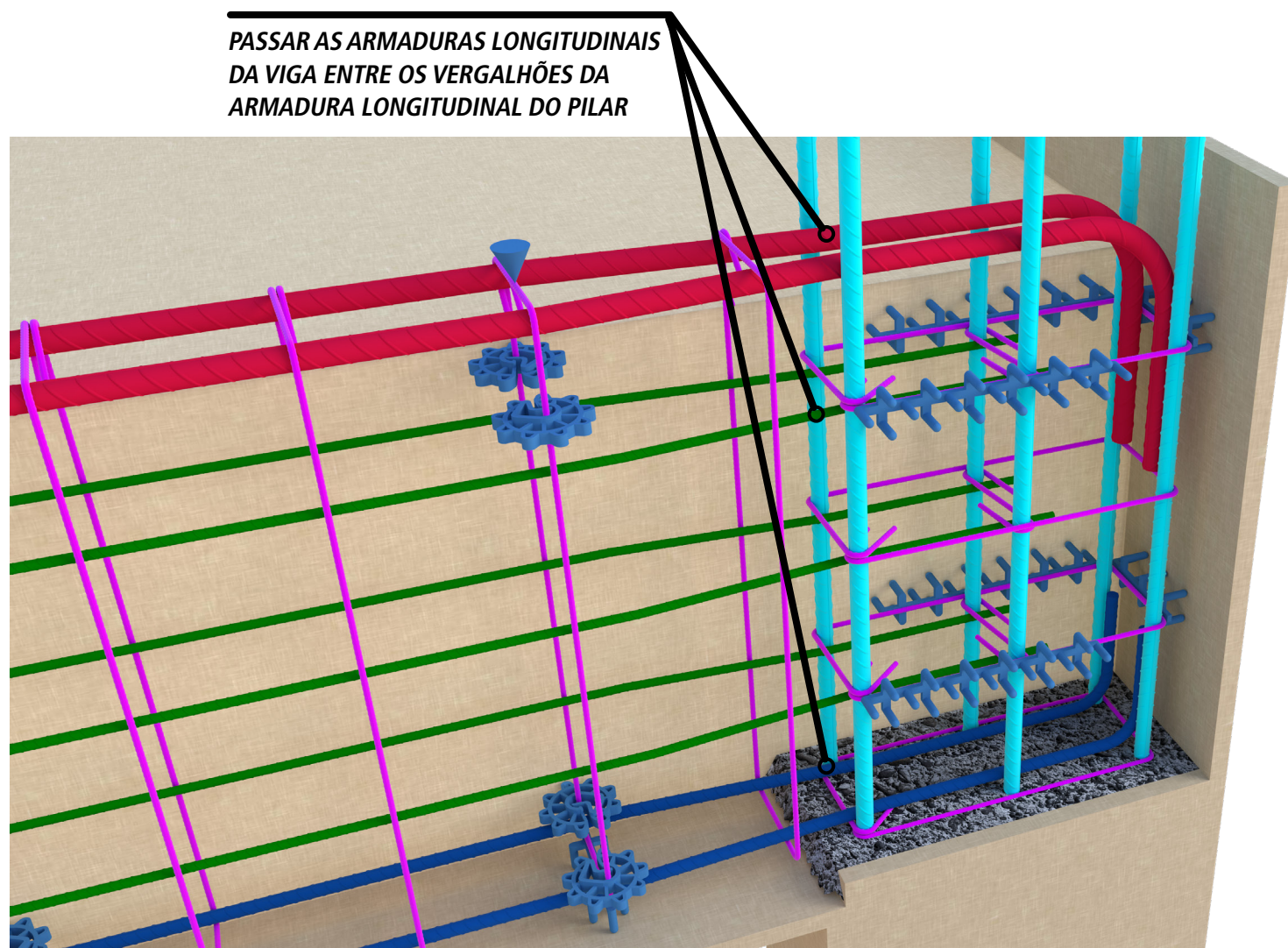


Figura 7.15

Encontro da viga que se apoia no pilar

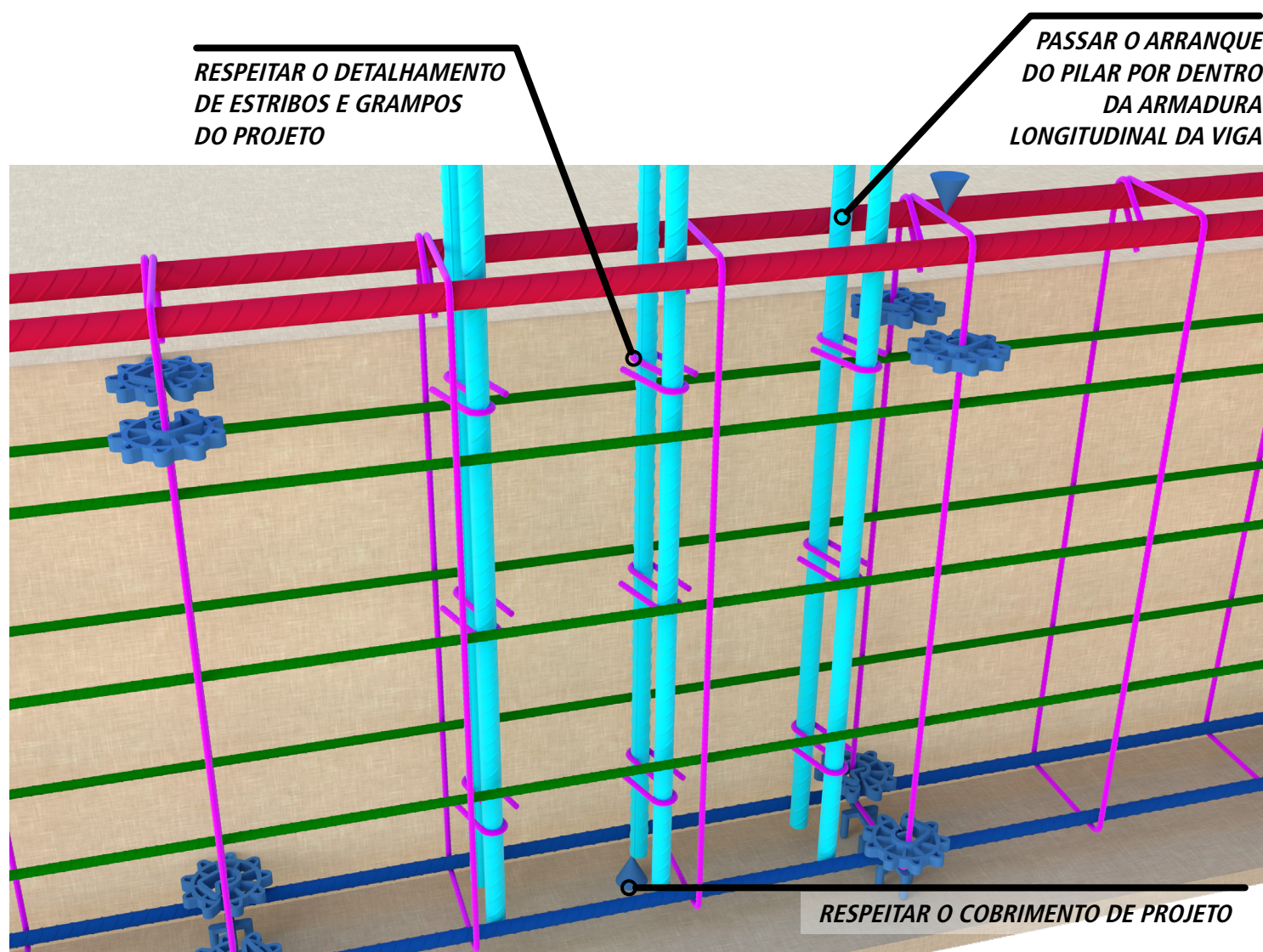


Figura 7.16
Encontro do pilar que nasce em viga

ENCONTRO VIGA x VIGA

Nos encontros entre vigas, quando a viga suporte e a viga suportada possuem altura e nível de fundo iguais, posicionar os estribos e armaduras longitudinais pode ser desafiador no momento da montagem. Desse modo, como apontado por Fusco (2013), *"nos apoios indiretos, o equilíbrio de esforços internos da viga suporte exige que no cruzamento das duas vigas haja uma armadura de suspensão, funcionando como um tirante interno, que levanta a força aplicada pela viga suportada ao banzo inferior da viga suporte até o seu banzo superior"*.

Esta armadura de suspensão normalmente é constituída por estribos fechados ou abertos com ganchos nas extremidades. Tais estribos devem se concentrar preferencialmente na região de cruzamento das vigas (**Figuras 7.17 e 7.19**).

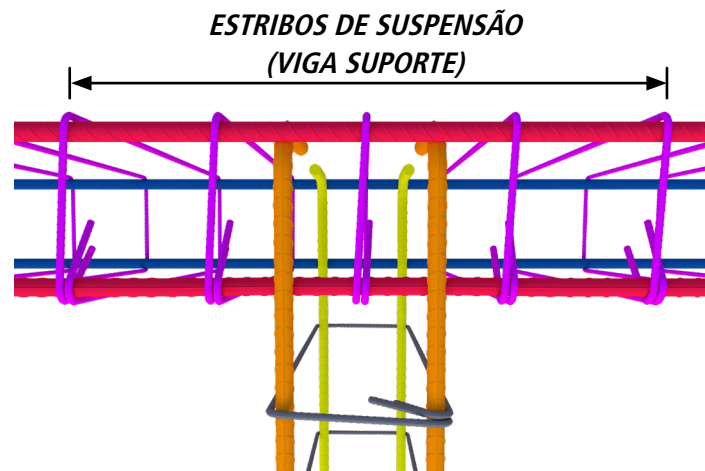


Figura 7.17

Encontro das armaduras da viga suporte (viga horizontal) x viga suportada (viga vertical)

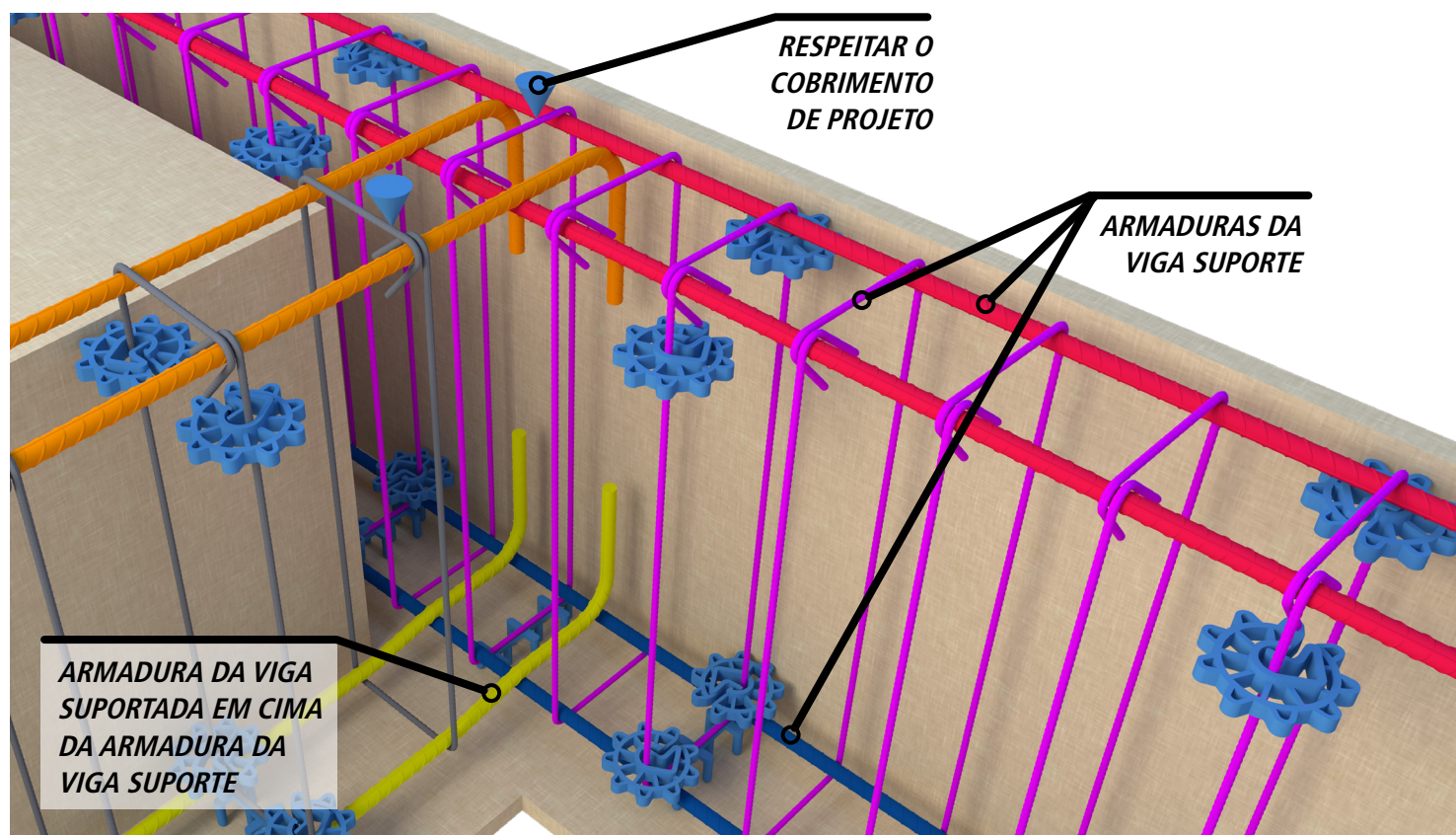


Figura 7.18

Posicionamento das armaduras longitudinais positivas

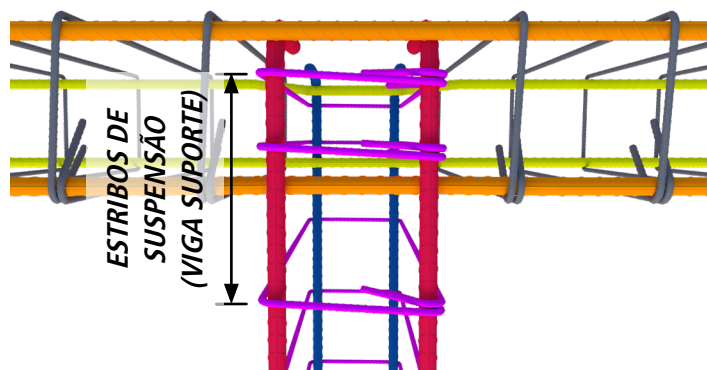


Figura 7.19

Encontro das armaduras da viga suporte (viga vertical) x viga suportada (viga horizontal)

Identificada a viga suporte, a armadura longitudinal positiva (inferior) servirá de apoio para armadura longitudinal positiva da viga suportada (**Figuras 7.18 e 7.20**).

As **Figuras 7.17 a 7.20** representam casos comuns. No entanto, podem surgir outros esforços que exijam posicionamentos diferentes e/ou armaduras adicionais, como armadura de pele com gancho na extremidade e grampos de ancoragem.

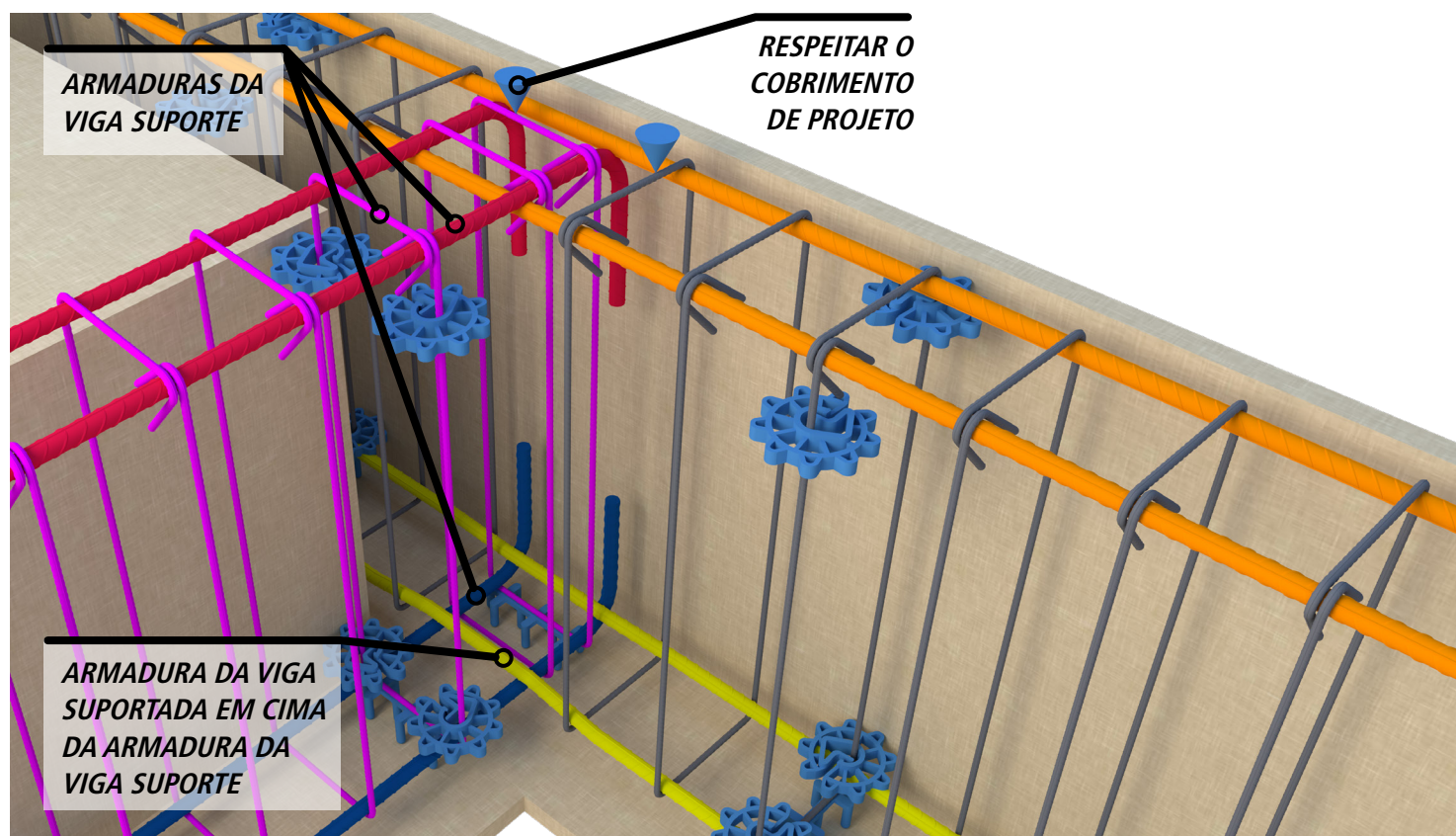


Figura 7.20

Posicionamento das armaduras longitudinais positivas

REFORÇO NA VIGA COM FURO (ABERTURA)

No capítulo 21 da *ABNT NBR 6118*, preconiza-se que os elementos estruturais cujo projeto exige a presença de aberturas sejam detalhados e calculados considerando as tensões que se concentram em torno dessas aberturas. Este detalhamento deve prever tanto as armaduras para resistir às forças de tração quanto as armaduras complementares dispostas no contorno e nos cantos das aberturas.

O capítulo 13 da *ABNT NBR 6118* considera, de maneira geral, que “furos” têm dimensões pequenas em relação ao elemento estrutural, enquanto “aberturas” têm dimensões relativas maiores. Além disso, segundo a norma, um conjunto de furos muito próximos deve ser tratado como uma abertura. No entanto, neste Manual, aberturas são referidas como furos, pois este é o termo utilizado nos canteiros de obras.

O furo em viga representa uma região com rigidez reduzida, suscetível ao aparecimento de fissuras. Desse modo, para controlar essas fissuras, que podem atravessar o furo ou passar por cima ou por baixo, conforme mostra a **Figura 7.21**, são colocadas armaduras para reforço. As **Figuras 7.22 e 7.23** mostram mais detalhes desses reforços.

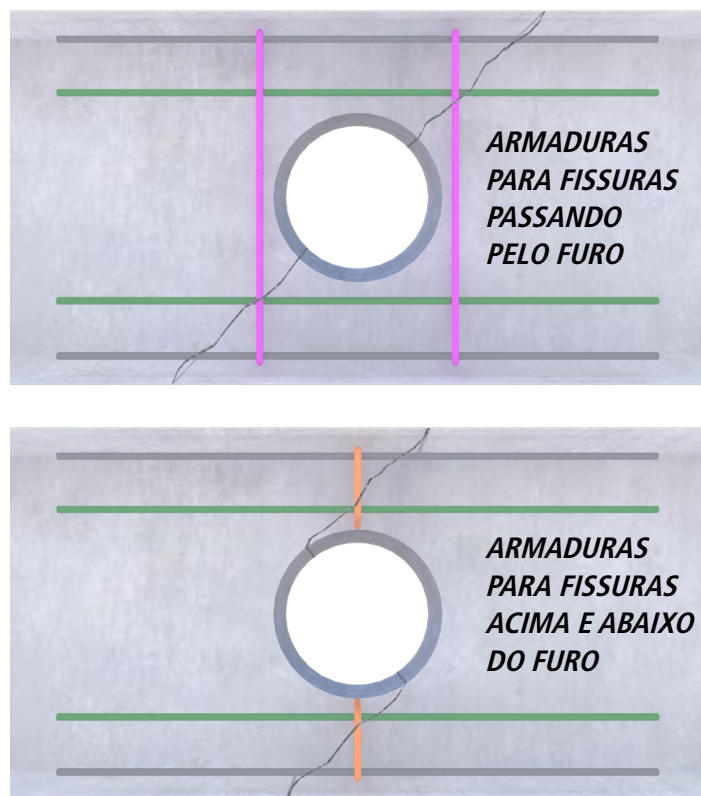


Figura 7.21
Funções dos reforços de furos em vigas

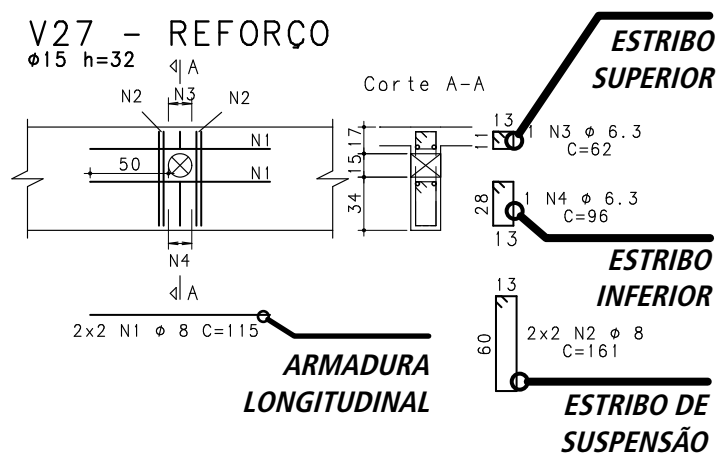


Figura 7.22
Projeto de reforço na viga com furo. Nota: exemplo apenas para fins de montagem. Para dimensionamento e detalhamento, consultar normas e bibliografias específicas.

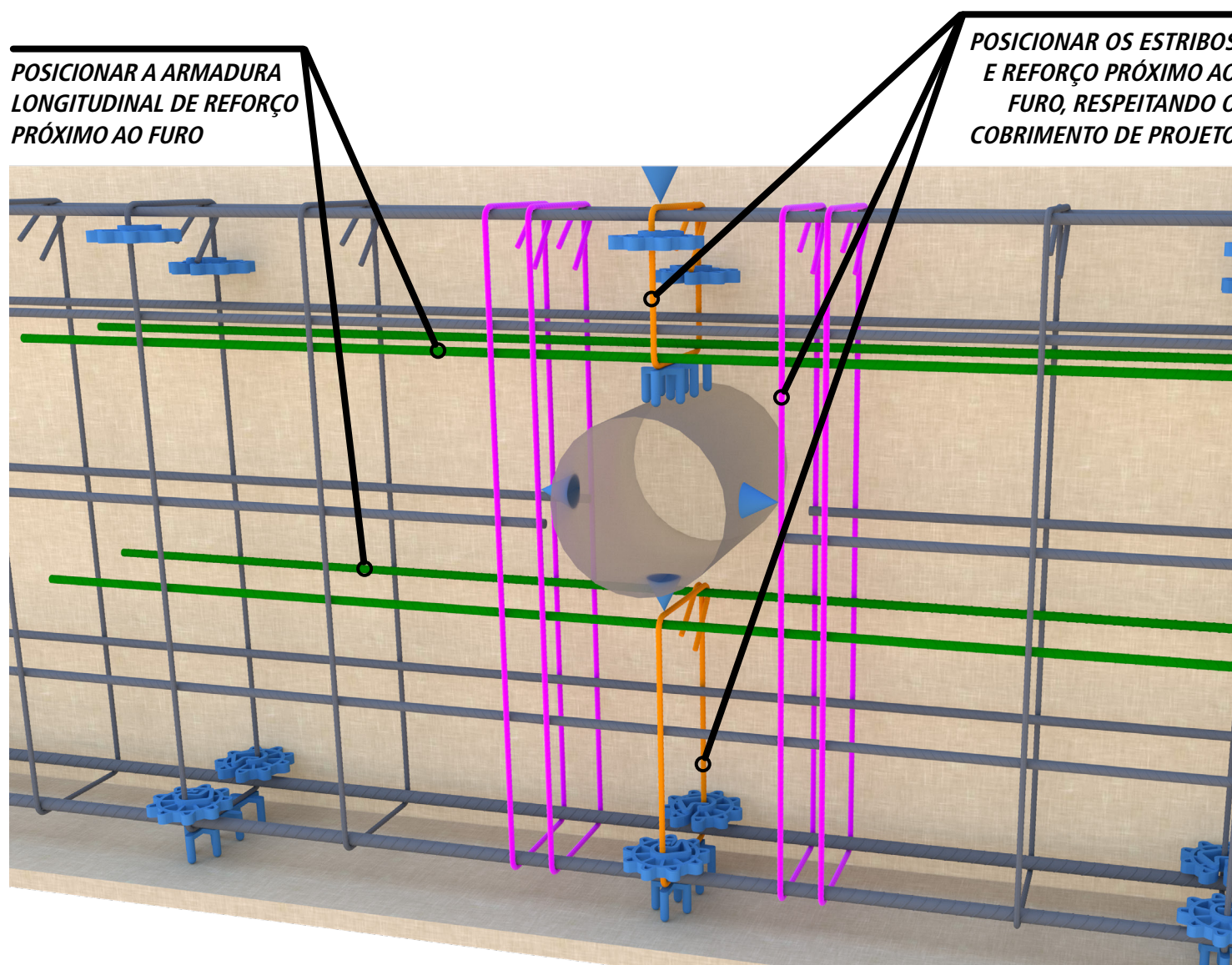


Figura 7.23
Posicionamento dos reforços de furos em vigas

CAPÍTULO 8

ARMADURAS DE LAJES

AMARRAÇÕES EM LAJES

O capítulo 8 da *ABNT NBR 14931* menciona que a montagem da armadura deve ser feita por amarração utilizando arames ou similares, ou por pontos de solda no caso de aços soldáveis. Além disso, a norma indica que distância entre pontos de amarração dos vergalhões deve assegurar o posicionamento da armadura durante a concretagem.

Nota-se, no entanto, que a disposição dos pontos de amarração não é detalhada nesta norma, visto que amarrar todos os pontos de intersecção dos vergalhões seria improdutivo para execução da armadura da laje. Entretanto, Calavera Ruiz (2012) sugere que todas as intersecções entre vergalhões ao redor do perímetro da armadura positiva sejam amarradas (**Figuras 8.2, 8.5 e 8.8**). Embora não especificado pelo autor, assume-se que as amarrações internas dos pontos de intersecção dos vergalhões deverão ser realizadas na diagonal. A legenda de cores correspondentes aos tipos de pontos de amarração pode ser encontrada ao lado.

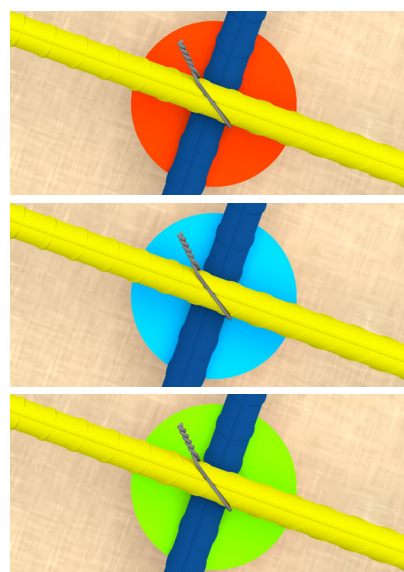
Além disso, embora não exista consenso quanto às distâncias das amarrações, Maran (2020) aponta para o uso do espaçamento de 50cm. No entanto, experimentos com armaduras de diâmetros de 5 e 6,3mm não apresentaram resultados satisfatórios. Desse modo, sugere-se neste Manual a distância de 45cm entre os pontos de intersecção dos vergalhões.

ESPAÇADORES EM LAJES

Para os espaçadores, como não existem referências normativas brasileiras quanto às suas distâncias, sugere-se o uso da norma internacional *BS 7973-2 (2001)*, que indica a distância mínima de $50\varnothing$ (onde $\varnothing$ é o diâmetro do vergalhão) e máxima de 100cm. Vale ressaltar, entretanto, que, segundo Maran (2020), não se utiliza a distância mínima para pequenos diâmetros de vergalhão, pois, neste caso, seriam usados espaçadores em excesso.

Sugerem-se as distâncias entre os espaçadores nas **Figuras 8.3, 8.6 e 8.9**, com distribuição de maneira alternada sob vergalhões (como indica a norma *BS 7973-2*). Ressalta-se que tais sugestões devem ser avaliadas para cada obra para que o cobrimento de projeto seja respeitado. As figuras a seguir demonstram o processo de amarração e distribuição dos espaçadores.

PONTOS DE AMARRAÇÃO - LEGENDA



**PONTO DE AMARRAÇÃO
NO PERÍMETRO**

**PONTO DE AMARRAÇÃO
NA DIAGONAL COMO
REFERÊNCIA**

**PONTO DE AMARRAÇÃO
NA DIAGONAL**

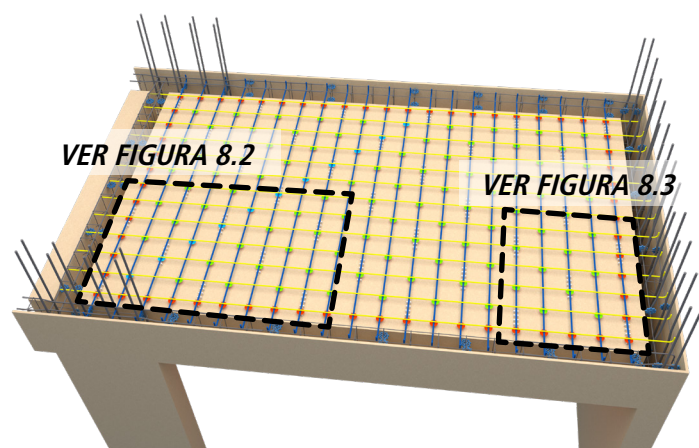


Figura 8.1
Espaçadores e amarrações (espaçamento entre 20 e 16cm da armadura principal)

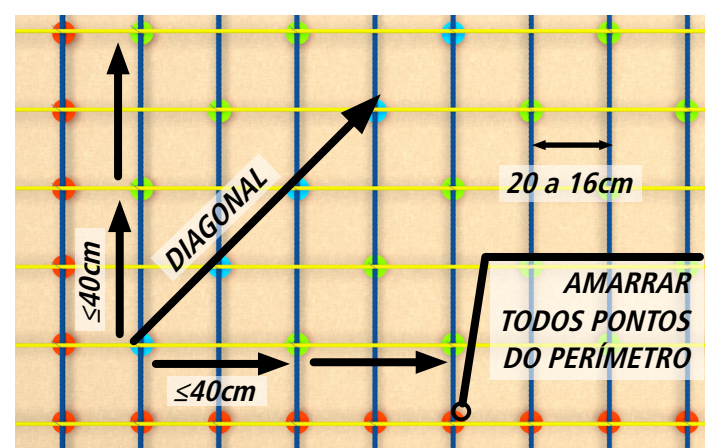


Figura 8.2
Sugestão dos pontos de amarração

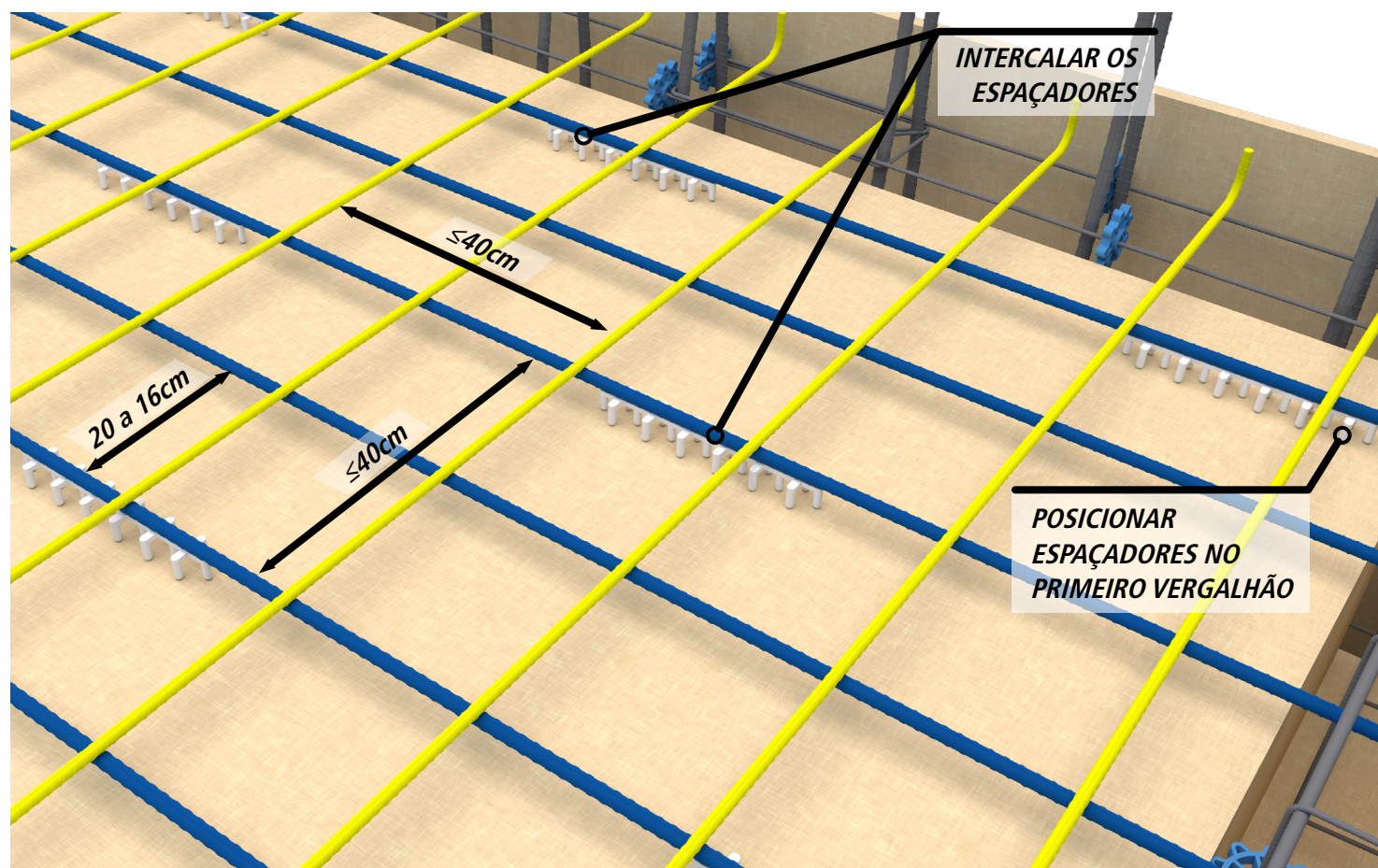


Figura 8.3
Sugestão de posicionamento dos espaçadores

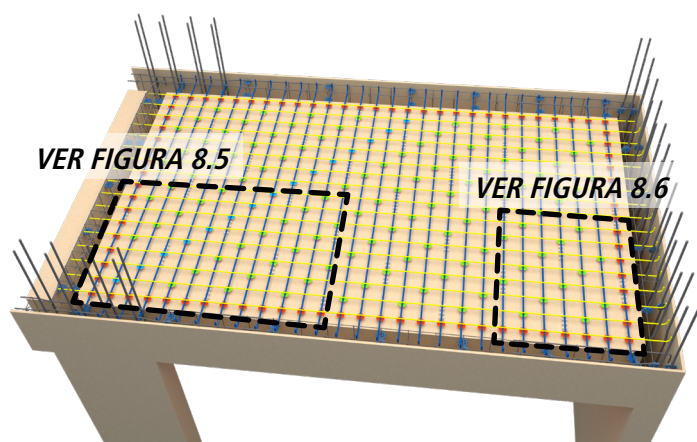


Figura 8.4
Espaçadores e amarrações (espaçamento entre 15 e 12cm da armadura principal)

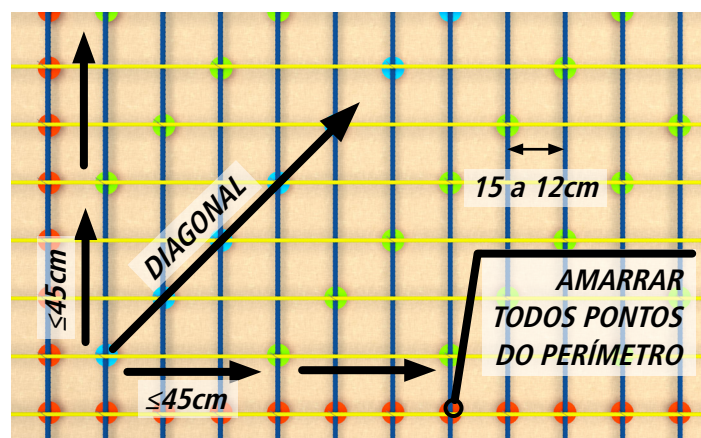


Figura 8.5
Sugestão dos pontos de amarração

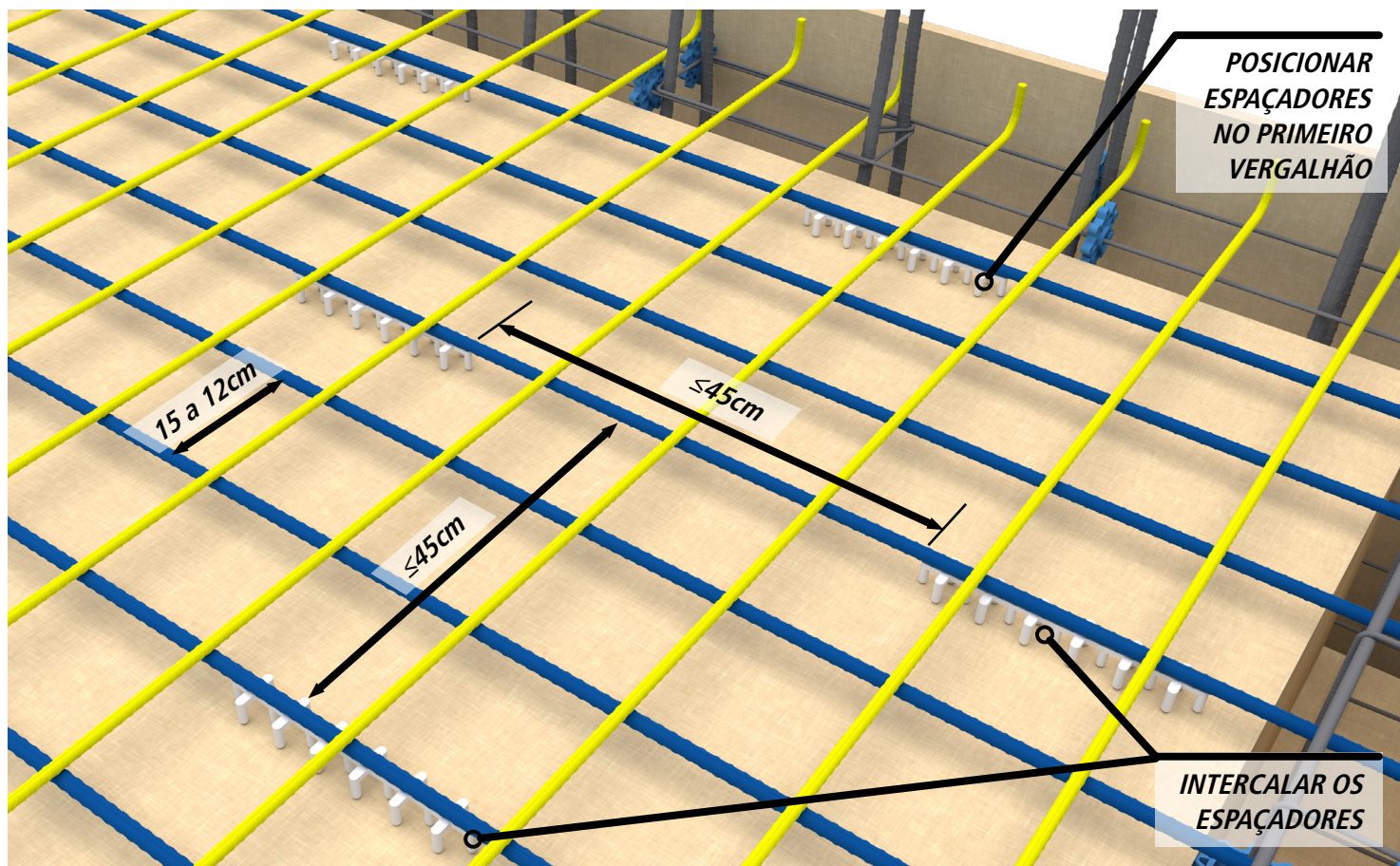


Figura 8.6
Sugestão de posicionamento dos espaçadores

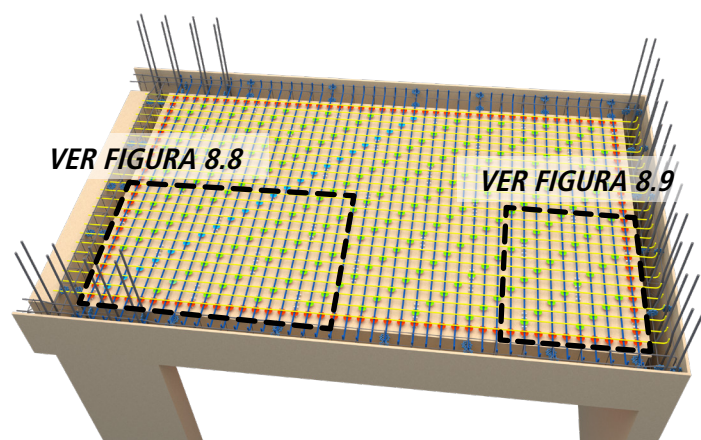


Figura 8.7
Espaçadores e amarrações (espaçamento entre 10 e 11cm da armadura principal)

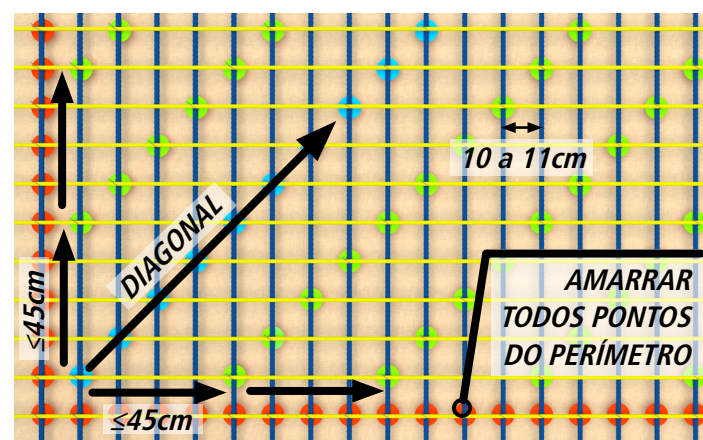


Figura 8.8
Sugestão dos pontos de amarração

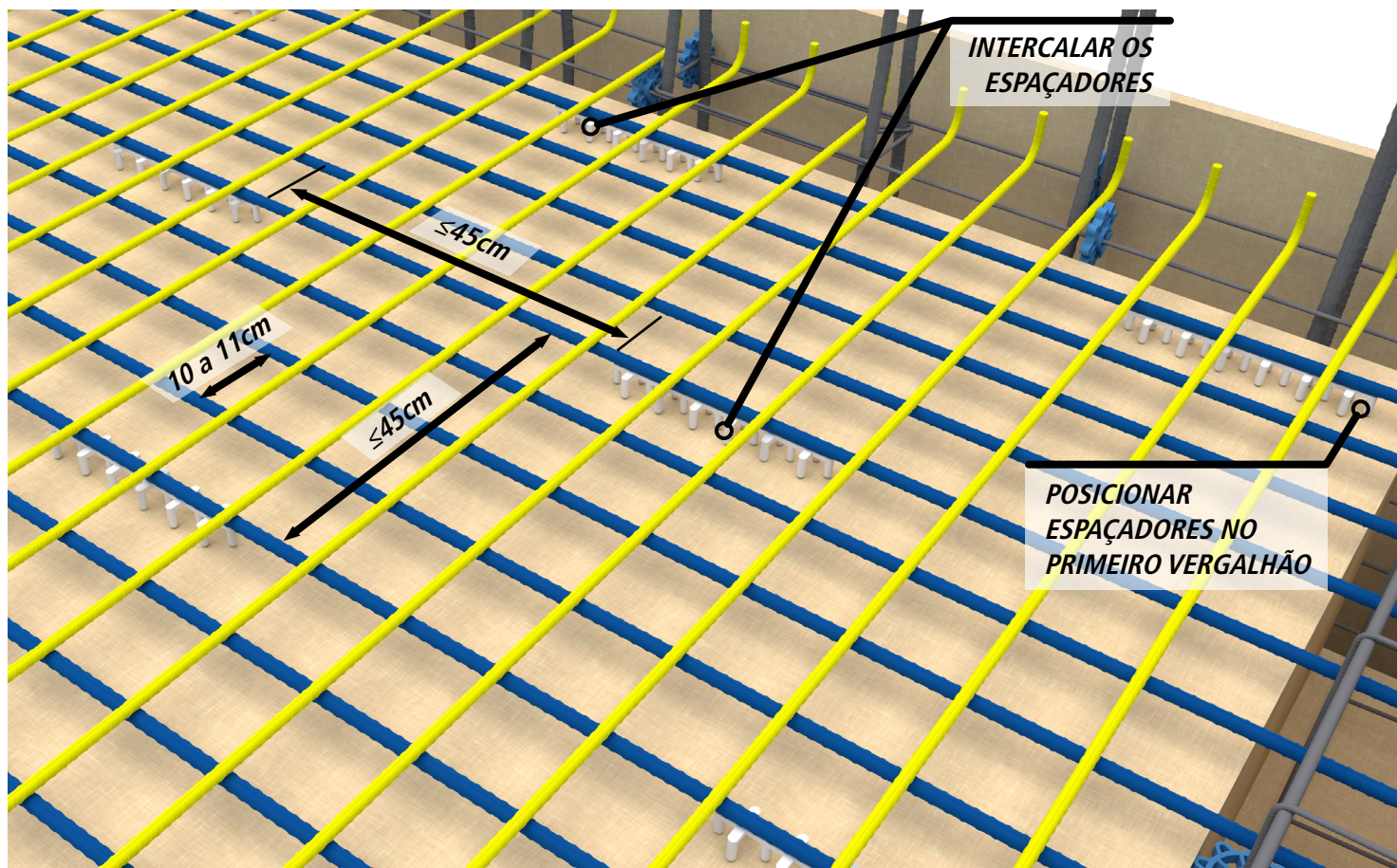


Figura 8.9
Sugestão de posicionamento dos espaçadores

ARMADURAS POSITIVAS

Nas armaduras positivas de lajes, existem detalhes de posicionamento importantes para o correto funcionamento estrutural. As figuras desta seção mostram esses pontos importantes.

A sequência detalhada de posicionamento das armaduras positivas pode ser conferida nas **Figuras 8.11 a 8.15** nas próximas páginas.

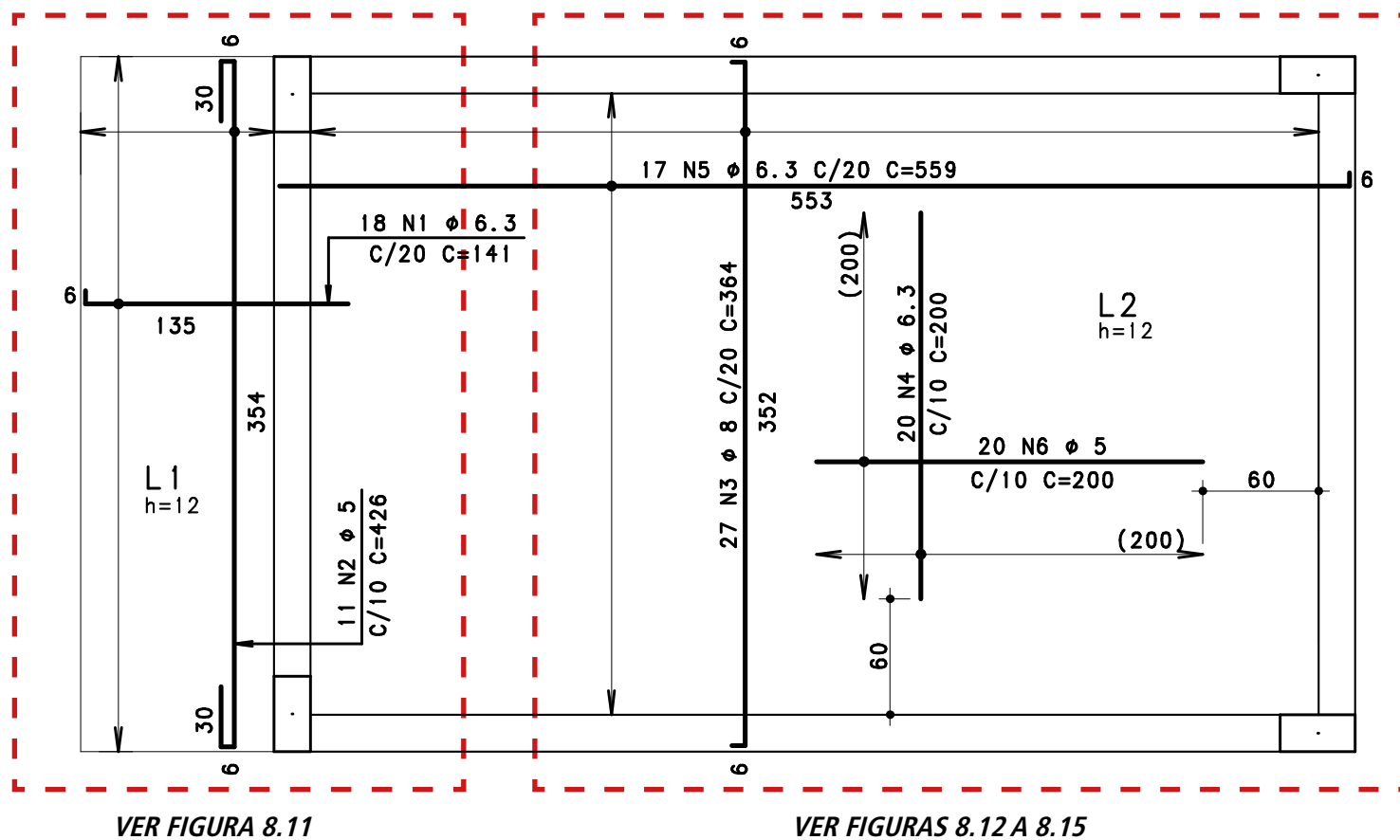


Figura 8.10

Projeto de armadura positiva da laje. Nota: exemplo apenas para fins de montagem. Para dimensionamento e detalhamento, consultar normas e bibliografias específicas.

VER POSICIONAMENTO DAS ARMADURAS
POSITIVAS NAS FIGURAS 8.12 A 8.15

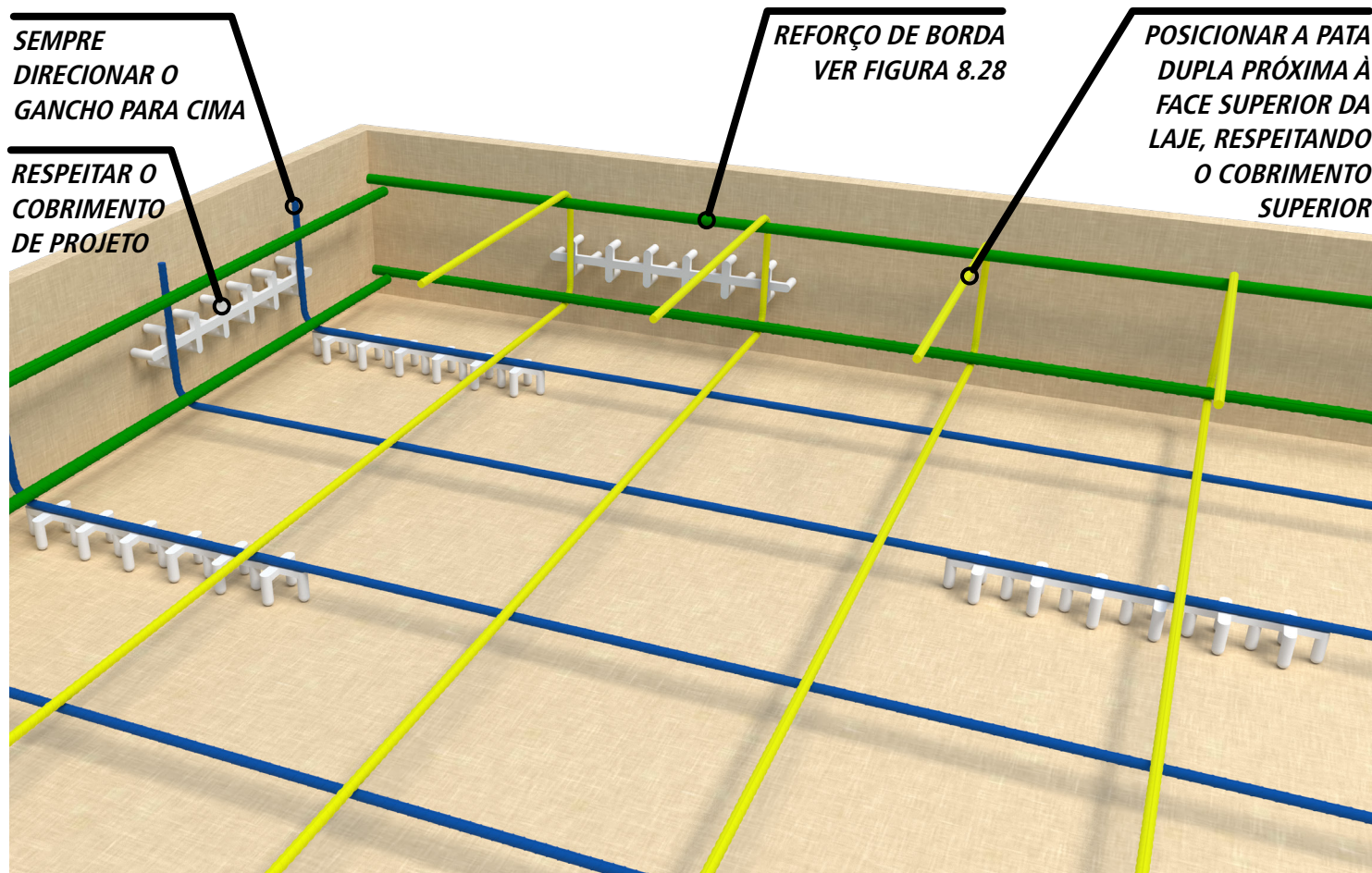


Figura 8.11
Posicionamento da armadura positiva de laje

Existem diversas formas de dimensionar e detalhar a armadura positiva de lajes. Nesta e na próxima página, é possível conferir a sequência de posicionamento das armaduras positivas de uma laje dimensionada com armaduras de base e complementar.

Armaduras de base são constituídas de vergalhões ancorados nos apoios. Isso significa que as pontas dos vergalhões entram nos apoios.

Armaduras complementares são constituídas de vergalhões que complementam as armaduras de base para combater os esforços de flexão. Normalmente, estas armaduras complementares não entram nos apoios.

Ressaltamos que as armaduras nas próximas imagens estão nomeadas e posicionadas conforme a planta do projeto representada na **Figura 8.10**.

ETAPA 1

Armadura de Base - 1ª Camada (Figura 8.12)

- posicionar a armadura de maior diâmetro de diâmetro
- se os diâmetros forem iguais, posicionar primeiro o de menor espaçamento
- se os diâmetros e os espaçamentos forem iguais, posicionar a armadura de menor comprimento

ETAPA 2

Armadura Complementar - 1ª Camada (Figura 8.13)

- posicionar a armadura complementar paralela à armadura de base da 1ª camada

ETAPA 3

Armadura de Base - 2ª camada (Figura 8.14)

- posicionar a armadura de base da outra direção

ETAPA 4

Armadura Complementar - 2ª camada (Figura 8.15)

- posicionar a armadura complementar da outra direção

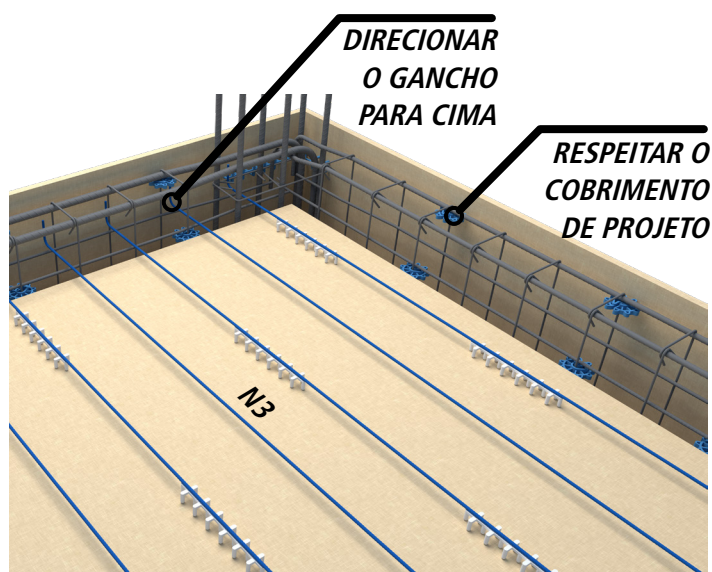


Figura 8.12
ETAPA 1 | Armadura de base - 1ª camada

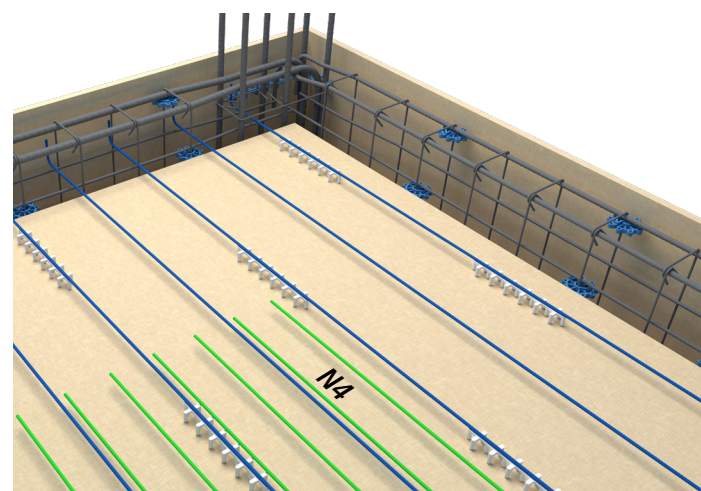


Figura 8.13
ETAPA 2 | Armadura complementar - 1ª camada

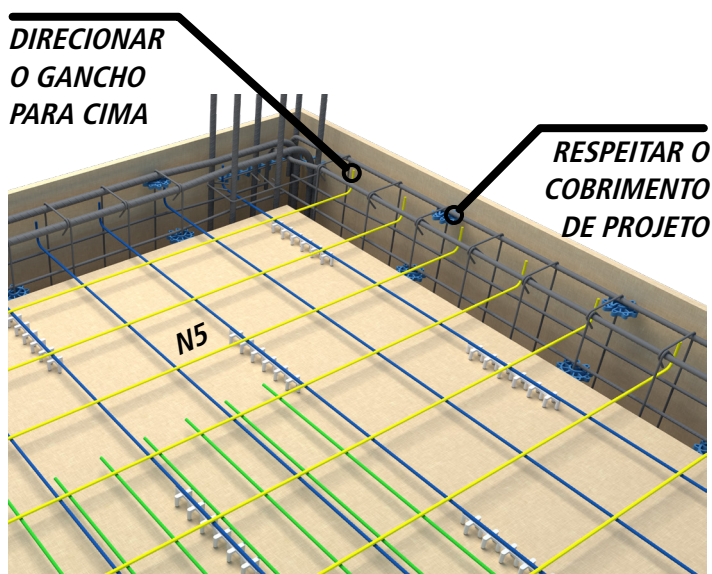


Figura 8.14
ETAPA 3 | Armadura de base - 2ª camada

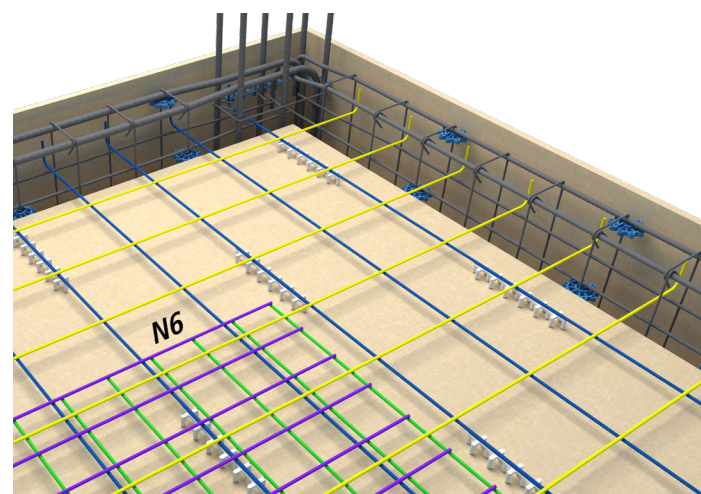


Figura 8.15
ETAPA 4 | Armadura complementar - 2ª camada

ARMADURAS POSITIVAS EM VIGA INVERTIDA

Quando uma laje apoia sobre uma viga, deve-se garantir que a armadura positiva da laje estenda-se dentro da viga, apoiando-se sobre ela. No caso da viga invertida, é importante pensar da mesma forma (**Figura 8.17**).

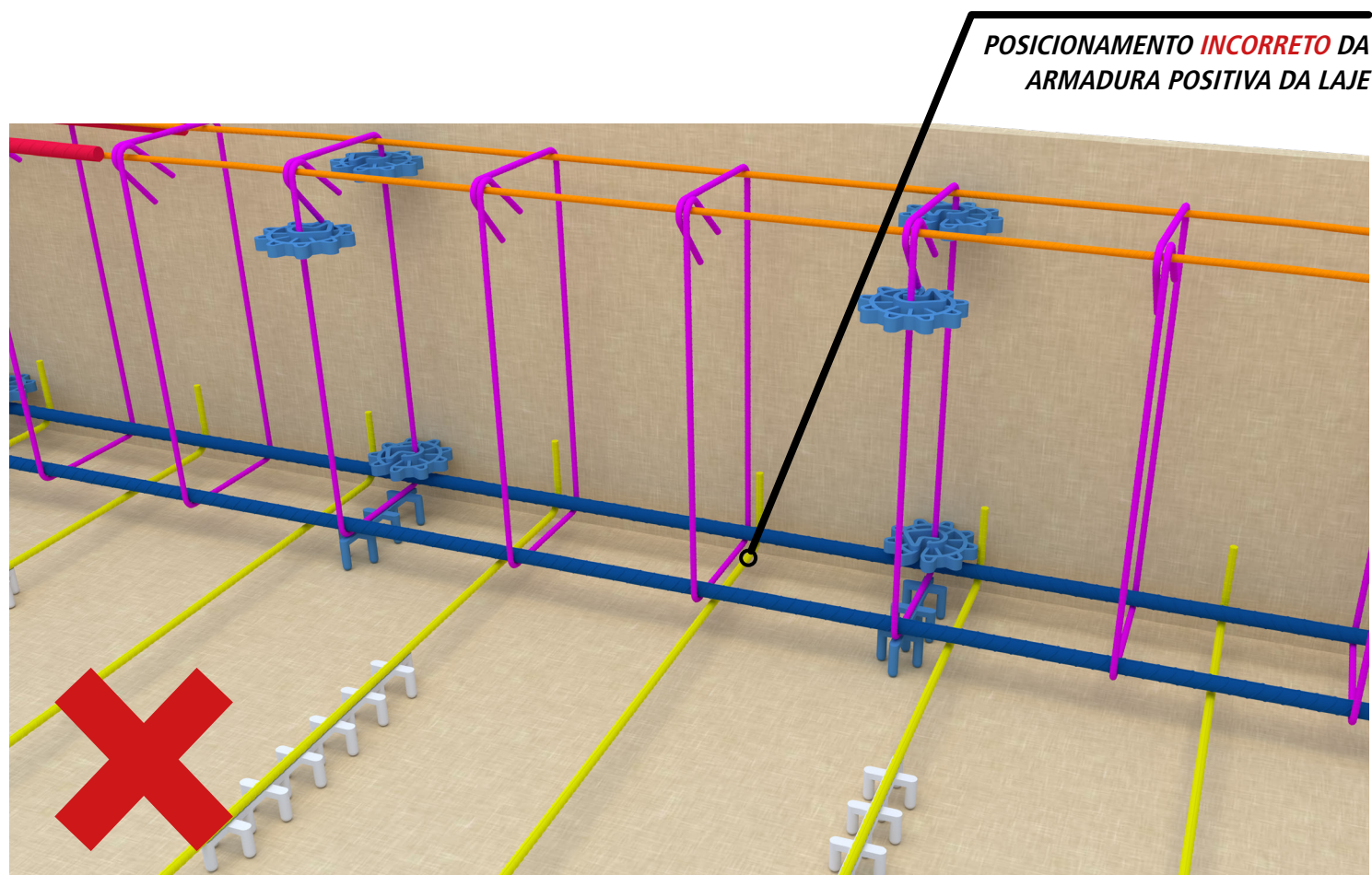


Figura 8.16

Armadura positiva de laje NÃO apoiando na viga - Posicionamento **incorreto**

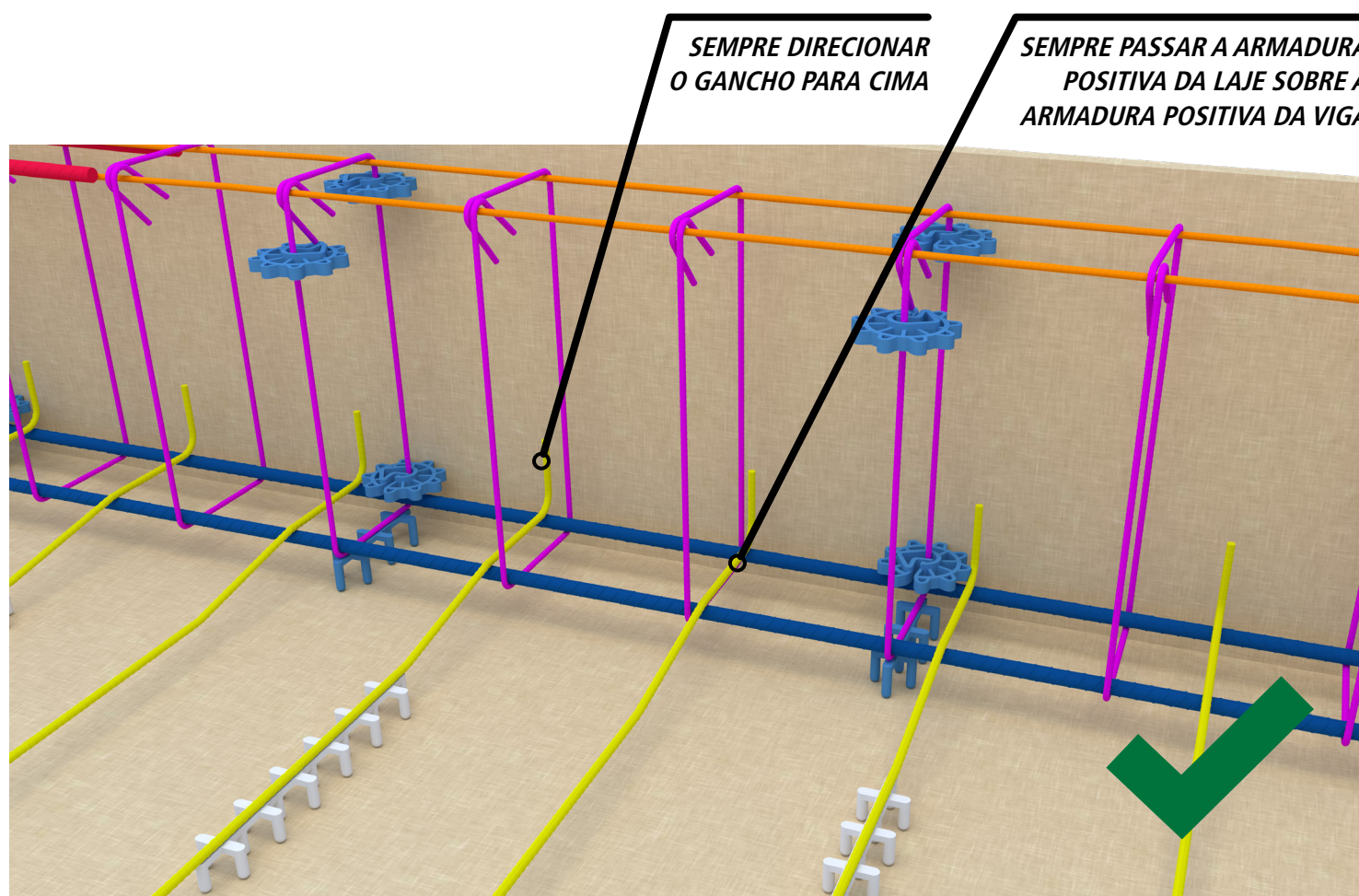


Figura 8.17

Armadura positiva da laje apoiando na viga - Posicionamento **correto**

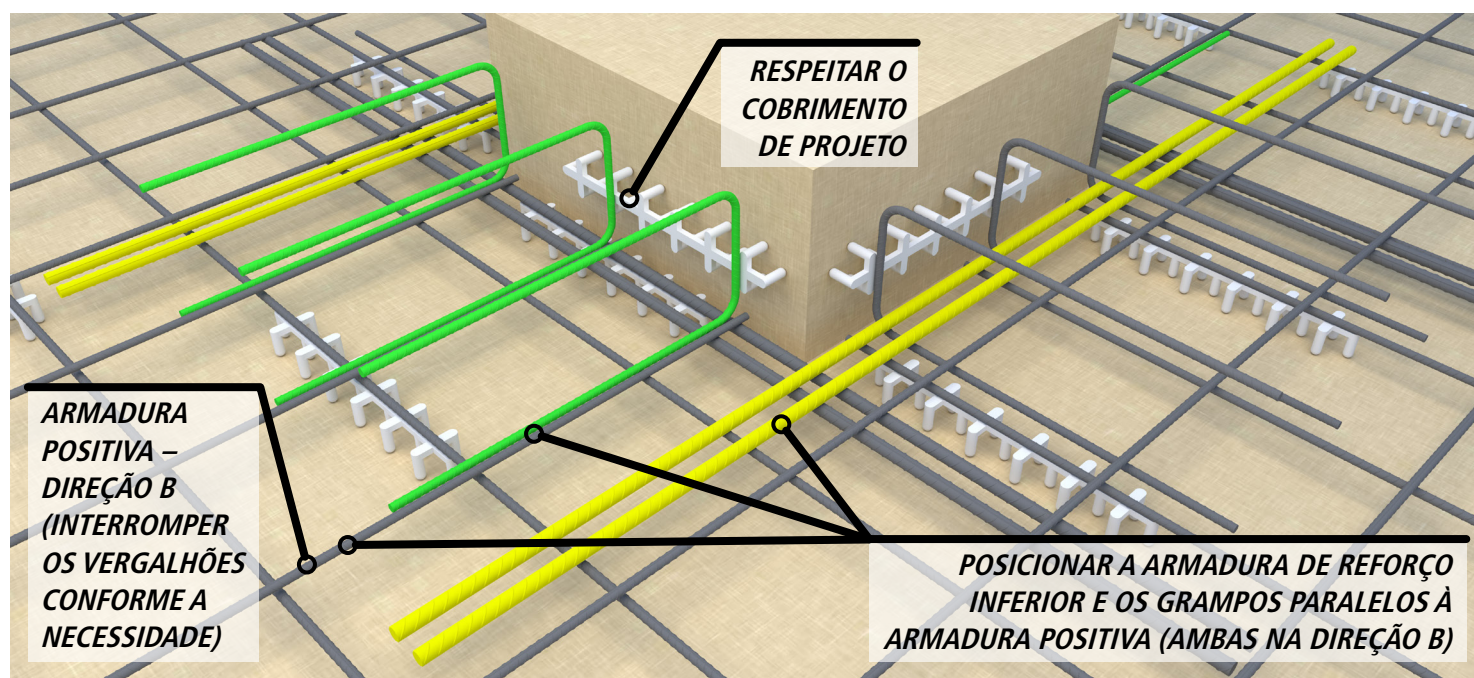


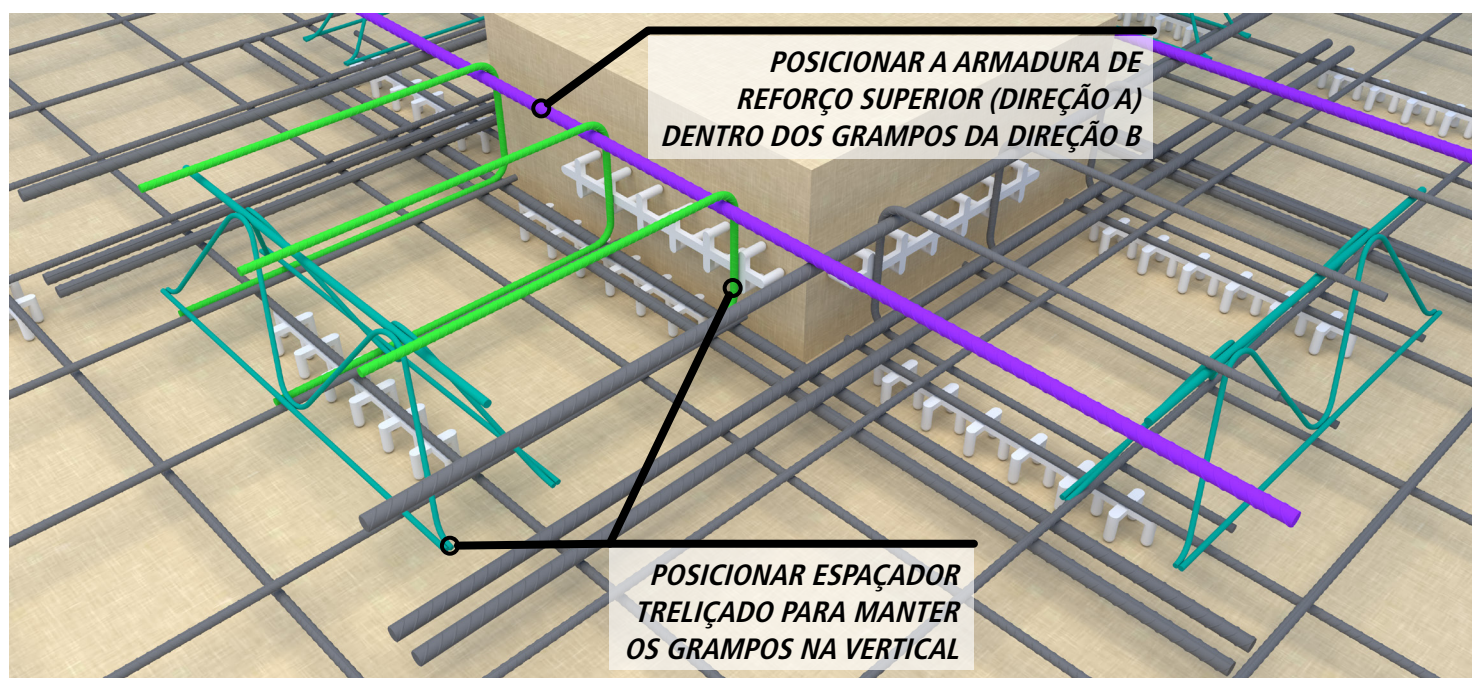
Figura 8.20

ETAPA 2 | Posicionamento das armaduras de reforço da direção B

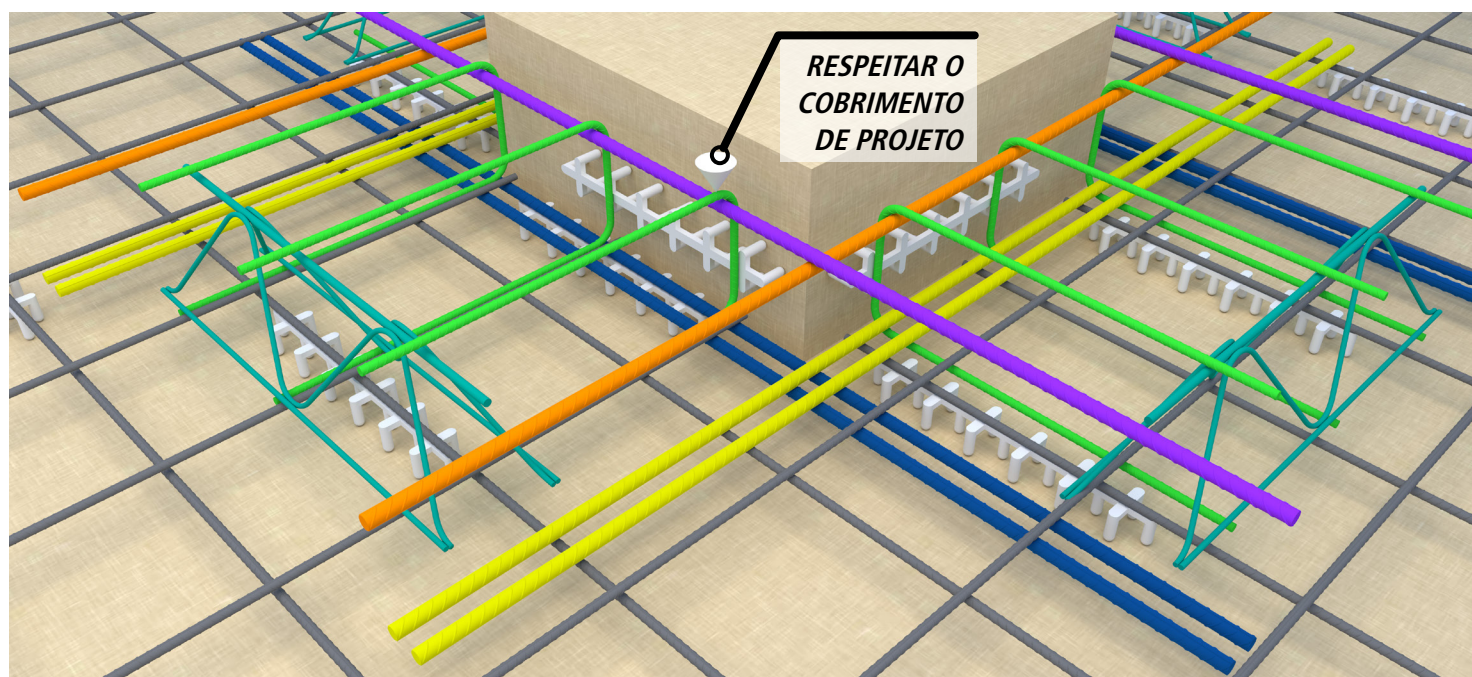


Figura 8.21

ETAPA 3 | Posicionamento das armaduras de reforço superior da direção B

**Figura 8.22**

ETAPA 4 | Posicionamento das armaduras de reforço superior da direção A

**Figura 8.23**

ETAPA 5 | Verificação de quantidades, de diâmetros e dos espaçamentos de acordo com o projeto

Em furos de pequenas dimensões, não é necessário interromper a armadura positiva da laje. Nestes casos, recomenda-se o desvio desta armadura, como representado na **Figura 8.24**. O desvio deve ser feito como demonstrado na figura, de modo a não provocar esforços adicionais, não previstos em projeto, na região do furo.

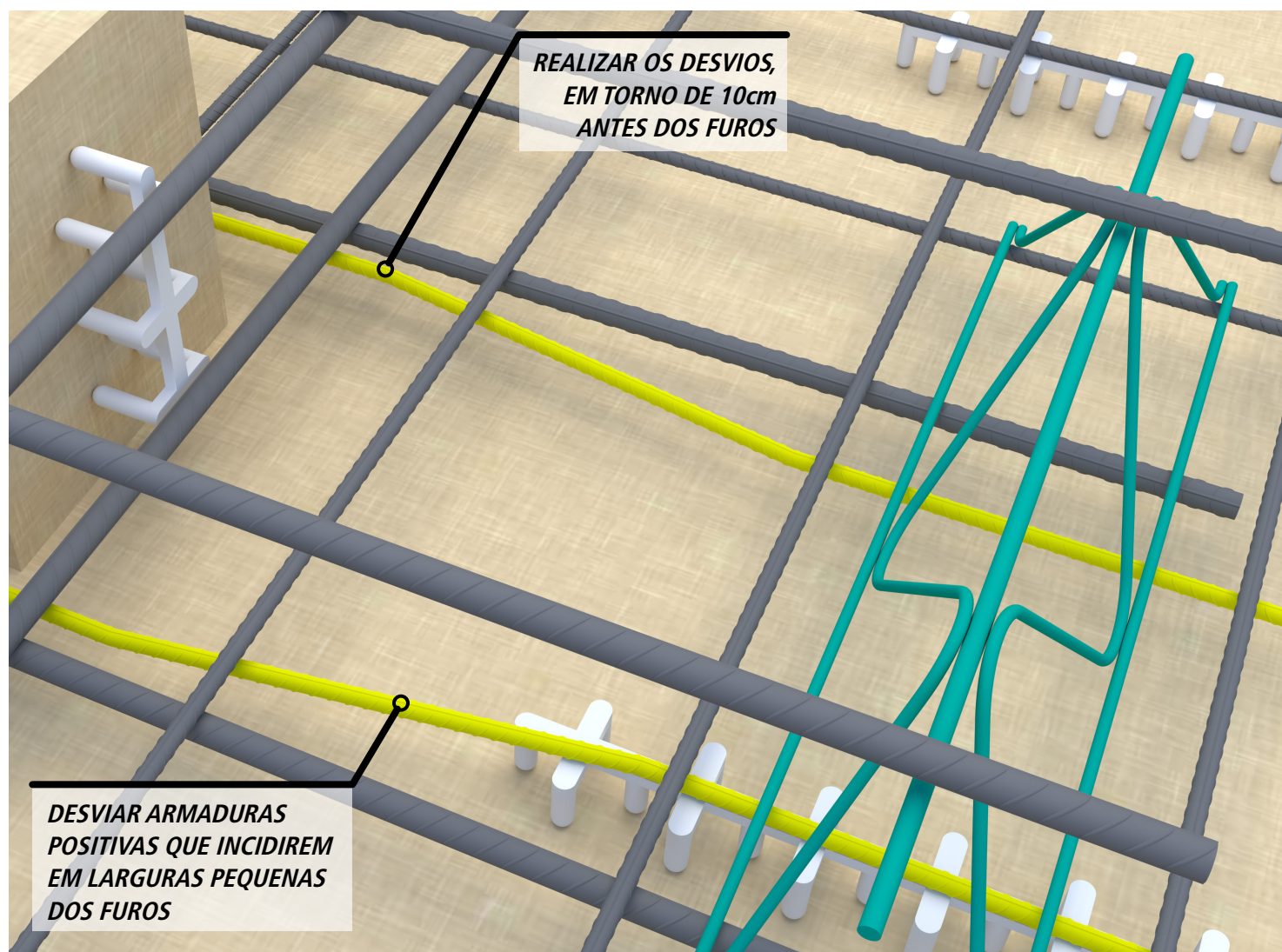


Figura 8.24
Desvio da armadura positiva em furos pequenos

ARMADURAS CONTRA FORÇA CORTANTE

Existem diversas formas de detalhar as armaduras para resistir às forças de tração oriundas da força cortante. Nas **Figuras 8.25 e 8.26**, exemplifica-se o detalhamento com vergalhões em formato "cavelete". Neste caso, studs ou gaiolas não são adequados, por conta da dimensão da laje.

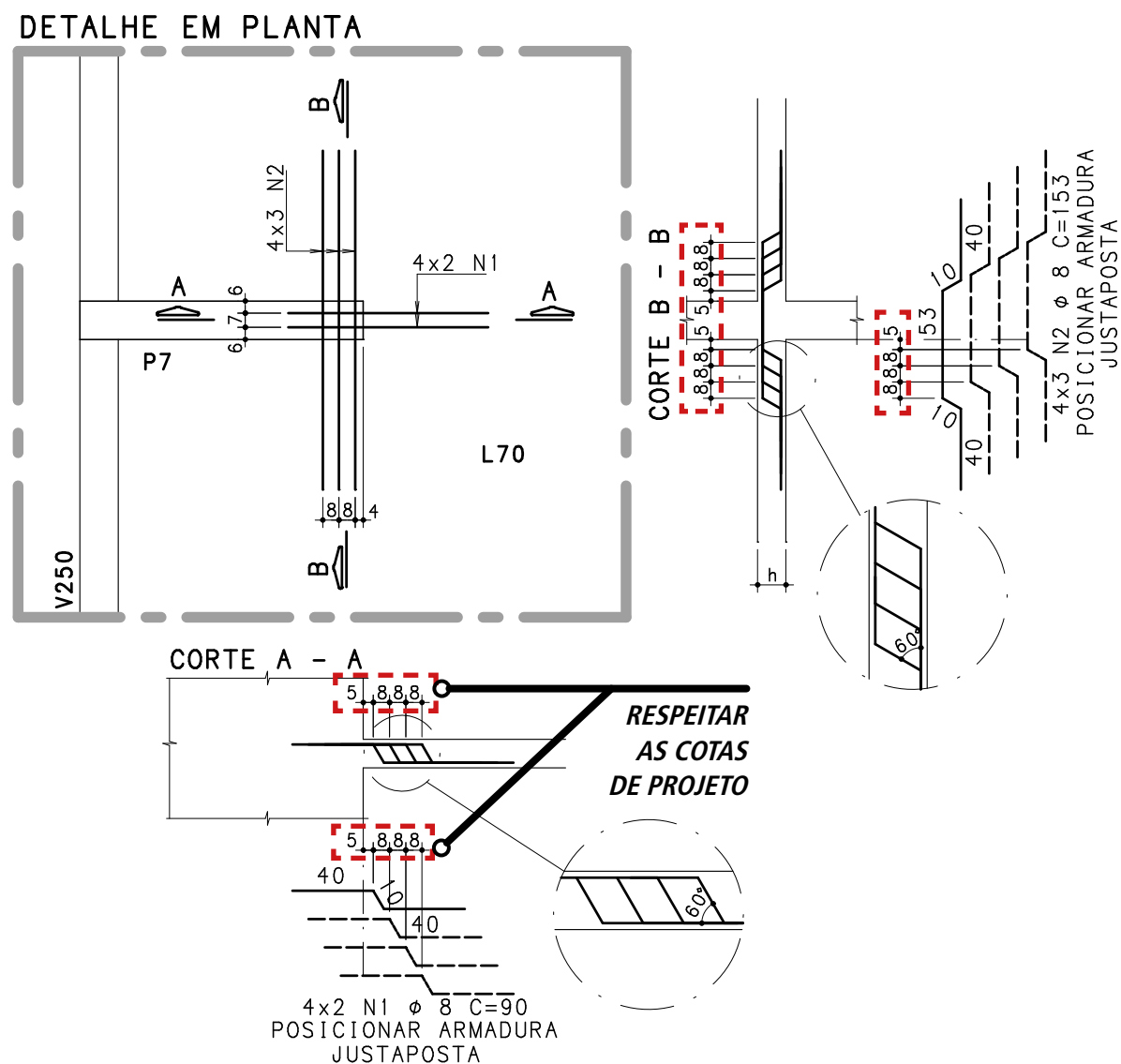


Figura 8.25

Projeto de armadura contra força cortante. Nota: exemplo apenas para fins de montagem. Para dimensionamento e detalhamento, consultar normas e bibliografias específicas.

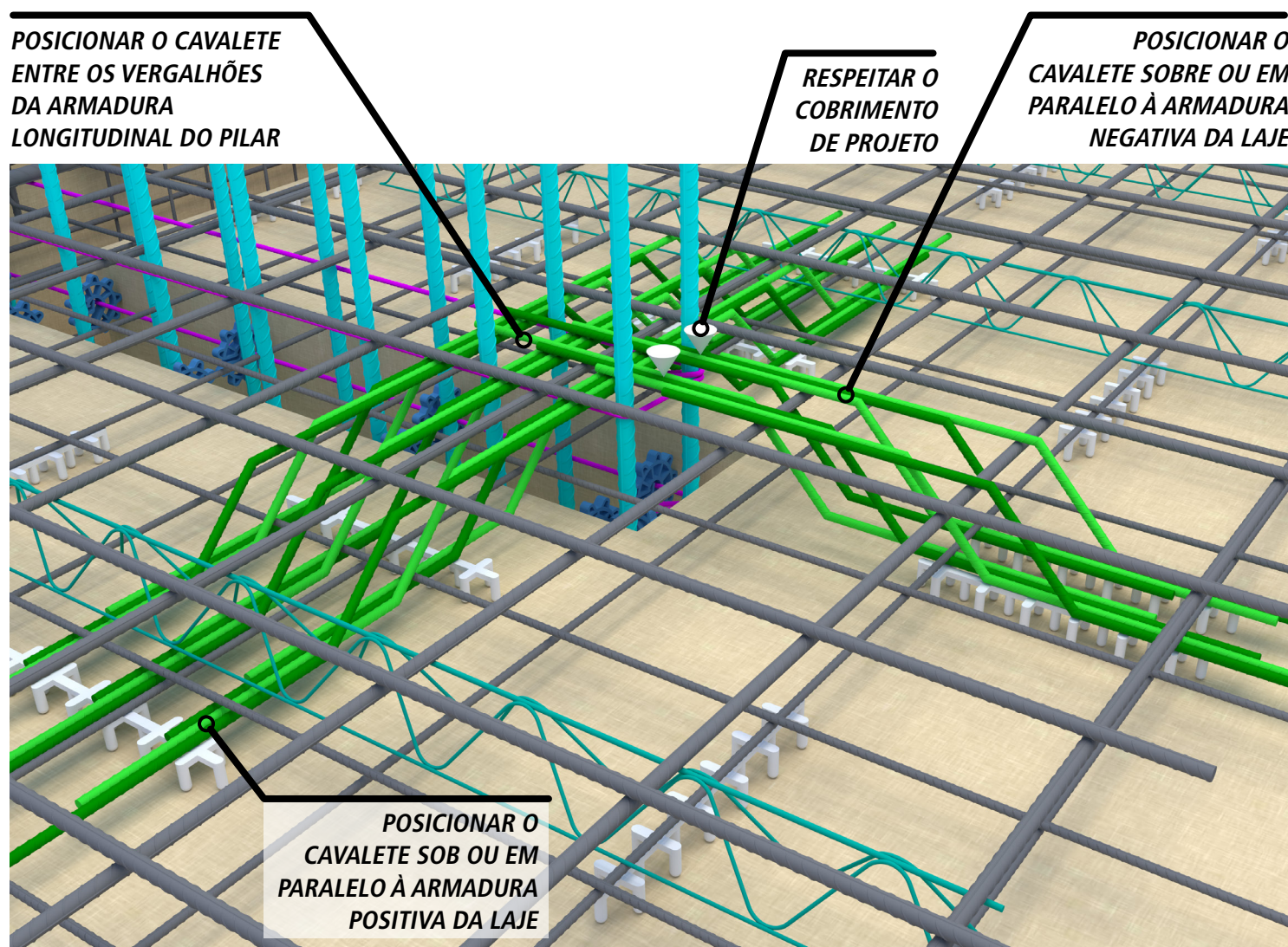


Figura 8.26
Exemplo de armadura em “caveleto”

ARMADURAS NEGATIVAS

A armadura negativa da laje deve ser posicionada sobre os espaçadores treliçados para que o cobrimento superior da laje seja respeitado. Para controlar as fissuras de retração do concreto e para distribuir os esforços de momento fletor negativo nas armaduras negativas, recomenda-se o uso da armadura negativa de distribuição (Figura 8.27).

As distâncias dos espaçadores treliçados para o posicionamento da armadura negativa estão representadas nas Figuras 8.27 e 8.29. Esta distância é baseada na norma britânica BS 7973-2 (2001). A seguir, apresentam-se as distâncias máximas destes espaçadores treliçados, em função do diâmetro do vergalhão da armadura negativa:

Diâmetro (mm)	Distância máxima
Ø 6,3	30cm
Ø 8	40cm
Ø 10	50cm
Ø 12,5	60cm
Ø 16	80cm
Ø 20 a 32	100cm

A Figura 8.29 mostra um exemplo detalhado do posicionamento das armaduras negativas de laje em balanço com continuidade. Já na Figura 8.30, é possível observar o posicionamento das armaduras negativas de borda.

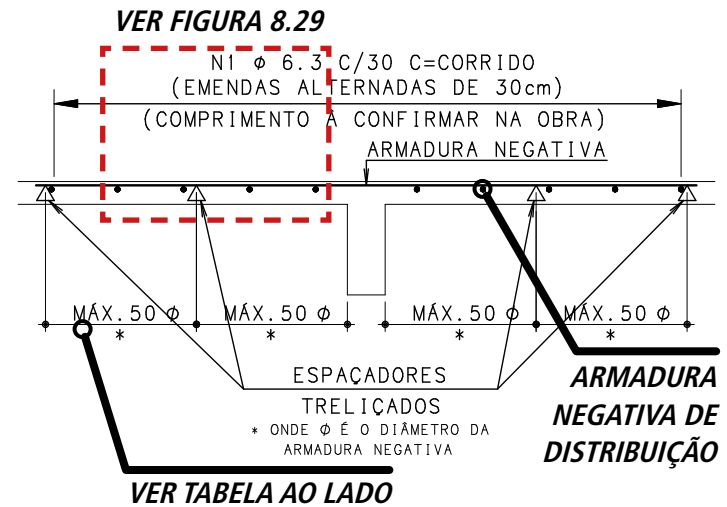


Figura 8.27

Projeto de armadura negativa de distribuição. Nota: exemplo apenas para fins de montagem. Para dimensionamento e detalhamento, consultar normas e bibliografias específicas.

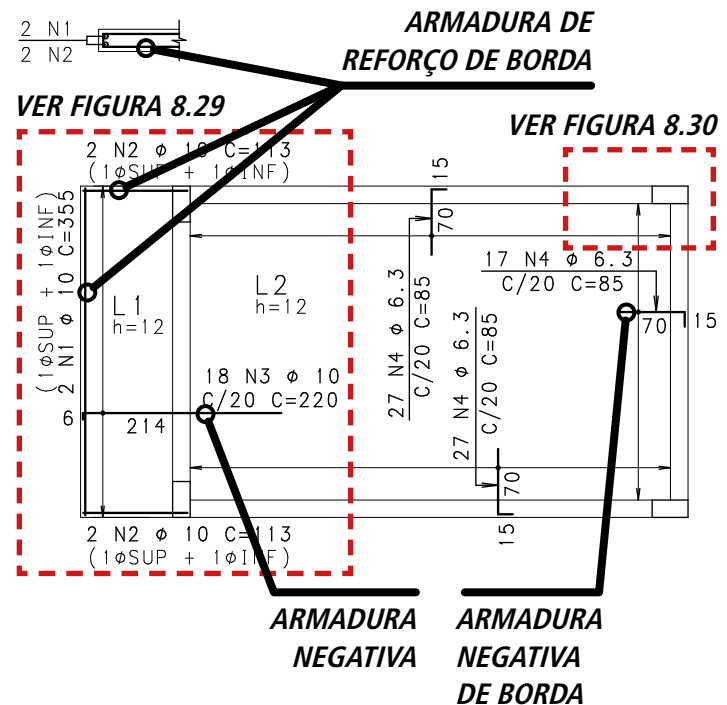


Figura 8.28

Projeto de armadura negativa da laje. Nota: exemplo apenas para fins de montagem. Para dimensionamento e detalhamento, consultar normas e bibliografias específicas.

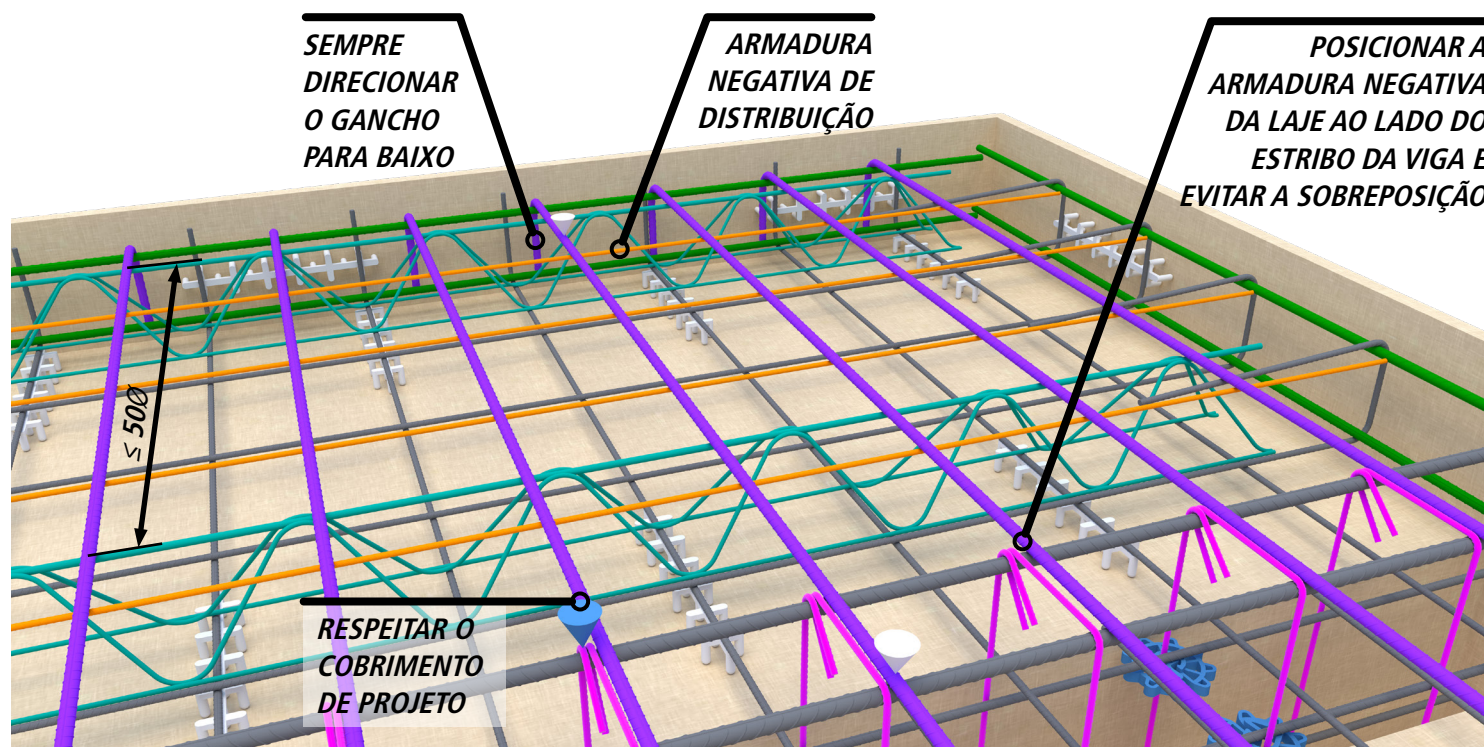


Figura 8.29

Posicionamento das armaduras negativas de laje em balanço com continuidade

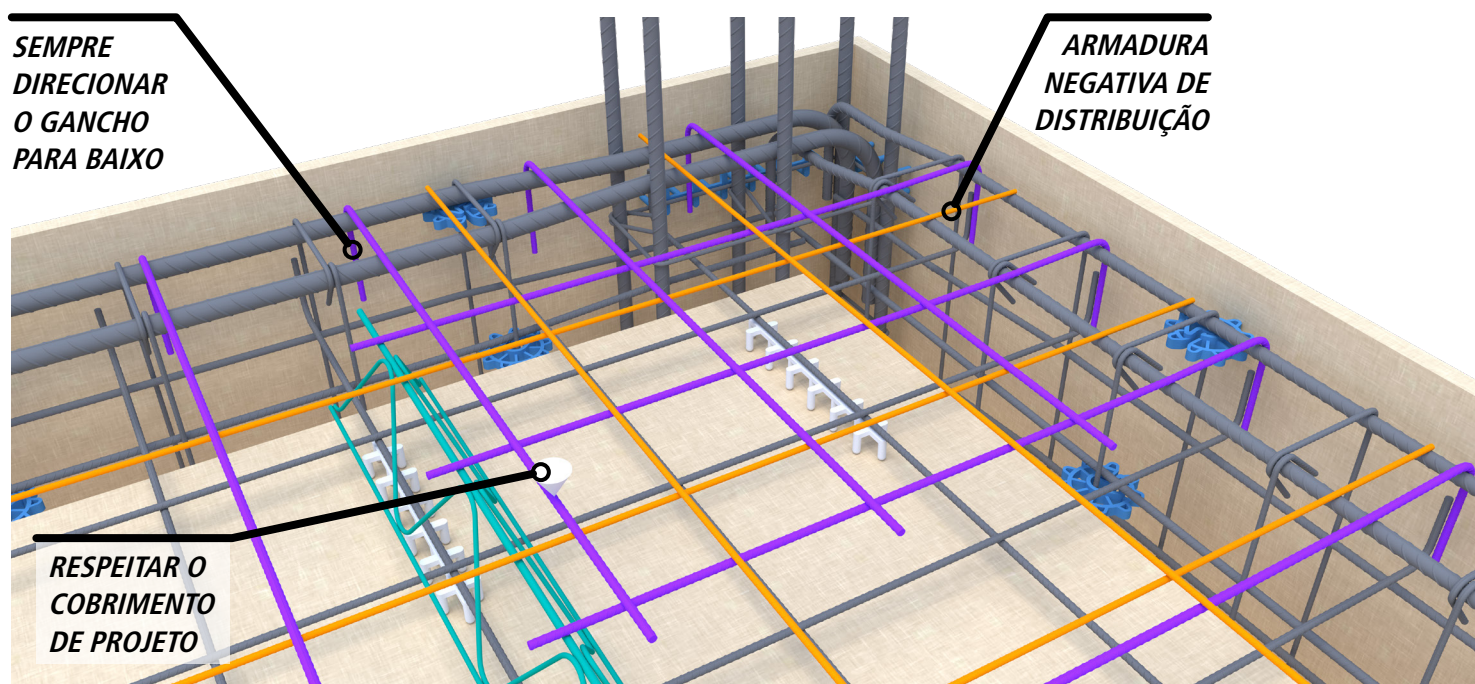


Figura 8.30

Posicionamento das armaduras negativas de borda

ARMADURAS NEGATIVAS EM TELA SOLDADA

INOVAÇÃO FRANÇA E ASSOCIADOS

O fenômeno da retração do concreto causa o encurtamento dos elementos estruturais. Existem diversos fatores que podem contribuir para o agravamento deste fenômeno, como a cura do concreto não realizada corretamente. Para minimizar o aparecimento de fissuras, recomenda-se o uso de tela soldada na parte superior da laje, sempre respeitando o cobrimento. Esta recomendação é indicada para lajes que não terão acabamento, como, por exemplo, em garagens cobertas.

É importante lembrar que a armadura negativa em tela soldada, quando posicionada corretamente, contribui para a diminuição das fissuras de retração, mas não evita o aparecimento das fissuras.

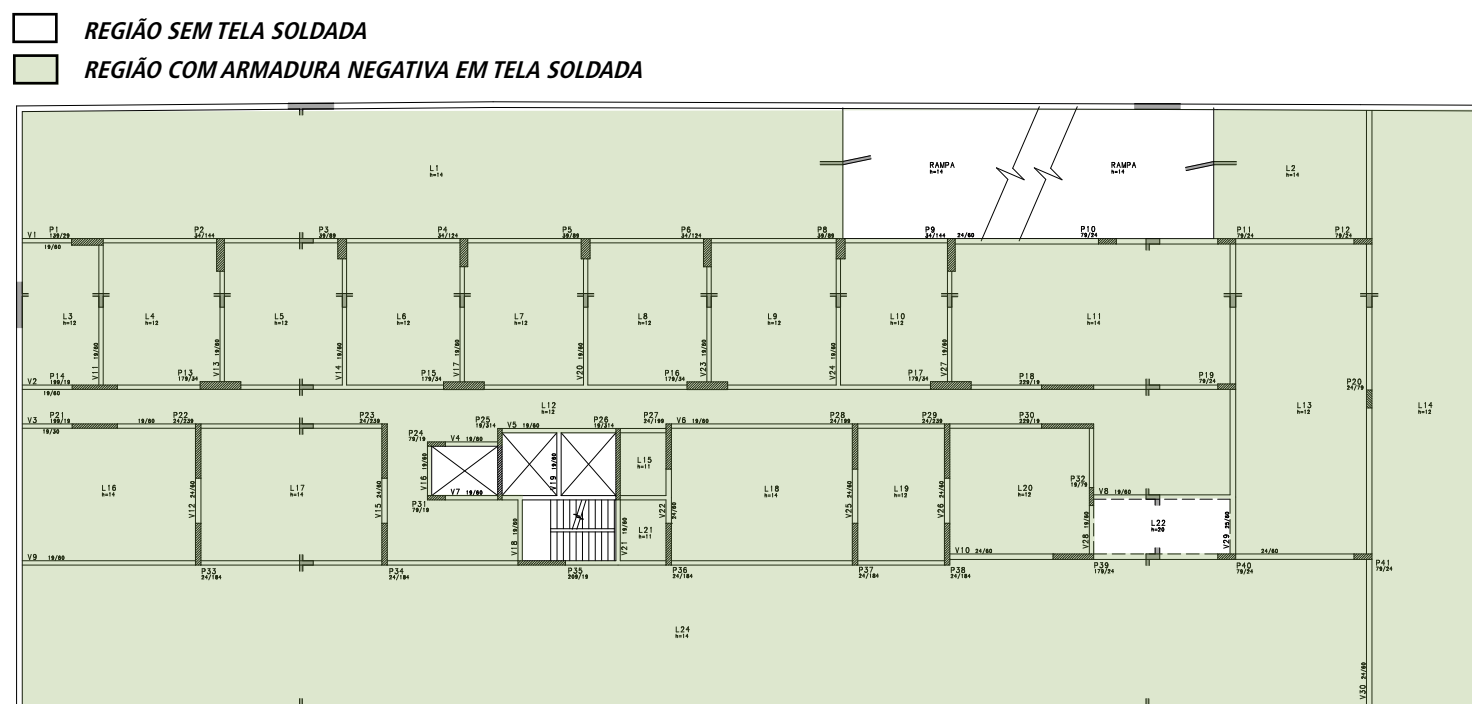


Figura 8.31

Exemplo da planta de fôrmas de uma estrutura fictícia com regiões com e sem armadura em tela soldada

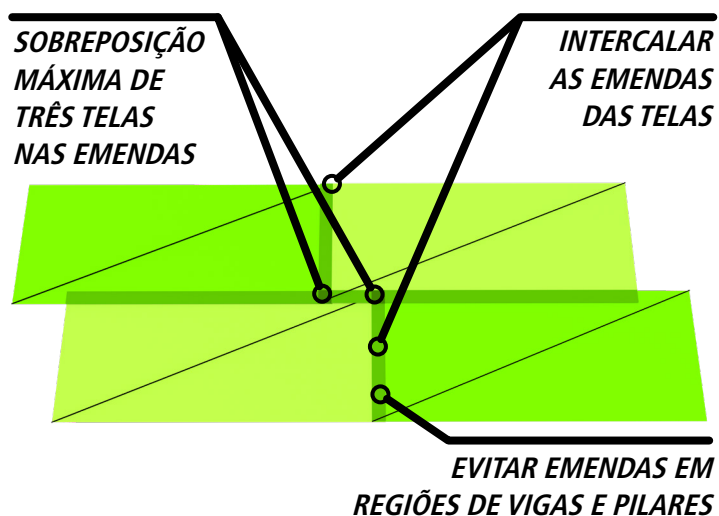


Figura 8.32
Posicionamento das emendas das telas

Dependendo da tela soldada escolhida, deve-se acrescentar a armadura negativa complementar para atender aos esforços (momento fletor negativo) de dimensionamento.

Nesta página, contemplam-se os detalhes sobre as emendas das telas soldadas. Caso a emenda fique maior que a recomendada na **Figura 8.33**, recomenda-se cortar a tela de forma que mantenha a emenda mínima.

As próximas páginas indicam como posicionar a armadura negativa em tela soldada e complementar.

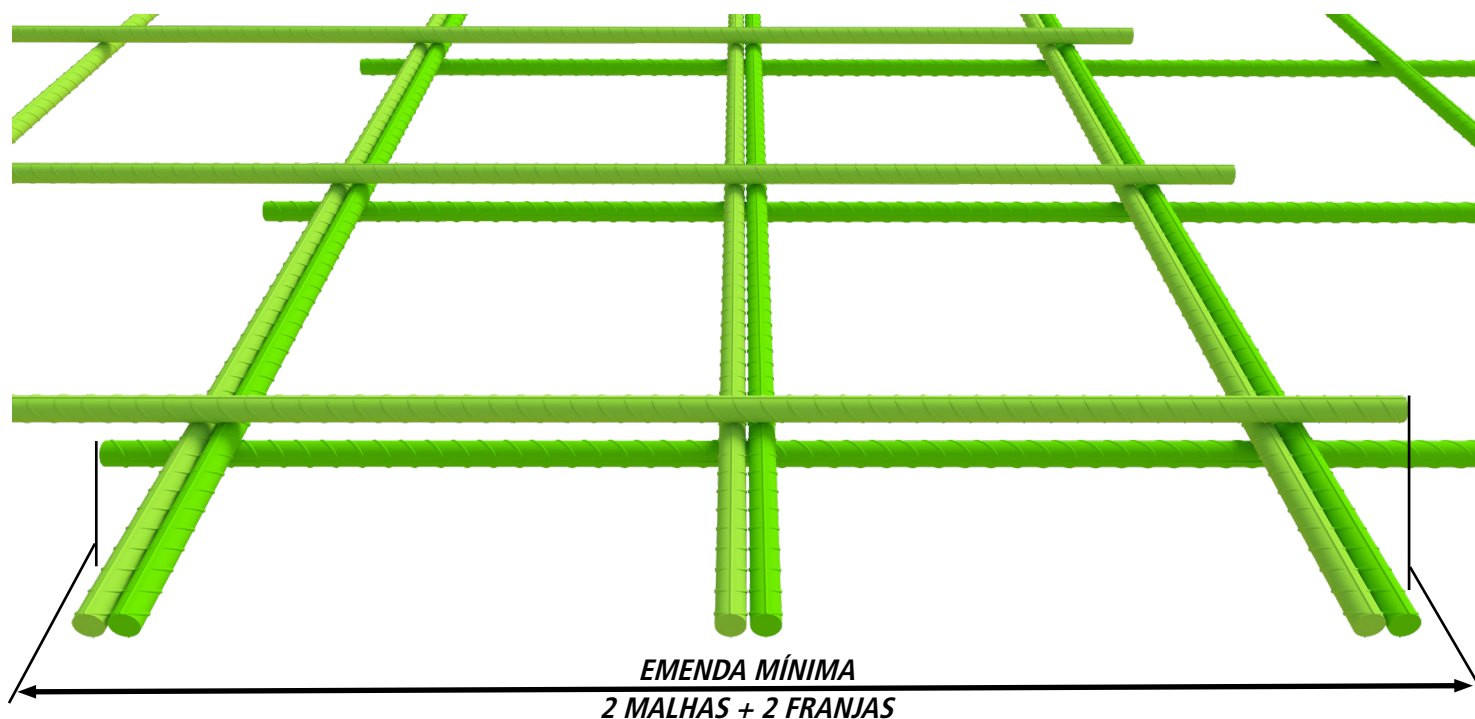


Figura 8.33
Detalhe das emendas

Visando sempre a produtividade na montagem da armadura, sugere-se, primeiro, o posicionamento da armadura negativa em tela soldada e, depois, o posicionamento da armadura negativa complementar. Dessa forma, possibilitam-se as possíveis correções de posicionamento da armadura negativa complementar. Essa sequência de montagem tem se mostrado eficiente na redução de fissuras de retração do concreto nas obras.

Nas **Figuras 8.34, 8.35, 8.37 e 8.38**, exemplifica-se a sequência de montagem da armadura negativa para situações comuns em projeto. Nas **Figuras 8.36 e 8.39**, mostram-se as situações finais da montagem.

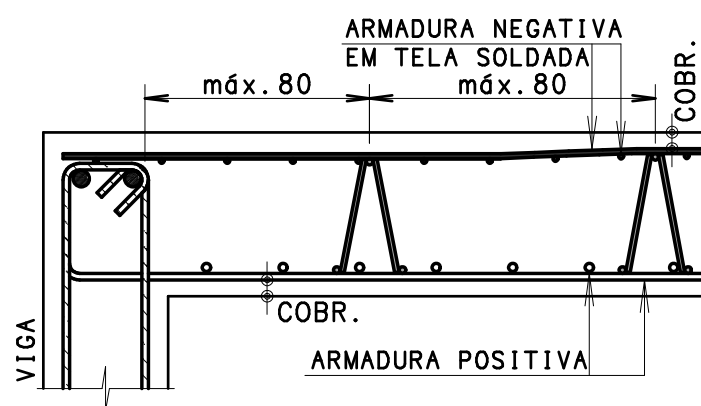


Figura 8.34

ETAPA 1 | Posicionamento da armadura negativa em tela soldada em apoio externo

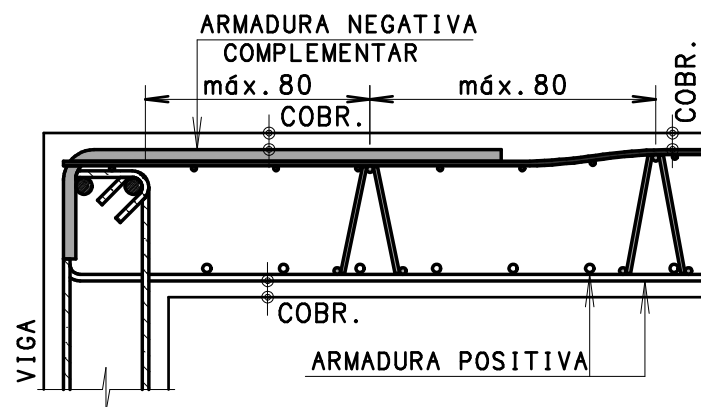


Figura 8.35

ETAPA 2 | Posicionamento da armadura negativa complementar em apoio externo



DETALHE

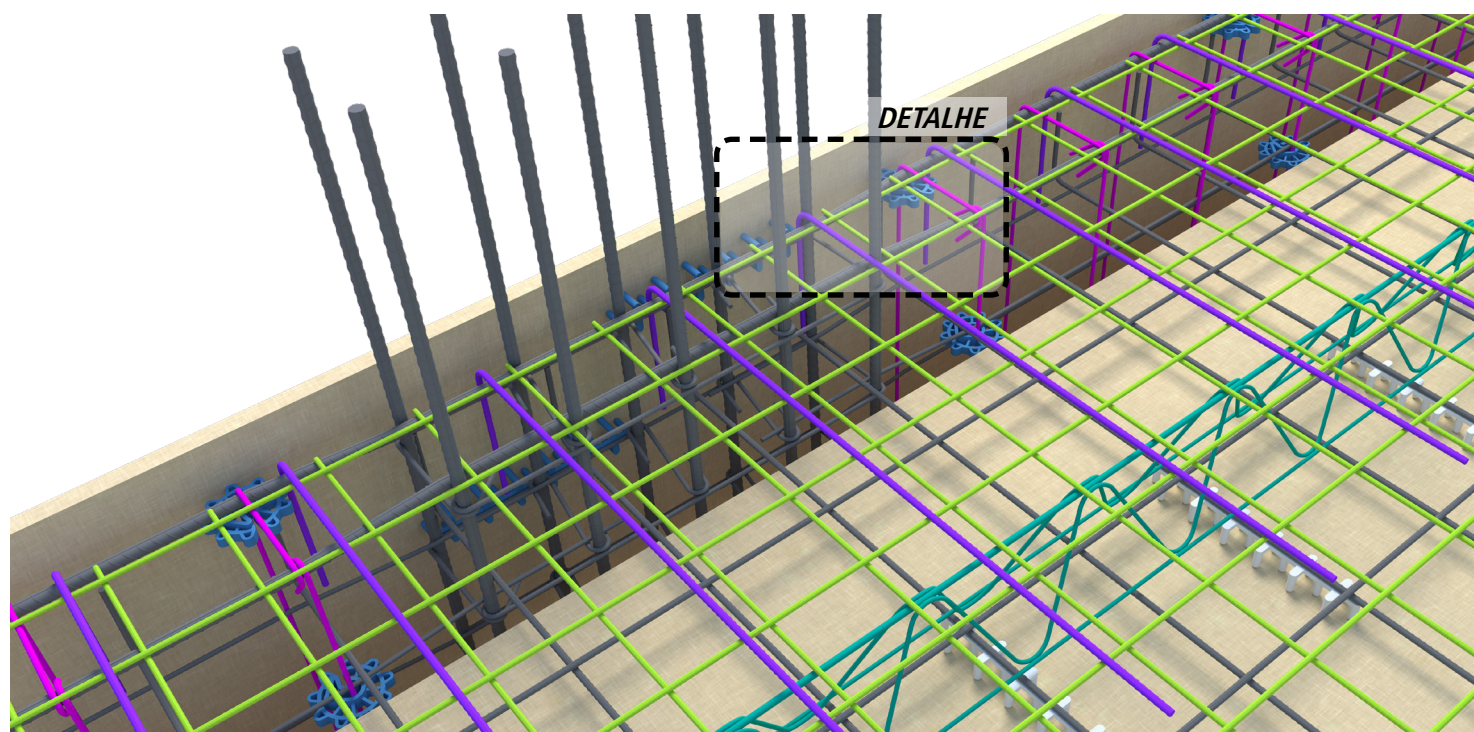


Figura 8.36
Situação final de montagem no encontro da laje com viga e pilar (apoio externo)

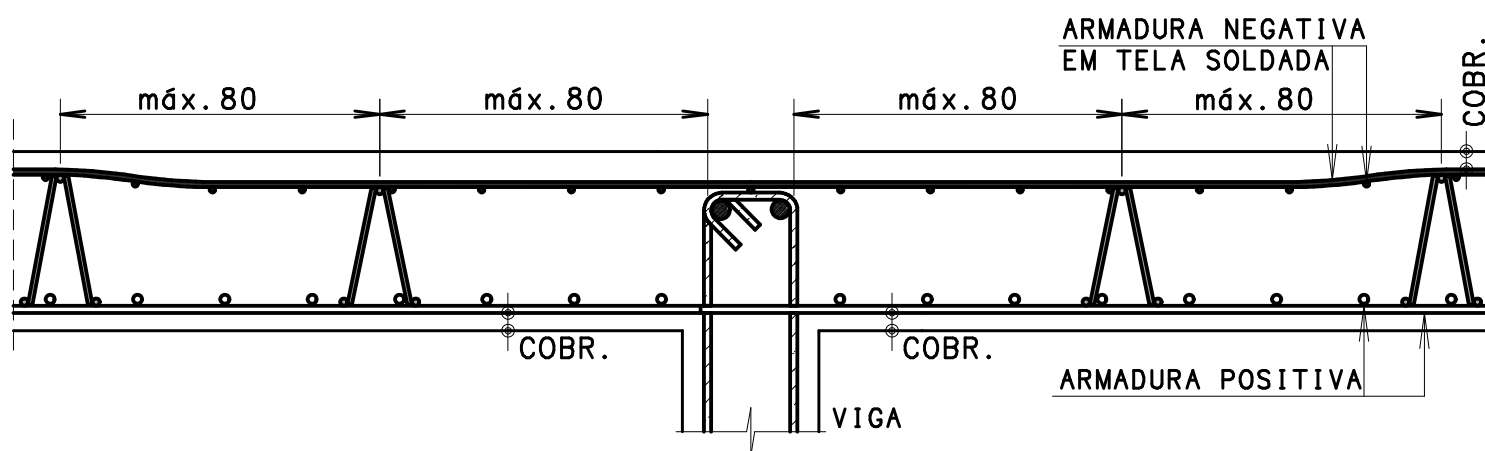


Figura 8.37
ETAPA 1 | Posicionamento da armadura negativa em tela soldada em apoio interno

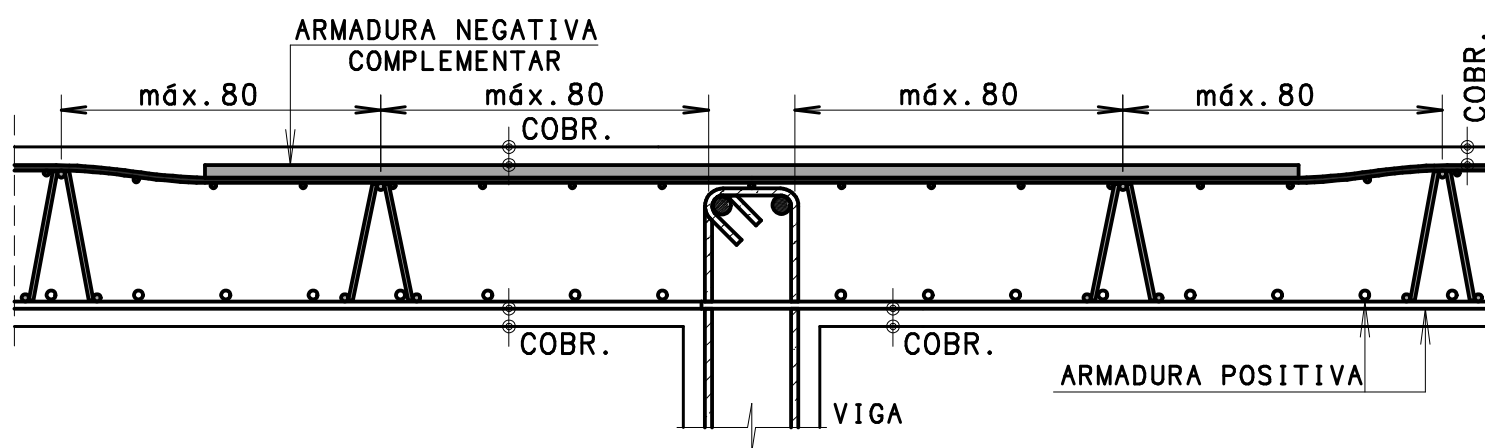
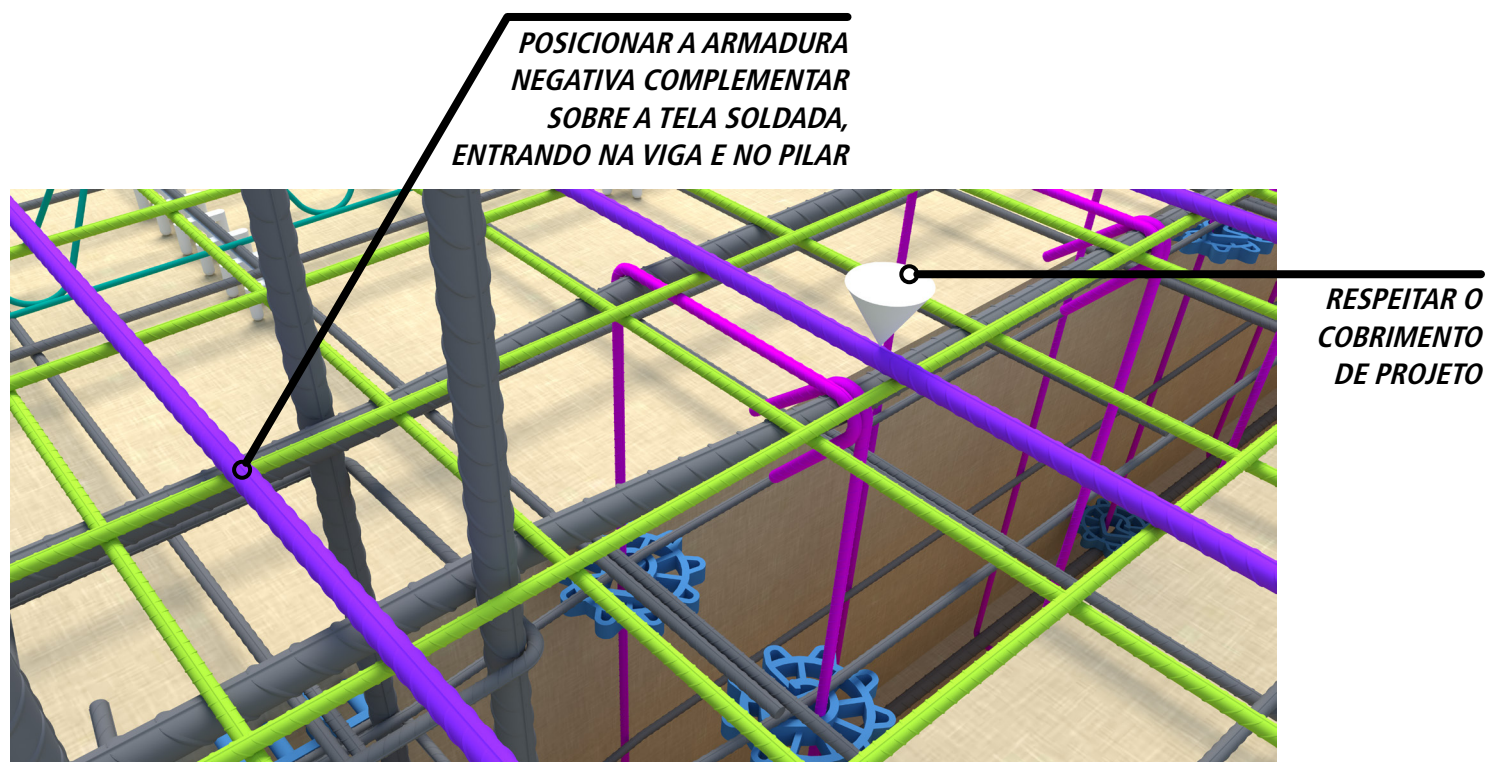


Figura 8.38
ETAPA 2 | Posicionamento da armadura negativa complementar em apoio interno



DETALHE

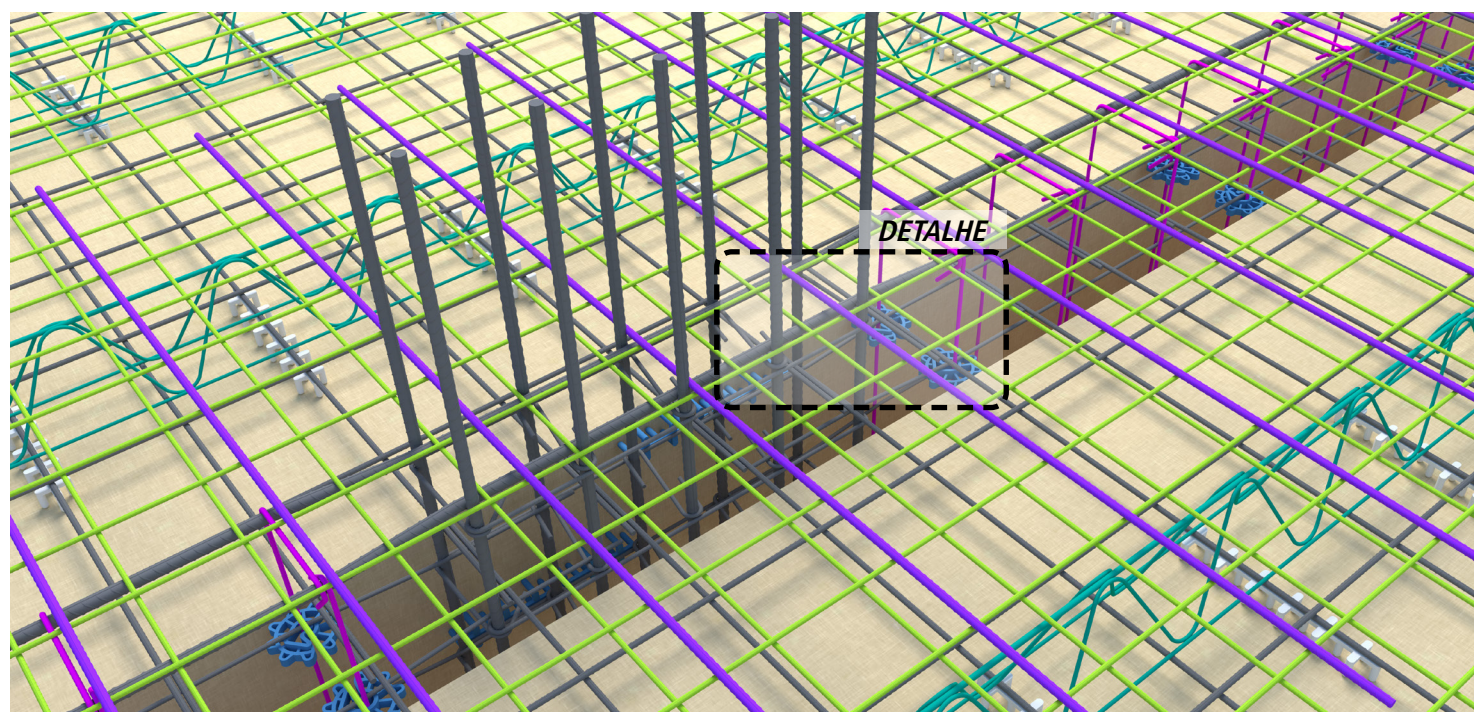


Figura 8.39
Situação final de montagem no encontro da laje com a viga e o pilar (apoio interno)

CAPÍTULO 9

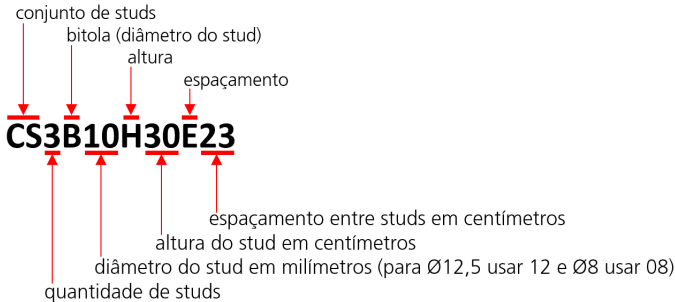
ARMADURAS DE LAJES-COGUMELO E LAJES LISAS

CONECTORES / STUDS

Conforme relata Nakajima et al. (2020), em lajes-cogumelo ou lajes lisas, há armaduras com finalidades distintas. Uma delas é a armadura de punção.

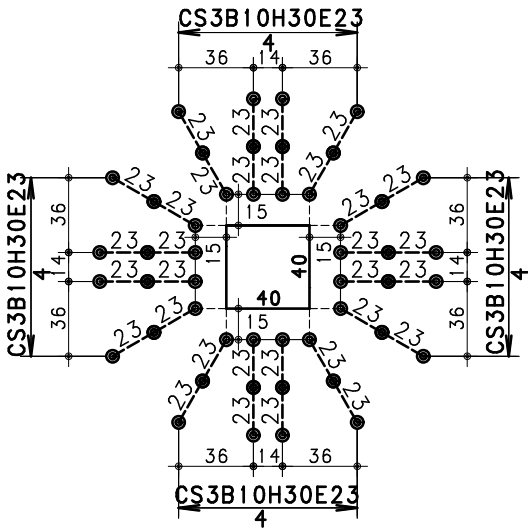
Existem múltiplos arranjos e formas de combater a punção, como o uso de vergalhões dobrados tipo cavalete, estribos fechados, estribos abertos e estribo tipo pente, mas estudos apontam que a armadura de punção que possui melhor eficiência devido a sua ancoragem mecânica é a que utiliza double-headed studs (conectores de dupla cabeça) ou stud rail (conectores com cabeça em uma das extremidades e chapa na outra) (**Figura 9.2**).

Para o correto desempenho destes conectores, é de extrema importância respeitar o posicionamento correto indicado em projeto (**Figura 9.1**). Os studs são nomeados conforme uma nomenclatura de especificação, de modo a facilitar a quantificação.

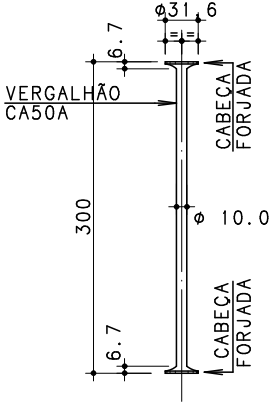


Os conectores possuem ligações em uma das extremidades para o posicionamento/distanciamento entre eles. Quando é realizada a montagem da laje-cogumelo ou laje lisa, podem-se colocar estas ligações dos conectores na face inferior ou superior da laje/capitel. No entanto, recomenda-se o posicionamento destas ligações na face inferior da laje/capitel, pois desta forma possibilita-se o controle do cobrimento e do correto posicionamento da armadura positiva da laje/capitel sobre a cabeça do conector (**Figura 9.3**).

P222 – PUNÇÃO – STUD
MEDIDAS EM CENTÍMETROS



DETALHE DO STUD
MEDIDAS EM MILÍMETROS



ESPECIFICAÇÃO	QUANT CS	QUANT STUD	BITOLA (mm)	ALTURA (cm)	ESP. (cm)
CS3B10H30E23	16	48	10	30	23

Figura 9.1
Projeto de armadura de combate a punção. Nota: exemplo apenas para fins de montagem. Para dimensionamento e detalhamento, consultar normas e bibliografias específicas.

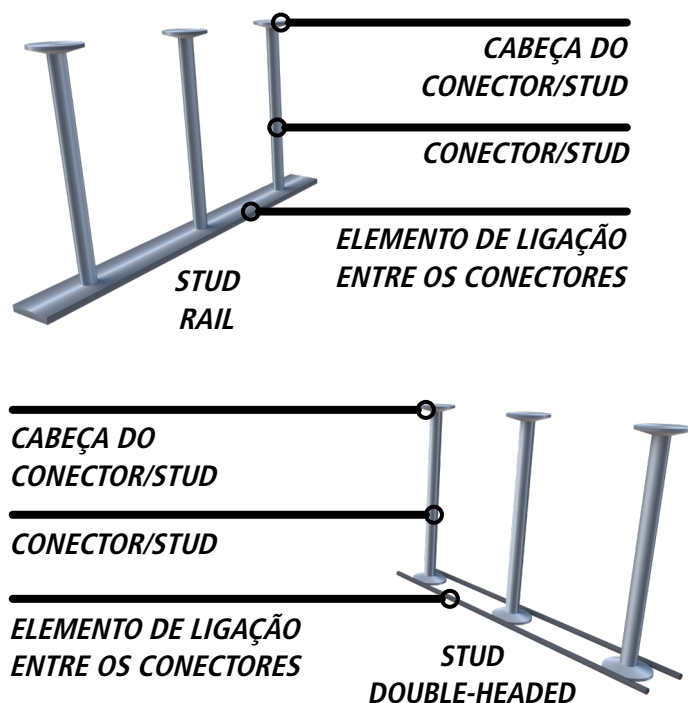


Figura 9.2
Tipos de conjuntos de studs (CS)

Já existem fornecedores no mercado que comercializam estes produtos. Caso os conjuntos de studs não sejam adquiridos por estes fornecedores, devem-se tomar os seguintes cuidados:

- As dimensões dos studs devem atender, no mínimo, o indicado no projeto estrutural (diâmetro, altura e largura das cabeças).
- O aço do stud deve ter no mínimo a resistência de cálculo de 300 MPa.
- A solda de ligação do stud com as cabeças deve ser executada ao redor de toda a barra, sem vazios.
- A solda deve ser verificada com ensaio de líquido penetrante (ABNT NBR 16450), a ser feito por laboratório especializado.
- É necessário ensaiar os studs em relação à ruptura. A carga deve ser aplicada nas cabeças e sem interferir com a solda. De acordo com *EAD 160003-00-0301*, a cabeça do stud deverá estar apoiada em um anel que possua 1,5 vez o diâmetro do conector. O objetivo é verificar se a ruptura ocorre na barra de aço do stud, e não na solda, nem na cabeça. O ensaio, a formação de lotes, a análise estatística, etc., devem seguir a norma *ABNT NBR ISO 6892-1*.

Recomenda-se que as dimensões dos conectores respeitem as indicações do relatório *ACI 421.1R-08*.

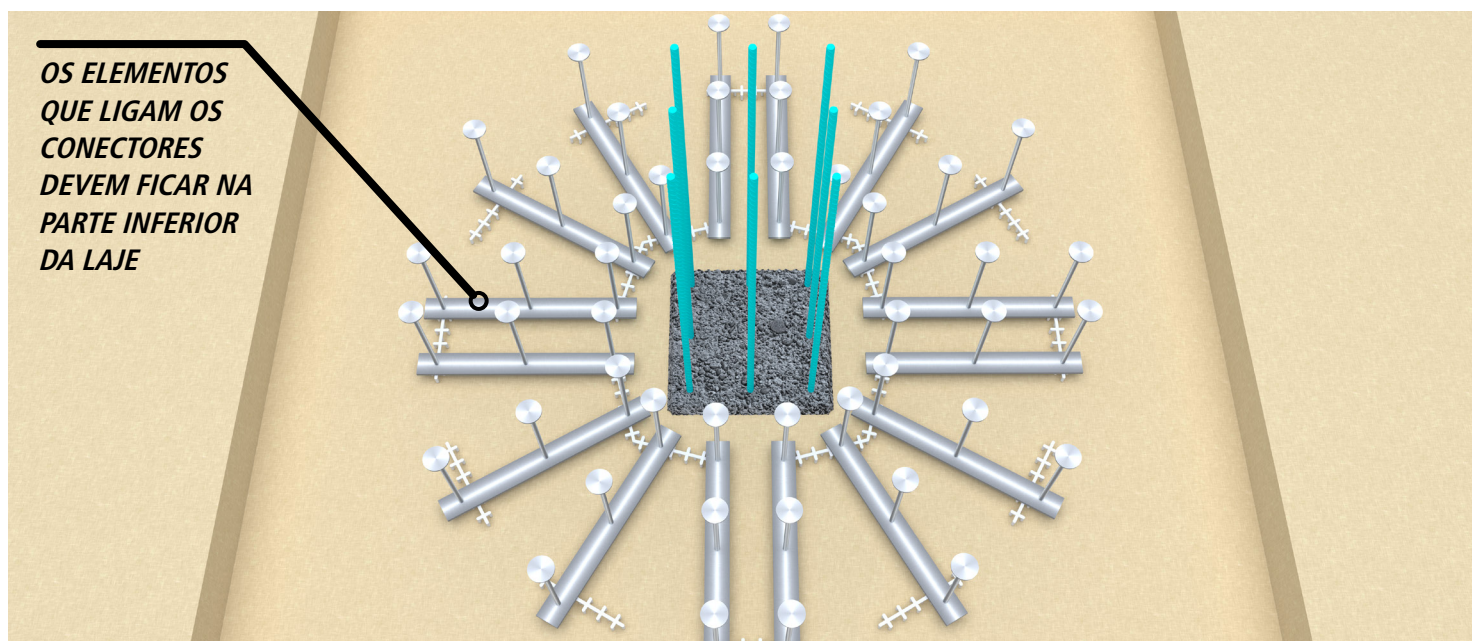


Figura 9.3
Posicionamento dos conjuntos de studs (CS)

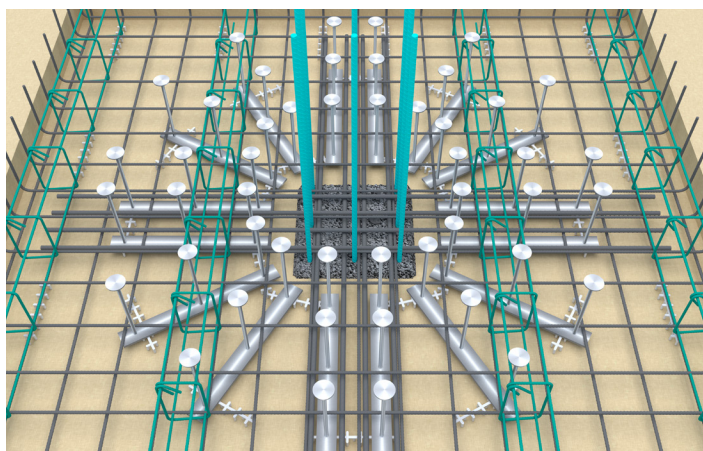


Figura 9.6
Detalhe do posicionamento das gaiolas

GAIOLAS PARA ARMADURA NEGATIVA

Em lajes ou capitéis que possuem altura superior a 35 cm ou com uma densidade alta da armadura negativa, sugere-se o uso de gaiolas para o posicionamento das armaduras negativas de lajes (**Figuras 9.6, 9.7 e 9.14**).

Estas gaiolas - com altura coerente - posicionam a armadura negativa no lugar correto, contribuindo para que elas funcionem em conjunto com os studs.

ASSIM COMO OS ESPAÇADORES TRELIÇADOS, AS GAIOLAS ESTÃO POSICIONADAS ENTRE A ARMADURA POSITIVA E A NEGATIVA DA LAJE

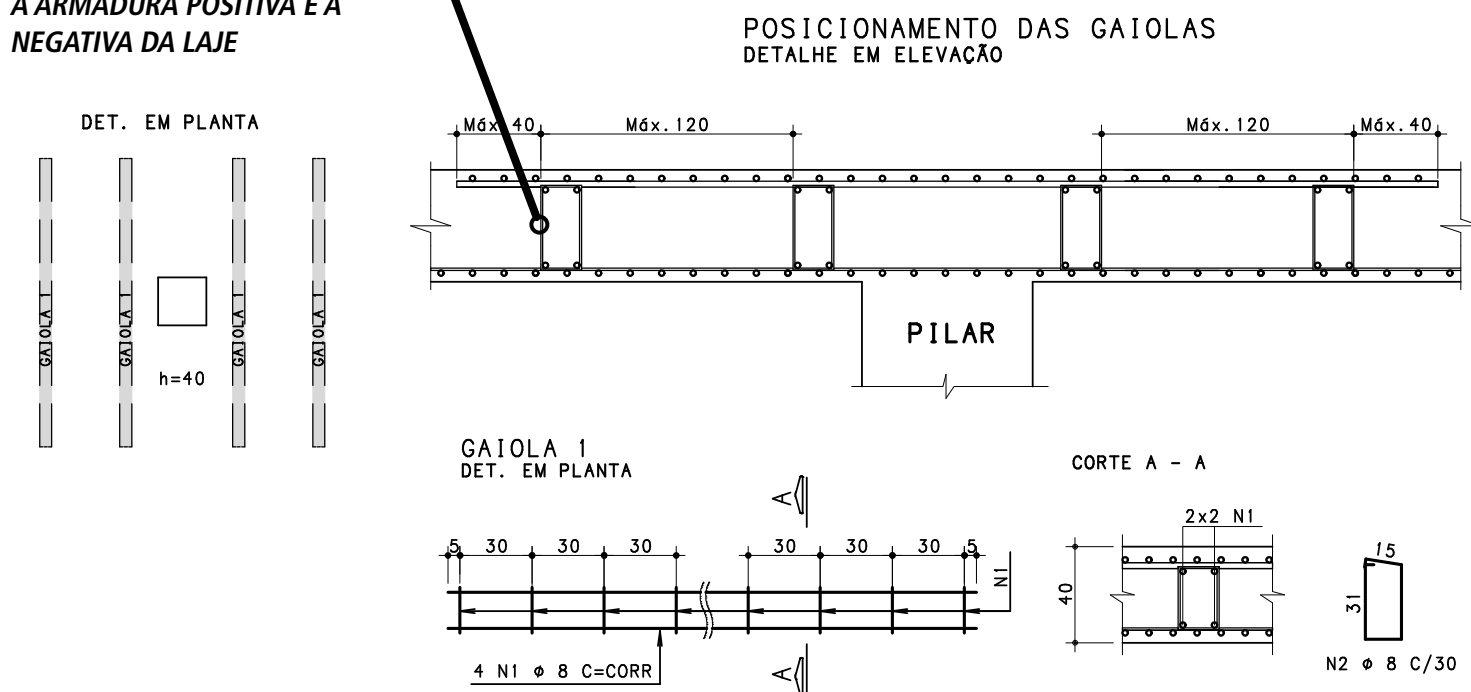


Figura 9.7
Detalhes das gaiolas

SEQUÊNCIA DE MONTAGEM DE LAJES-COGUMELO

Nas páginas a seguir (**Figuras 9.8 a 9.19**), é possível conferir a sequência de montagem das armaduras na região de encontro laje/capitel com o pilar.

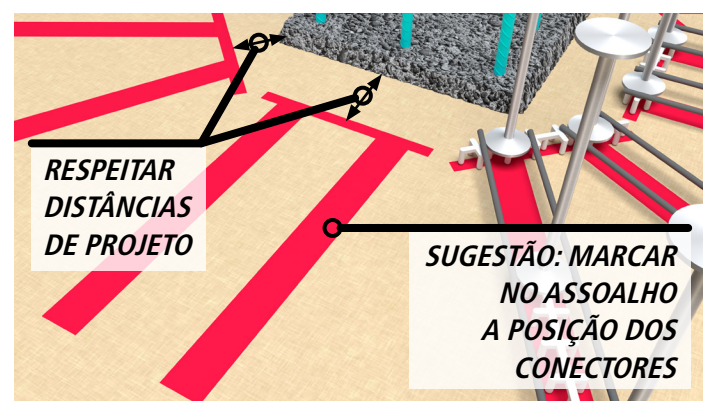


Figura 9.8

Sugestão inicial: marcar a posição dos conectores no assoalho antes do posicionamento

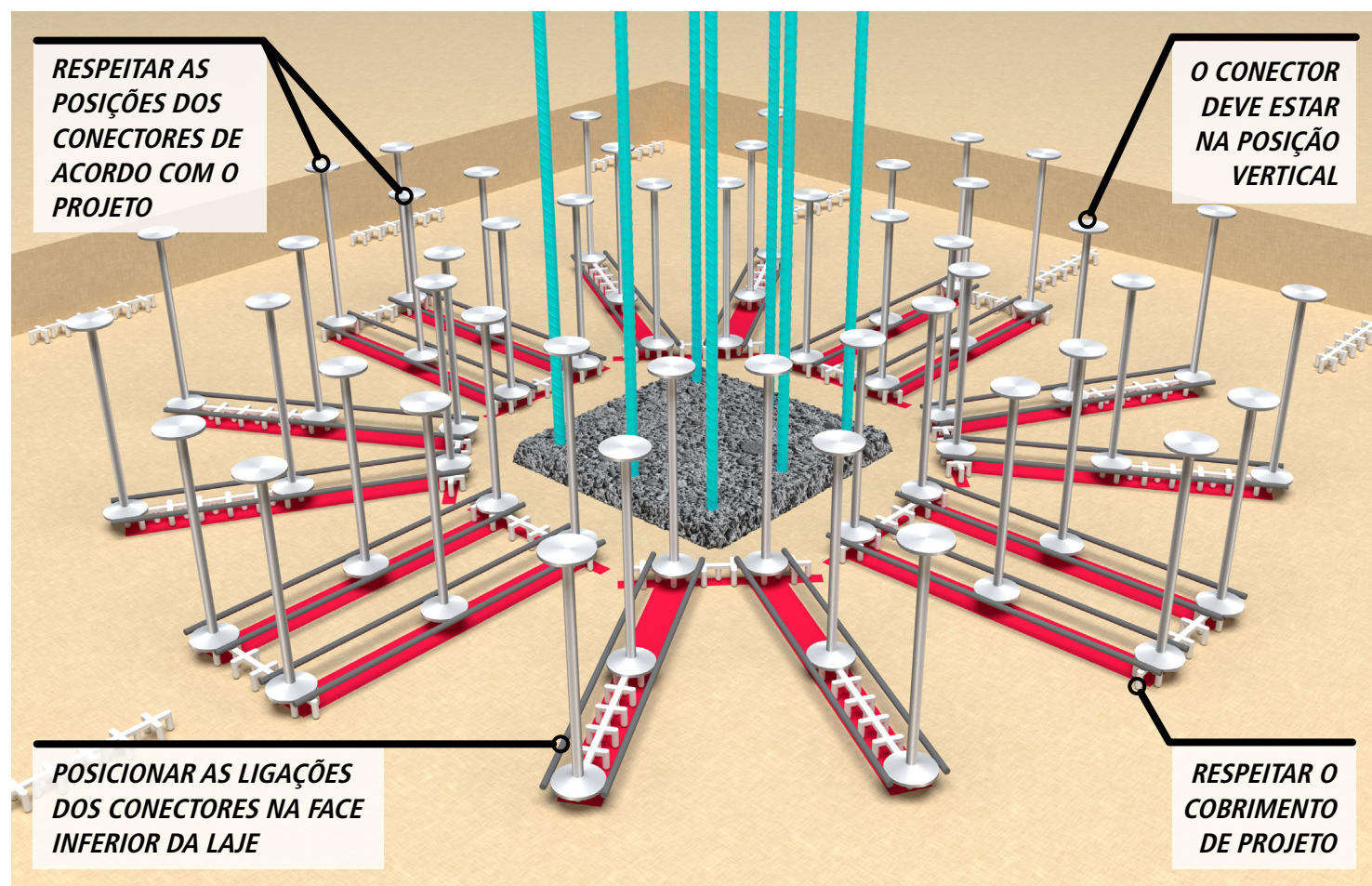


Figura 9.9

ETAPA 1 | Posicionamento dos conjuntos de studs (CS)

DETALHE

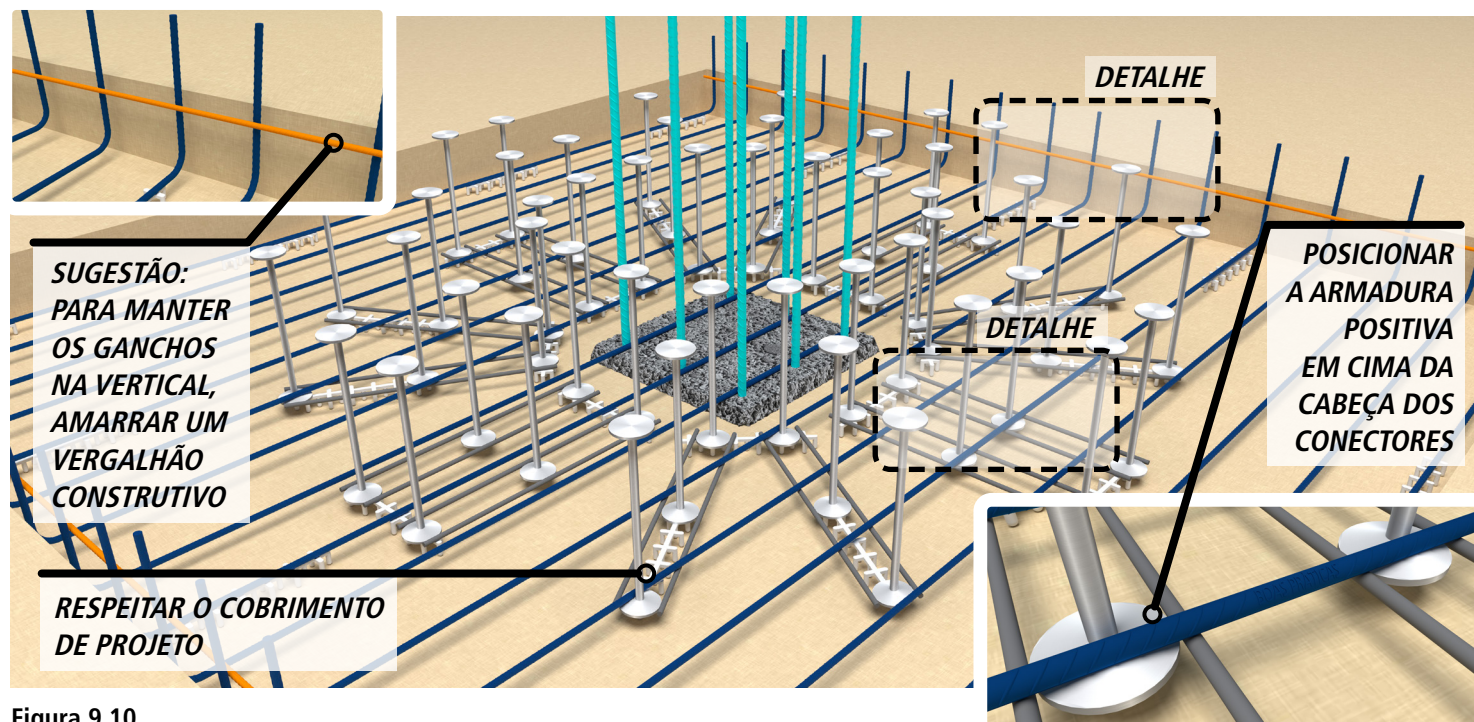


Figura 9.10

ETAPA 2 | Posicionamento das armaduras positivas da direção A do capitel

DETALHE

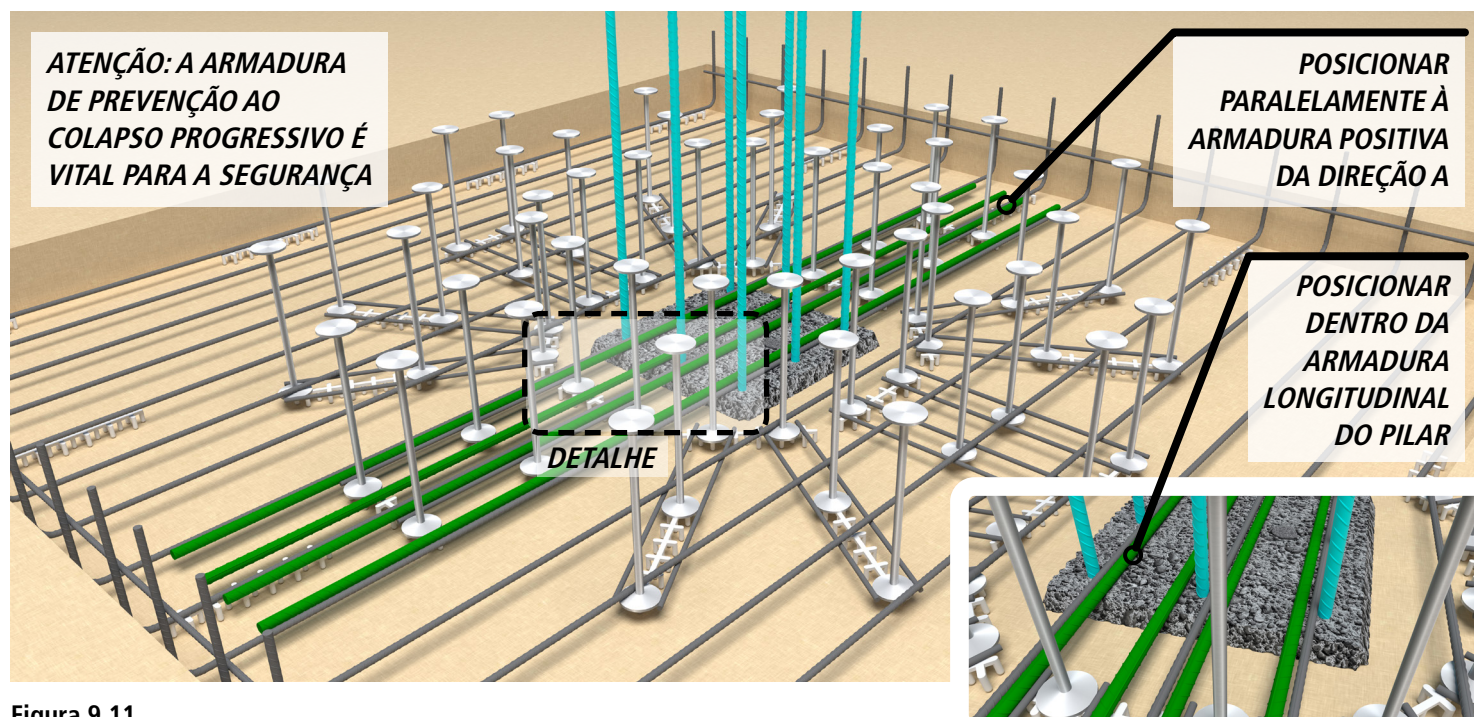


Figura 9.11

ETAPA 3 | Posicionamento das armaduras contra colapso progressivo da direção A

DETALHE

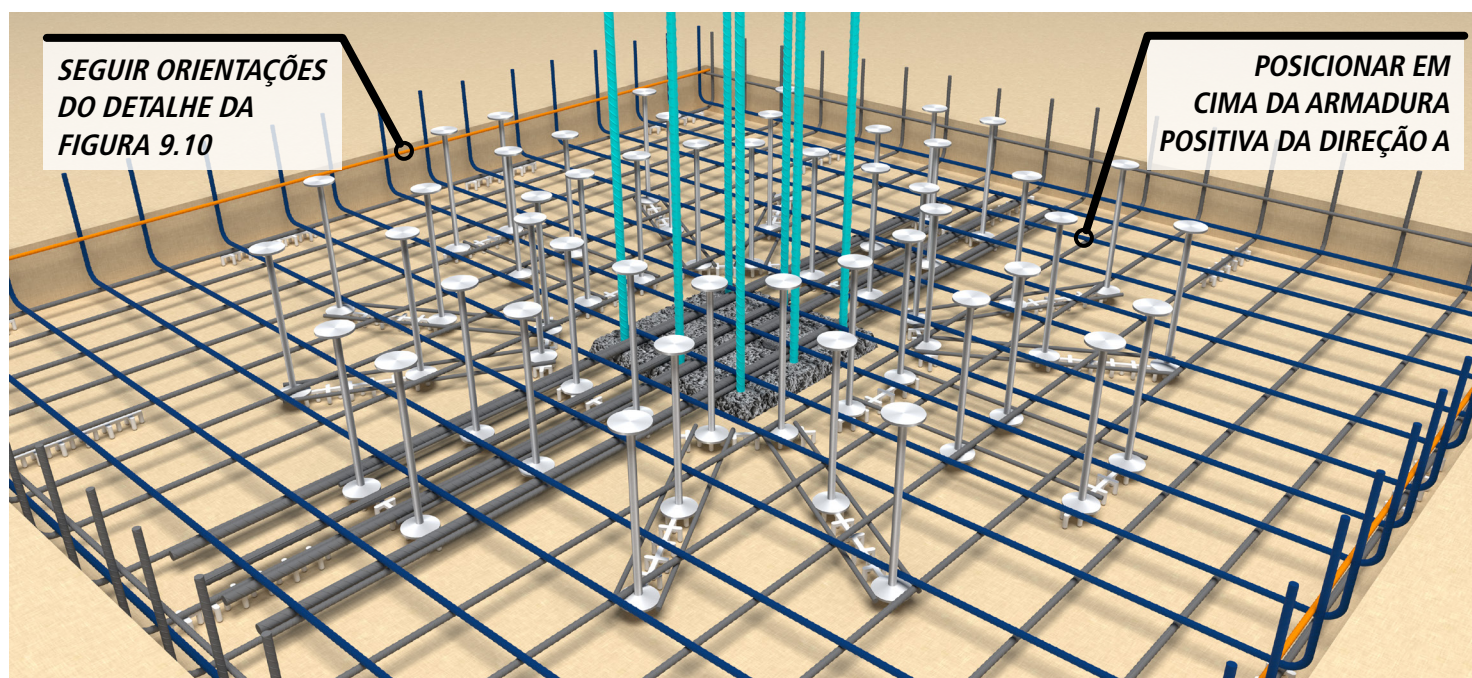


Figura 9.12
ETAPA 4 | Posicionamento das armaduras positivas da direção B do capitel

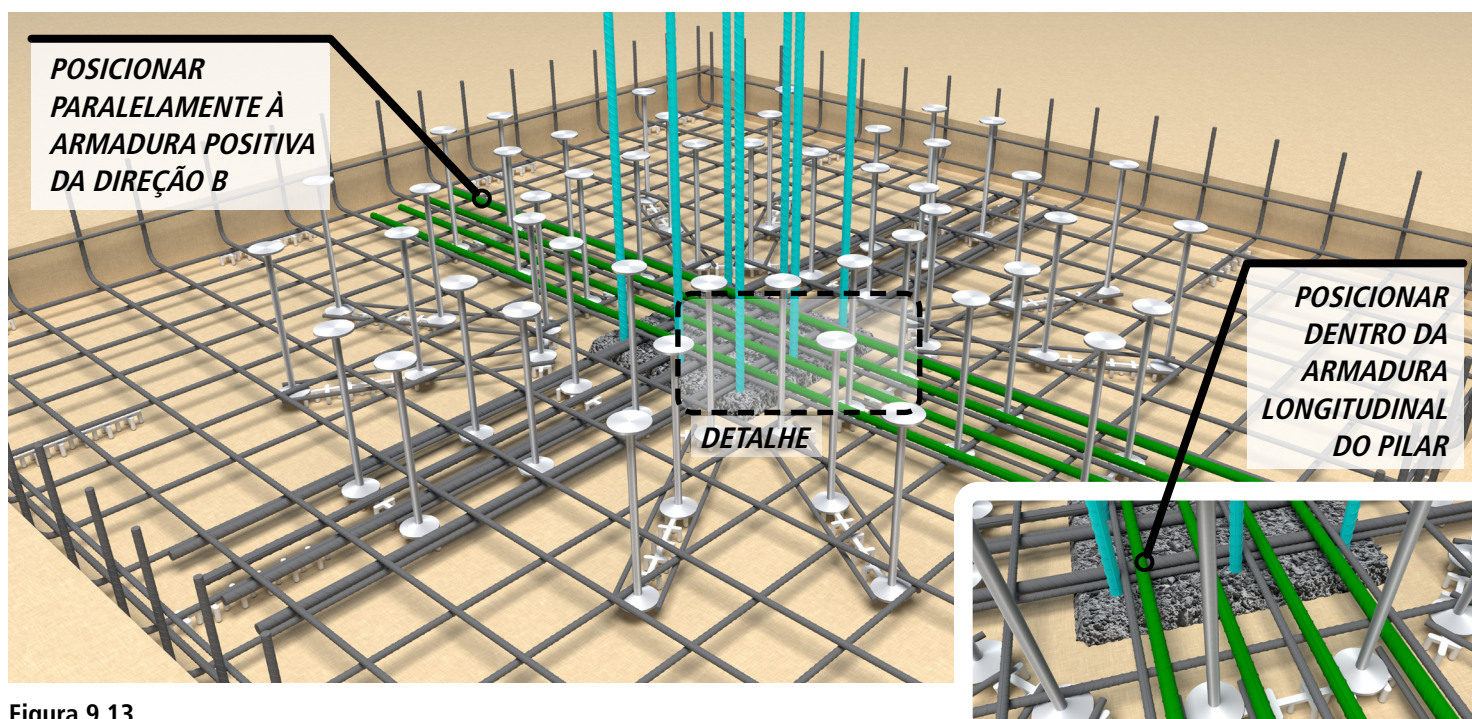


Figura 9.13
ETAPA 5 | Posicionamento das armaduras contra colapso progressivo da direção B

DETALHE

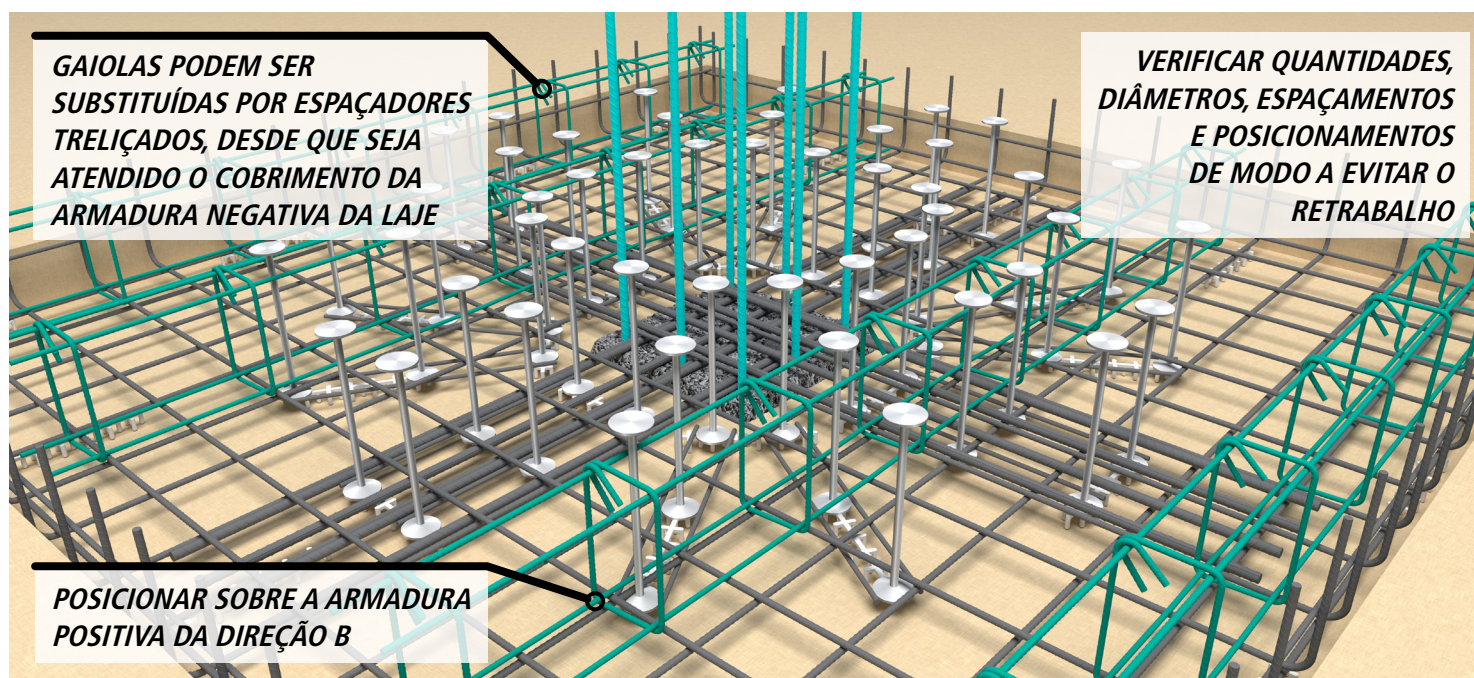


Figura 9.14

ETAPA 6 | Posicionamento das gaiolas para o correto posicionamento da armadura negativa

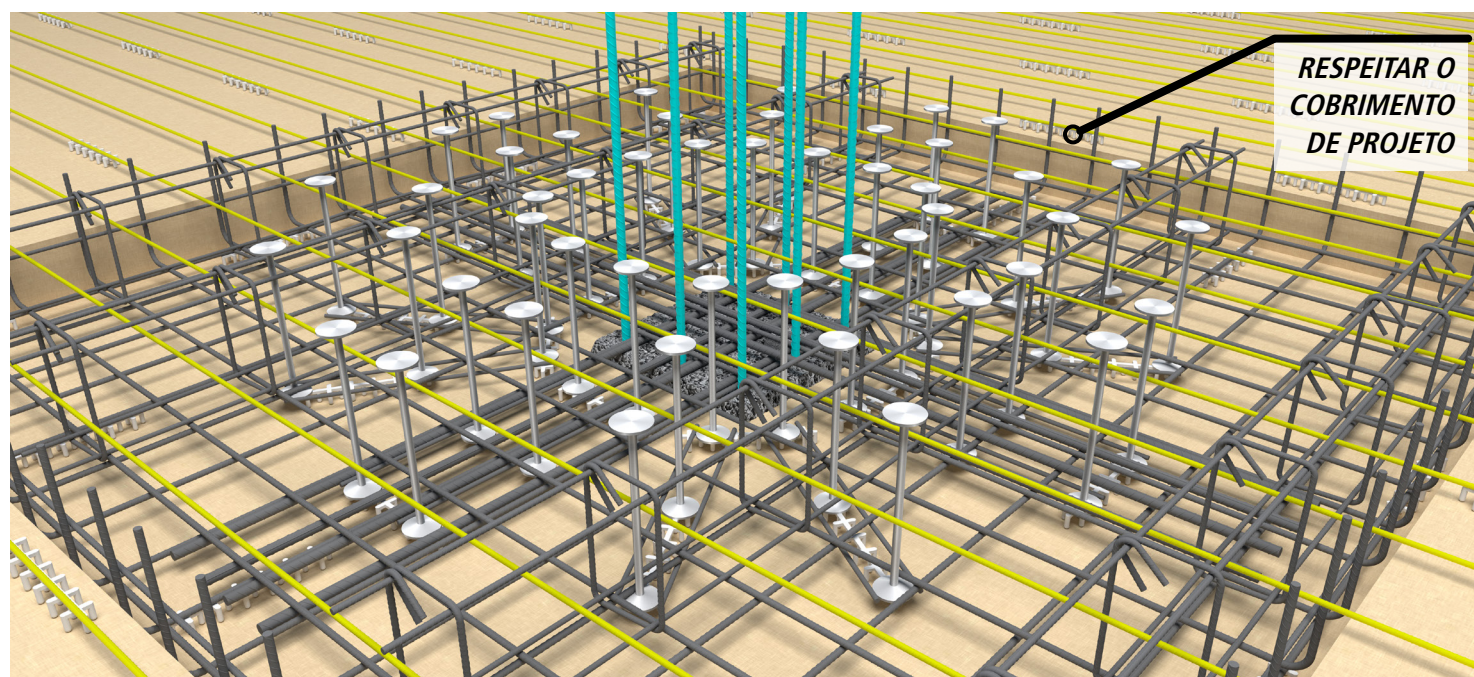


Figura 9.15

ETAPA 7 | Posicionamento das armaduras positivas da direção A da laje

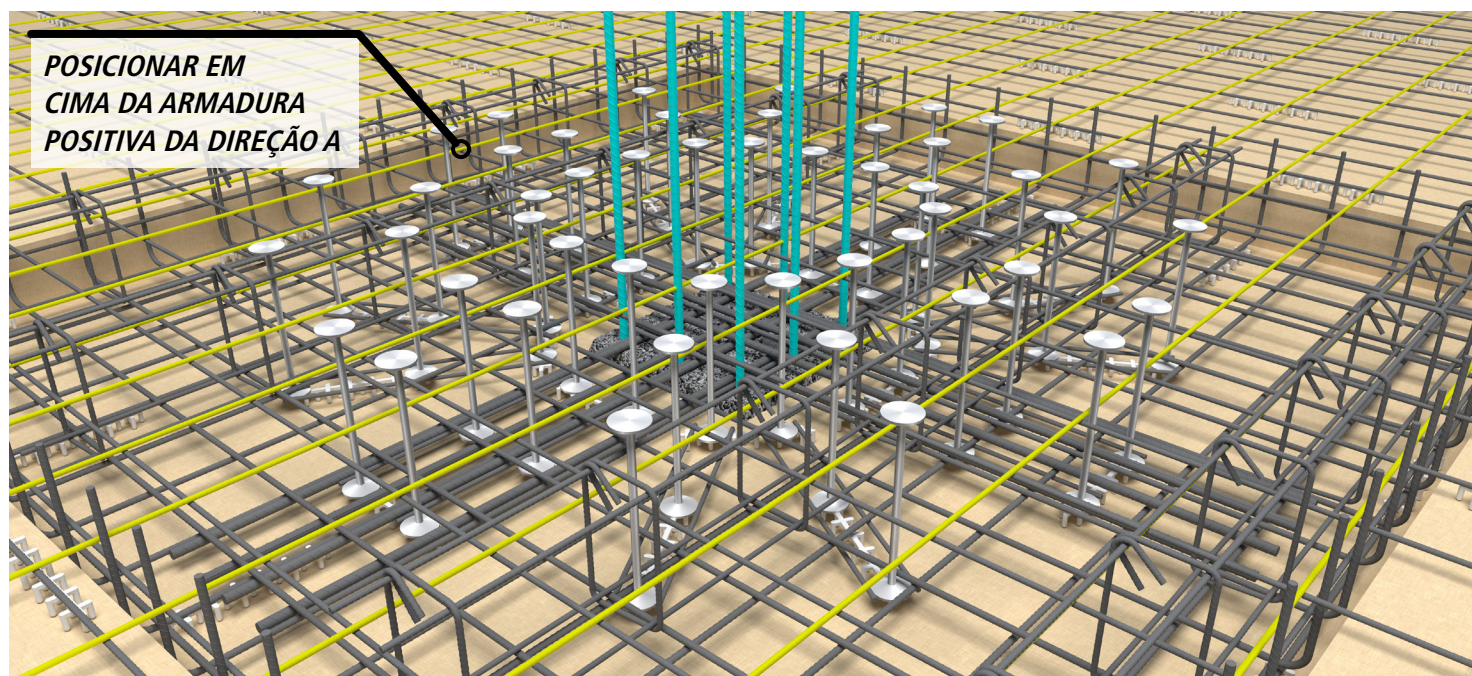


Figura 9.16
ETAPA 8 | Posicionamento das armaduras positivas da direção B da laje

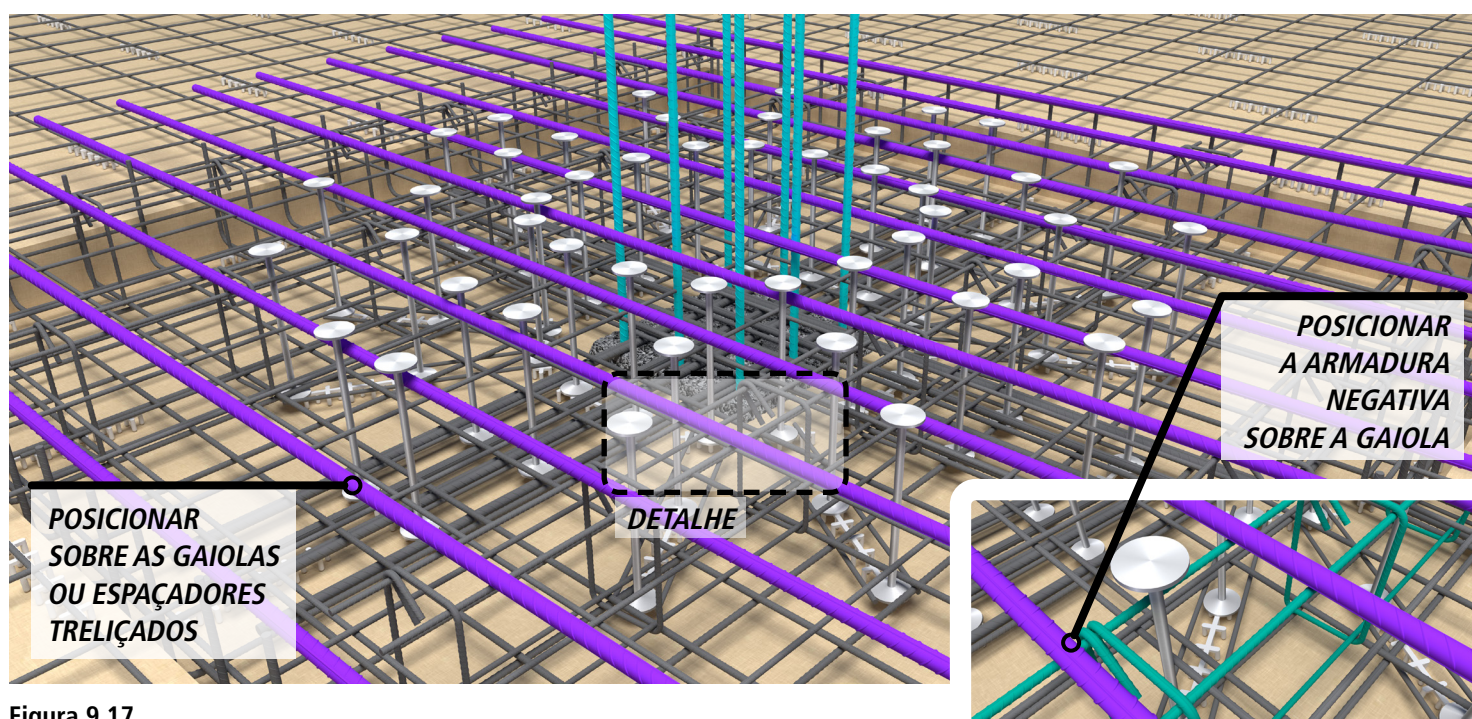
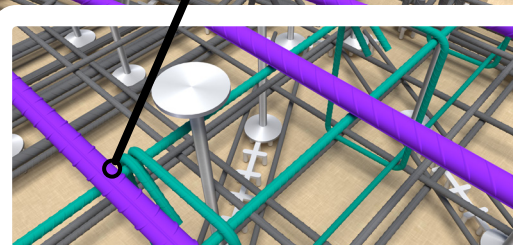
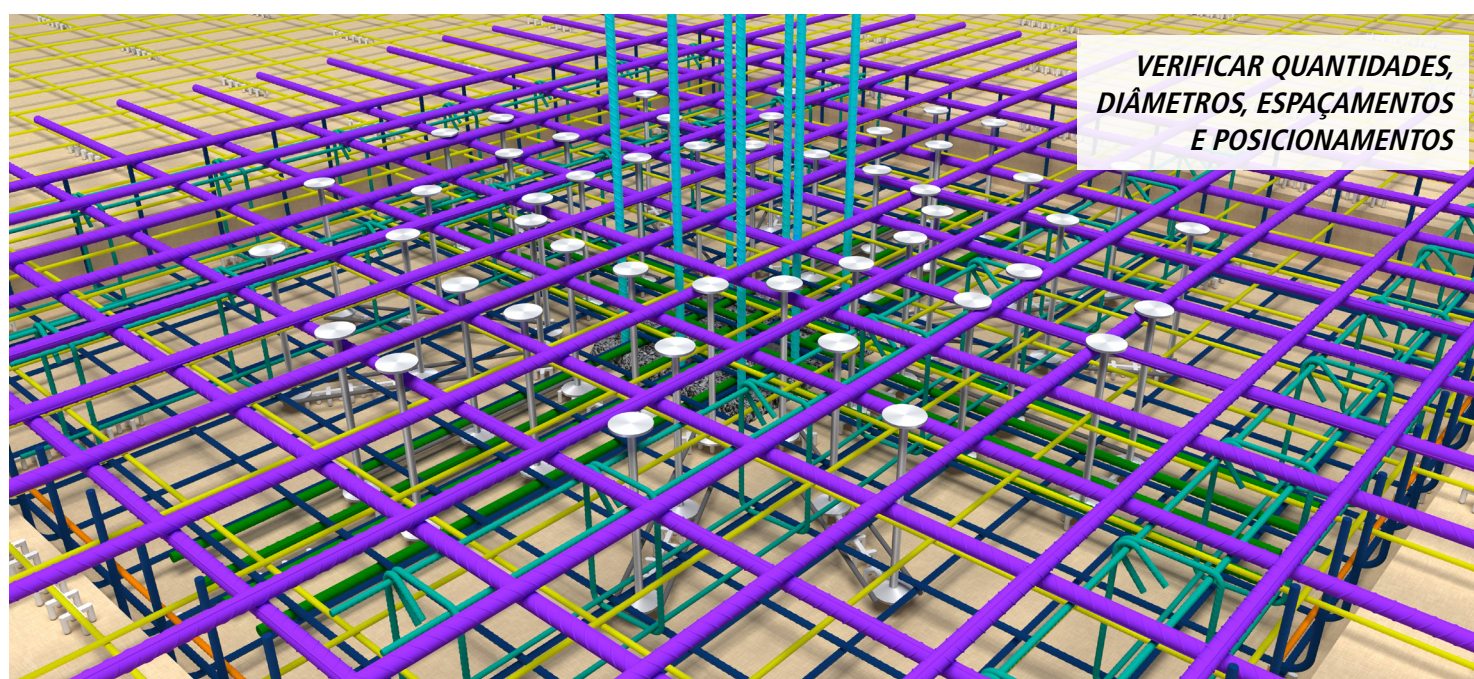
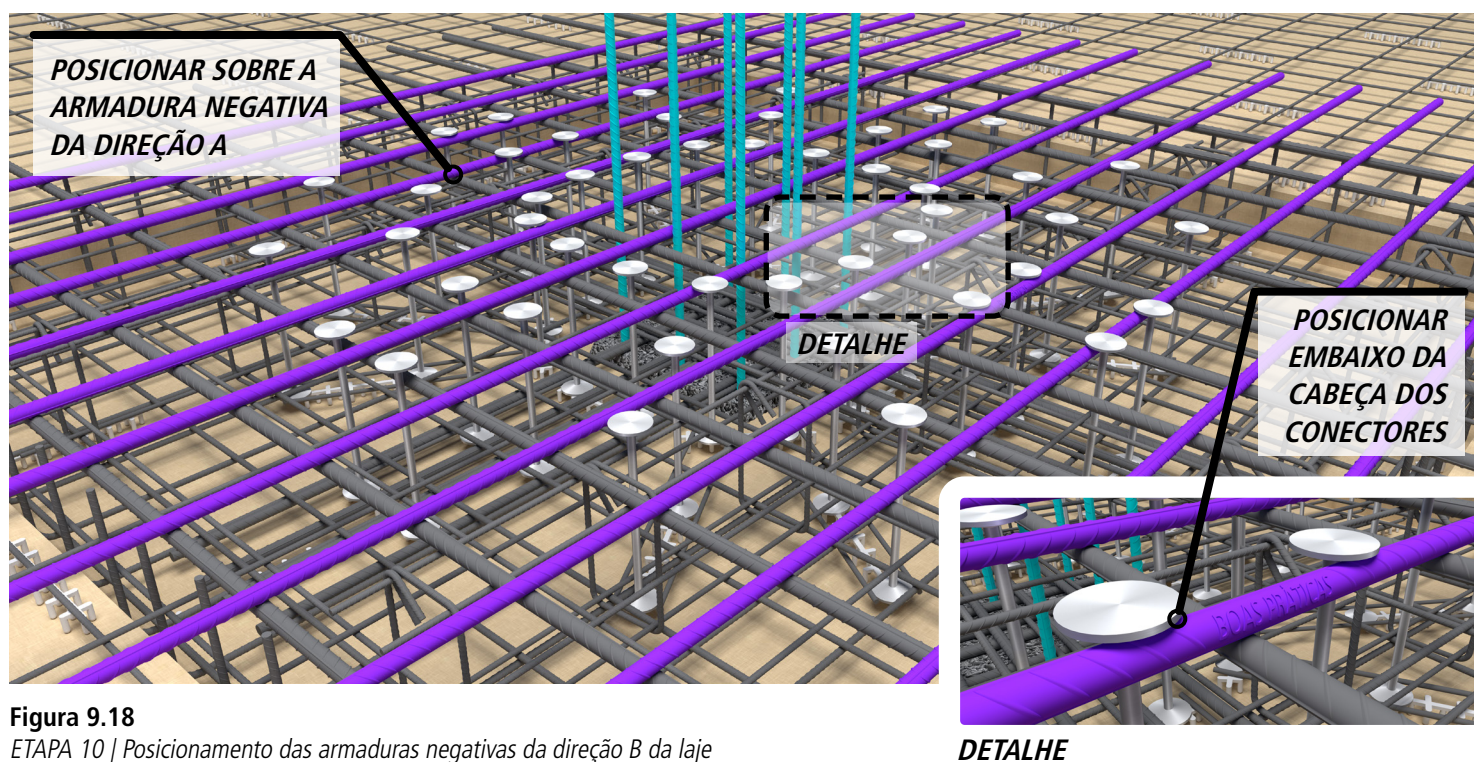


Figura 9.17
ETAPA 9 | Posicionamento das armaduras negativas da direção A da laje



DETALHE



CAPÍTULO 10

ARMADURAS DE CORTINAS

Existem diversos elementos estruturais de concreto armado utilizados para conter o solo em edificações, como:

- as cortinas moldadas *in loco*;
- as cortinas com perfil metálico incorporado;
- as paredes diafragma;
- os muros de alvenaria;
- os muros em L ou com contrafortes.

Estes elementos estruturais recebem o empuxo do solo, sofrendo, basicamente, esforços de flexão.

Neste capítulo, foca-se no detalhamento das cortinas moldadas *in loco*. Para que estas cortinas sejam executadas, é necessária a retirada do solo, que será contido posteriormente, seguida do uso de fôrmas em todas as faces da cortina – tanto do lado interno quanto do lado em que haverá solo. Executada a cortina e retiradas as fôrmas, é realizado o reaterramento.

Como esta cortina é travada pelos pavimentos estruturados, as forças horizontais decorrentes dos empuxos são transmitidas pelas lajes e vigas aos elementos de contraventamento ou equilibrados por outra cortina no lado oposto.

Demonstra-se aqui o detalhamento de uma cortina moldada *in loco* de um lance, travada por uma viga horizontal (VH) e pelo pavimento estruturado (**Figura 10.1**). As dimensões apresentadas na **Figura 10.1** são apenas ilustrativas e podem variar para cada caso.

Deve-se validar com o consultor de solos se os elementos de fundação absorvem os esforços da viga horizontal (VH).

CORTINA MOLDADA *IN LOCO*

Não existe um padrão de detalhamento para este tipo de cortina, mas existem pontos de posicionamento que devem ser respeitados para manter-se a conformidade com o dimensionamento.

A sequência executiva de posicionamento das armaduras deste tipo de cortina pode ser observada nas **Figuras 10.2 a 10.10** a seguir.

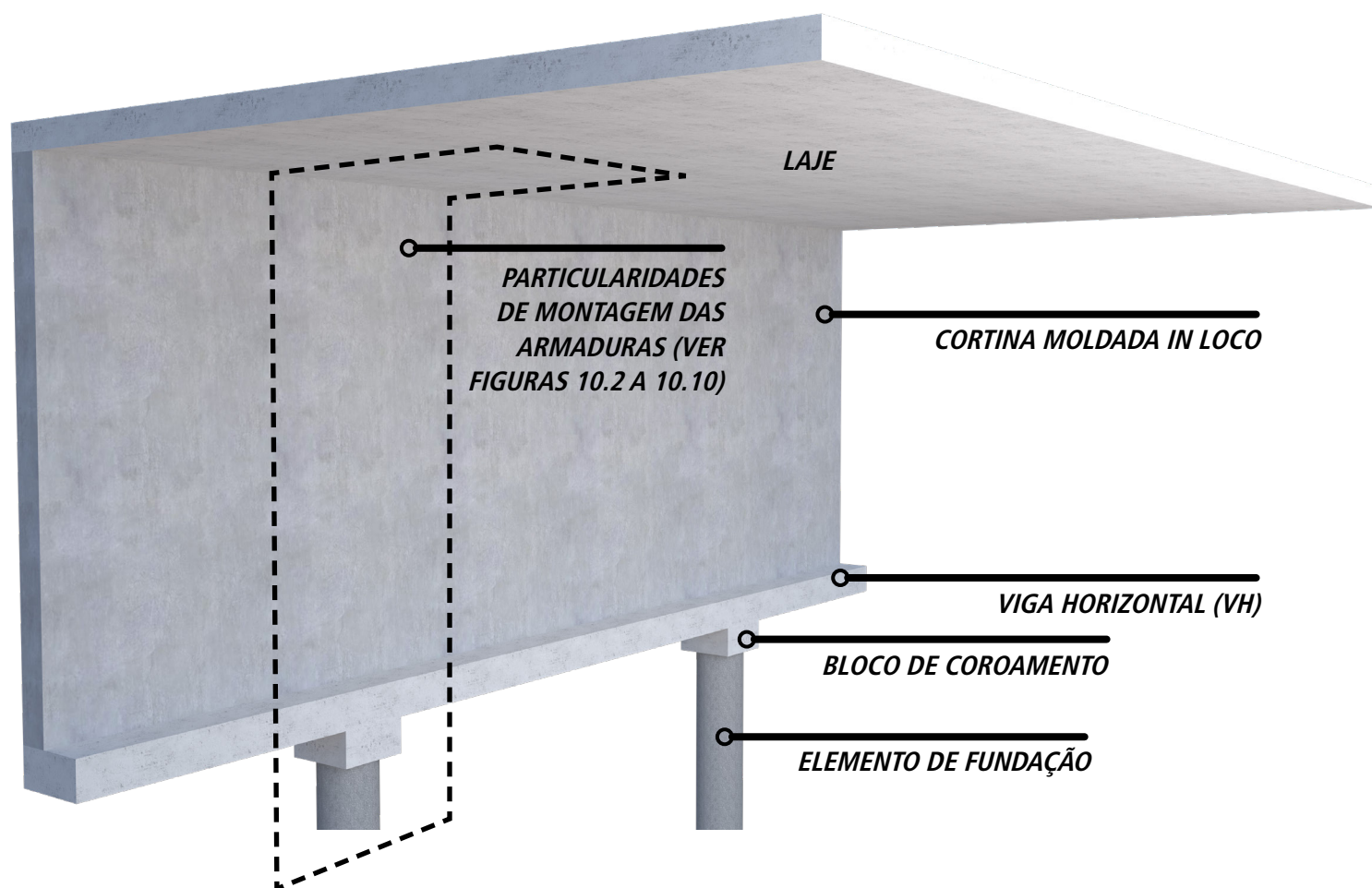


Figura 10.1
Cortina moldada in loco

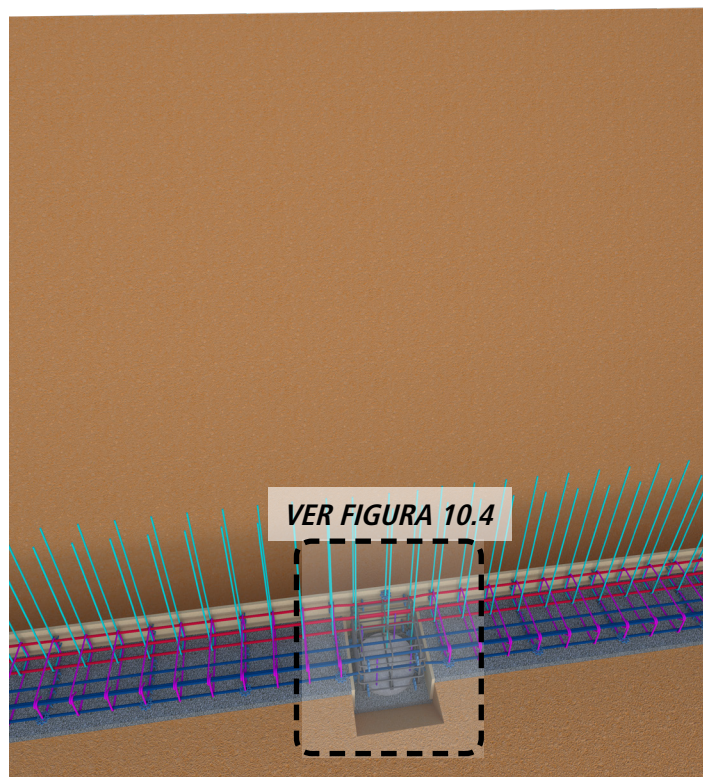


Figura 10.2
ETAPA 1 | Posicionamento da armadura da VH e dos arranques

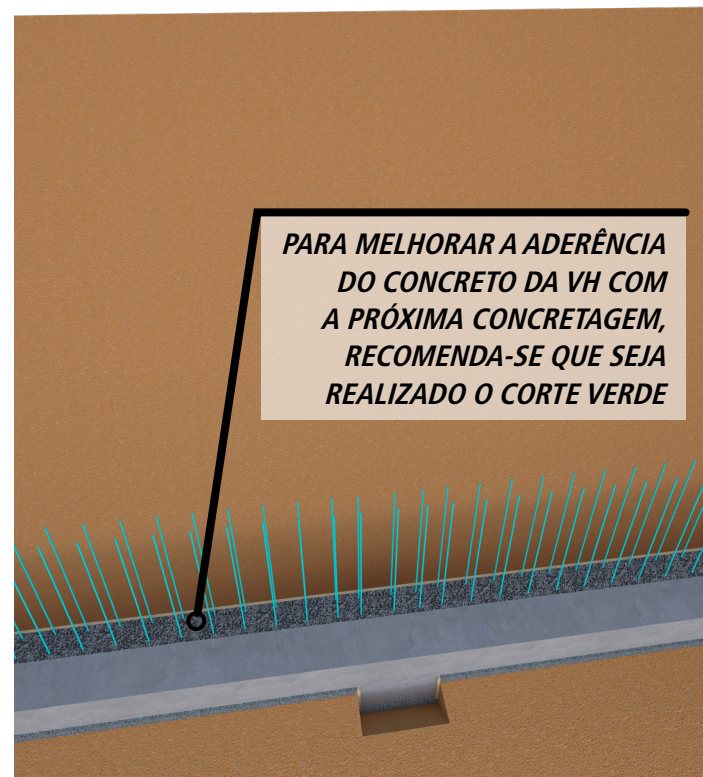


Figura 10.3
ETAPA 2 | VH concretada com os arranques da cortina

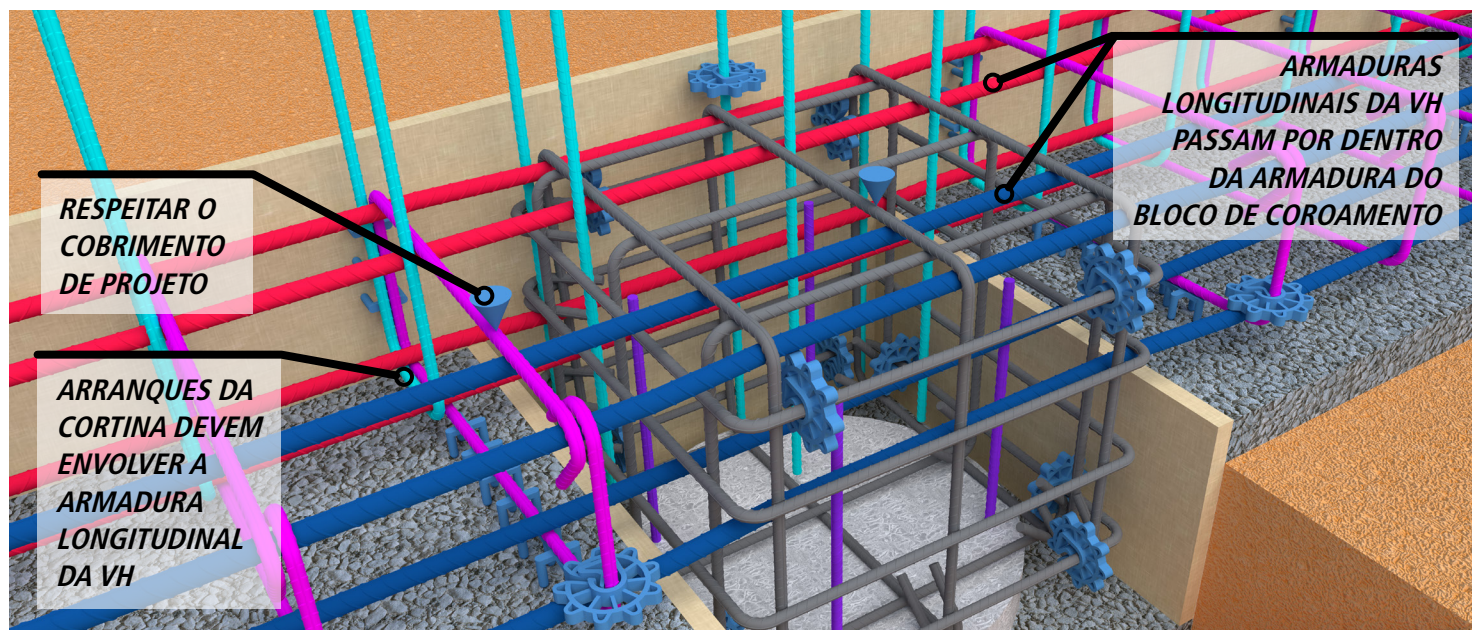


Figura 10.4
Detalhes de montagem da interface bloco de coroamento x VH x arranque da cortina

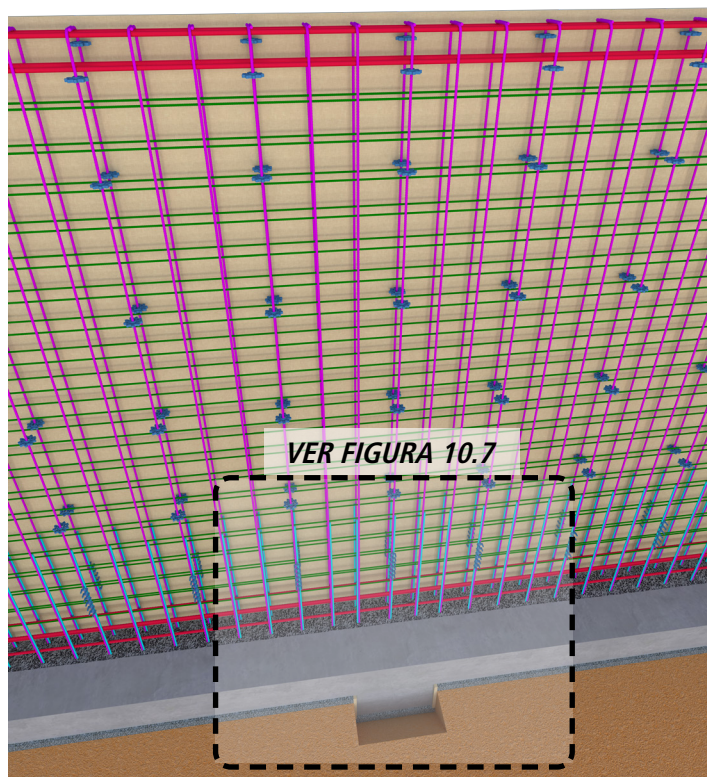


Figura 10.5
ETAPA 3 | Posicionamento da armadura da cortina

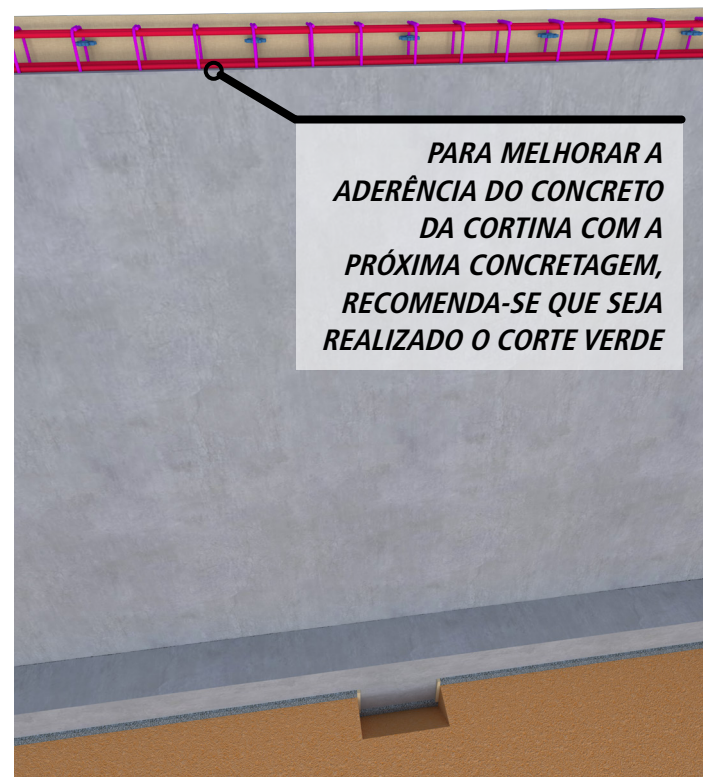


Figura 10.6
ETAPA 4 | Cortina concretada até o fundo da laje (caso não existam vigas que se apoiem na cortina)

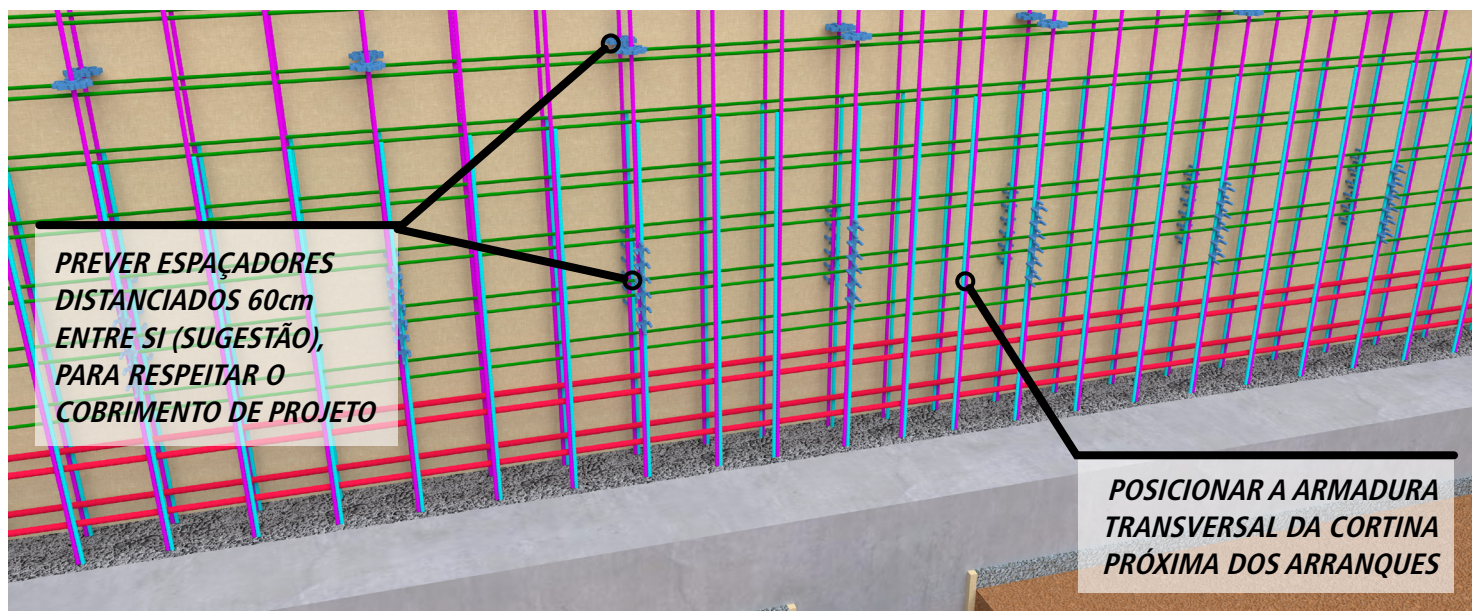


Figura 10.7
Detalhe de montagem da armadura da cortina

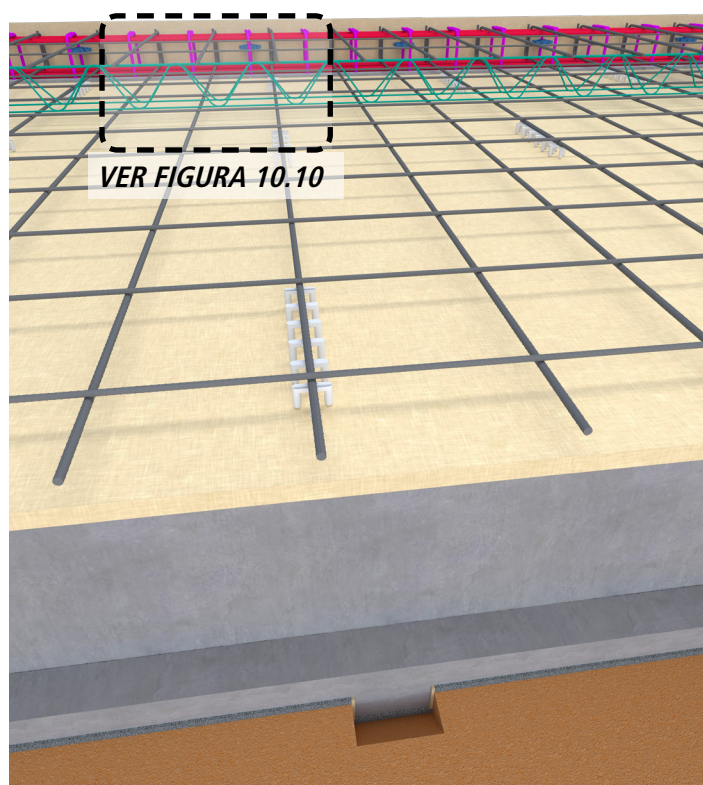


Figura 10.8
ETAPA 5 | Posicionamento da armadura da laje que travará a cortina

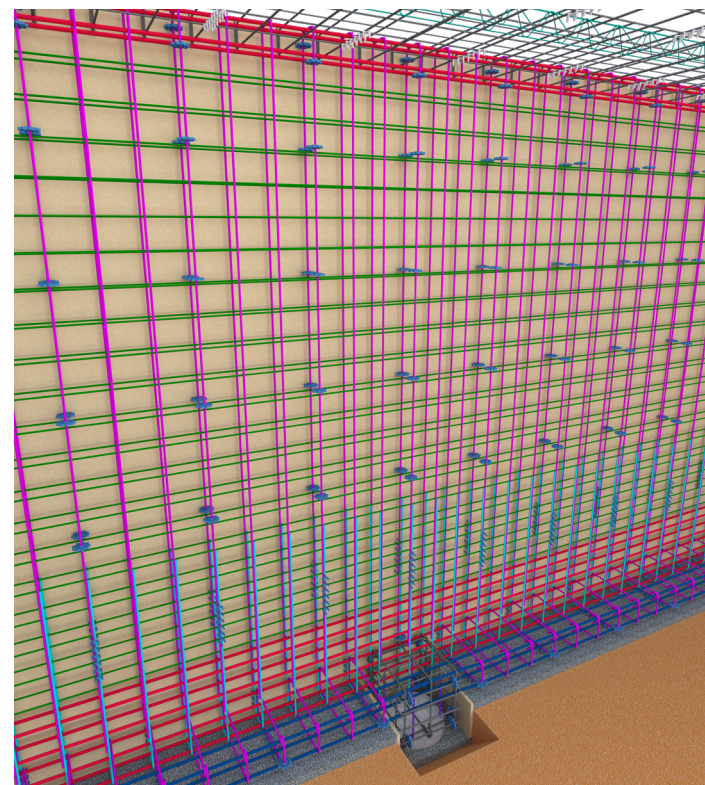


Figura 10.9
ETAPA 6 | Vista geral das armaduras

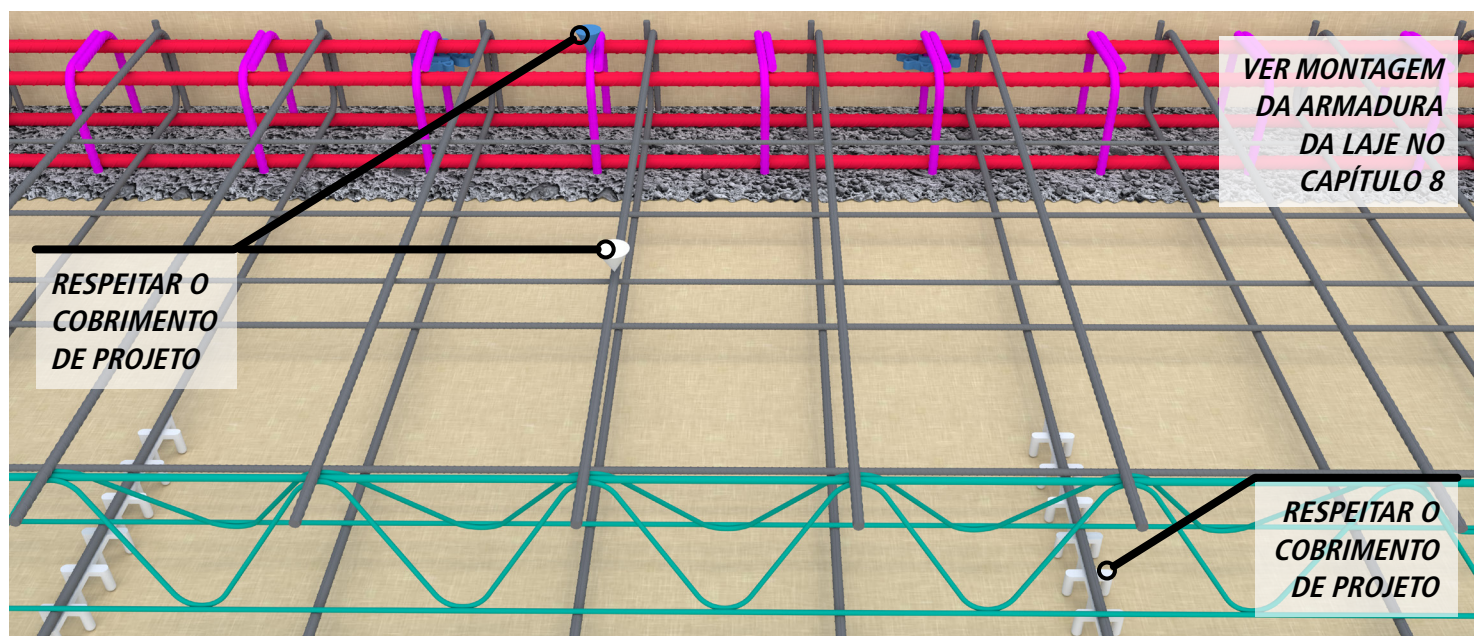


Figura 10.10
Detalhe do encontro da armadura da cortina com a armadura da laje

CAPÍTULO 11

ARMADURAS DE RESERVATÓRIOS E PISCINAS

Os reservatórios e as piscinas de concreto armado merecem especial atenção e cuidado, não apenas em seu dimensionamento, mas também em seu detalhamento e execução.

No detalhamento, as armaduras devem estar posicionadas adequadamente, principalmente nos pontos onde há concentrações de esforços de flexo-tração. Estes pontos se localizam nos encontros entre as paredes e entre as paredes e a laje de fundo. Nesses encontros, a continuidade estrutural deve ser mantida e bem detalhada, apesar da mudança de direção dos elementos envolvidos.

Quanto à execução, é necessário ressaltar que a laje de fundo não é concretada em conjunto às paredes (principalmente no caso de reservatórios), em decorrência de limitações da montagem e posicionamento das fôrmas. Assim, quando a laje de fundo é concretada, recomenda-se que o corte verde seja realizado na região de encontro com a parede, de modo a facilitar a aderência entre as superfícies de cada concretagem.

Nas próximas páginas, o posicionamento das armaduras de reservatórios e piscinas são apresentados em detalhes.

ARMADURAS DE RESERVATÓRIOS

Os reservatórios possuem uma elevada carga de empuxo devido à coluna d'água, resultando em consideráveis espessuras de paredes e laje de fundo. Tais espessuras são calculadas de modo a atender ao Estado Limite de Serviço (controle da deformação e da abertura de fissuras na laje e/ou nas paredes).

Além disso, tais espessuras são determinadas de forma que o detalhamento e o posicionamento da armadura sejam exequíveis.

Para que a estabilidade e a segurança da estrutura do reservatório sejam garantidas, as armaduras (**Figuras 11.1a e 11.1b**) devem ser posicionadas adequadamente. Embora correta, a representação bidimensional destas armaduras (**Figuras 11.1a e 11.1b**) pode carecer de clareza quanto às ligações entre parede e laje fundo. Dessa forma, detalhes como a **Figura 11.1c** são necessários, de modo a orientar o melhor posicionamento das armaduras nesta ligação.

Nas **Figuras 11.2 a 11.13**, a seguir, sugere-se uma sequência de montagem das armaduras do reservatório baseada em melhores práticas observadas nas obras.

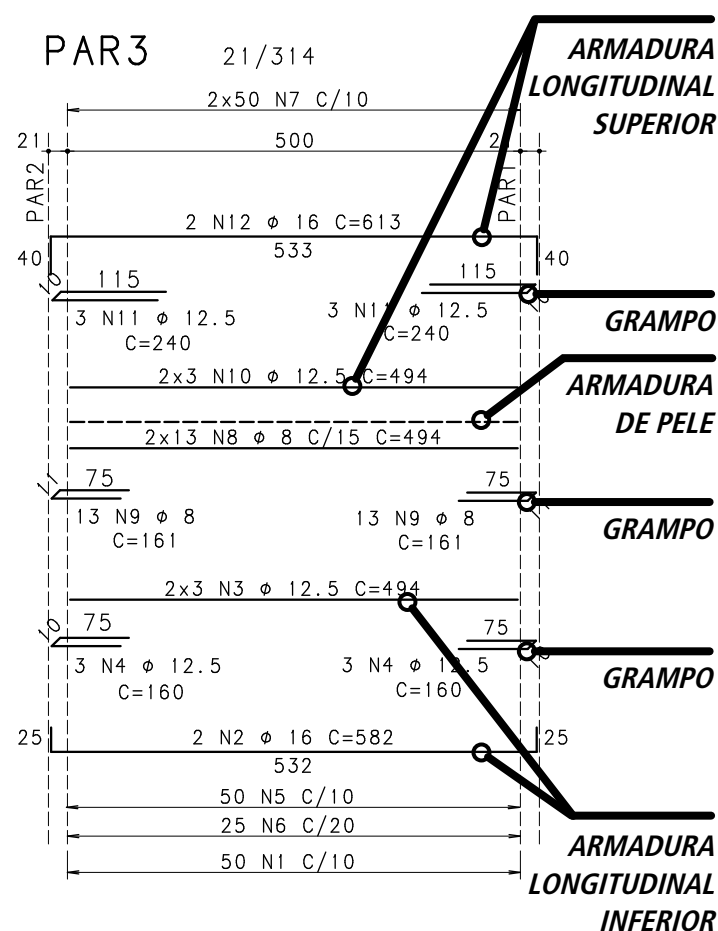


Figura 11.1a

Projeto de armadura da parede do reservatório de concreto armado. Nota: exemplo apenas para fins de montagem. Para dimensionamento e detalhamento, consultar normas e bibliografias específicas.

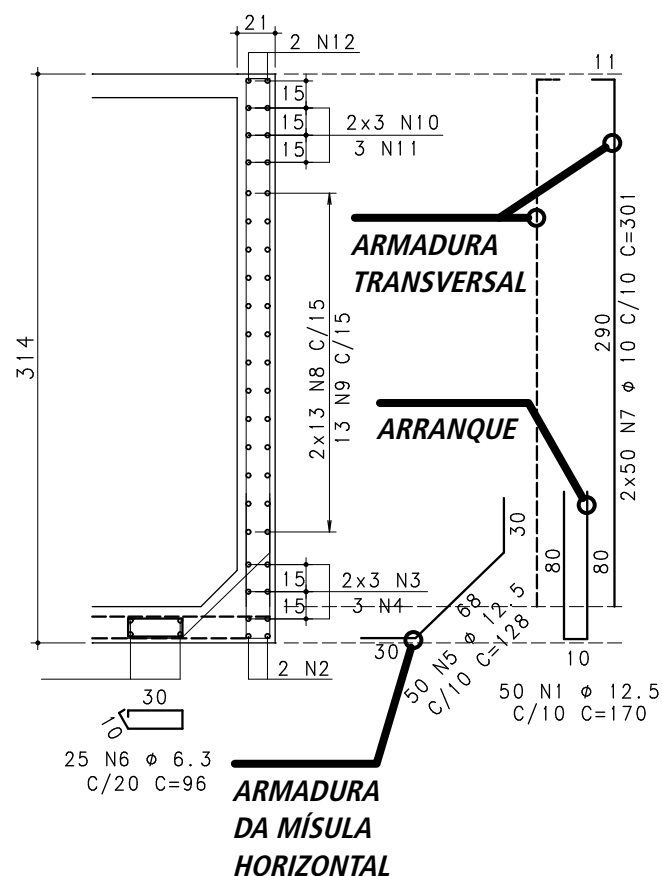


Figura 11.1b

Projeto de armadura da parede do reservatório de concreto armado. Nota: exemplo apenas para fins de montagem. Para dimensionamento e detalhamento, consultar normas e bibliografias específicas.

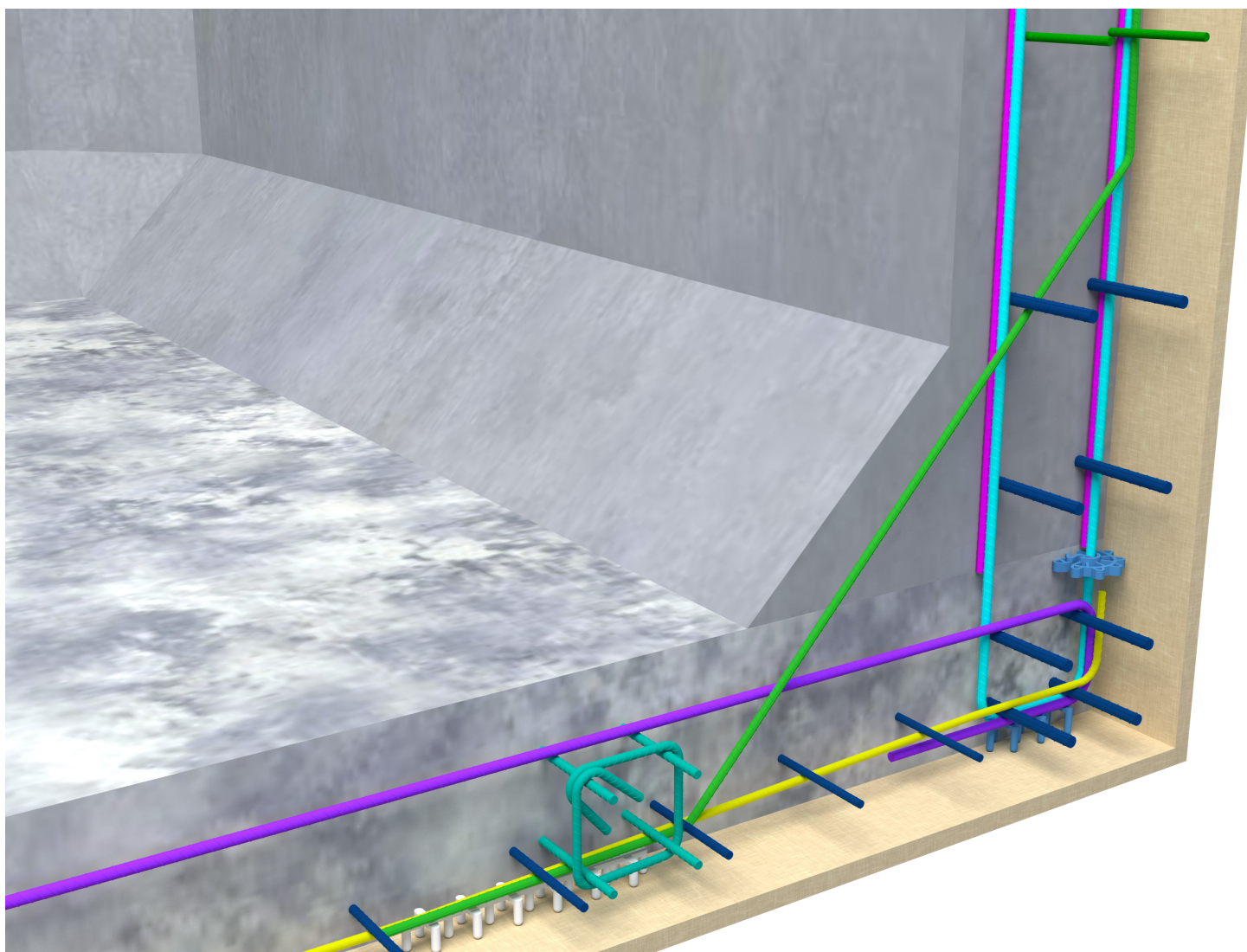


Figura 11.1c
Detalhe do posicionamento das armaduras na ligação parede x laje de fundo

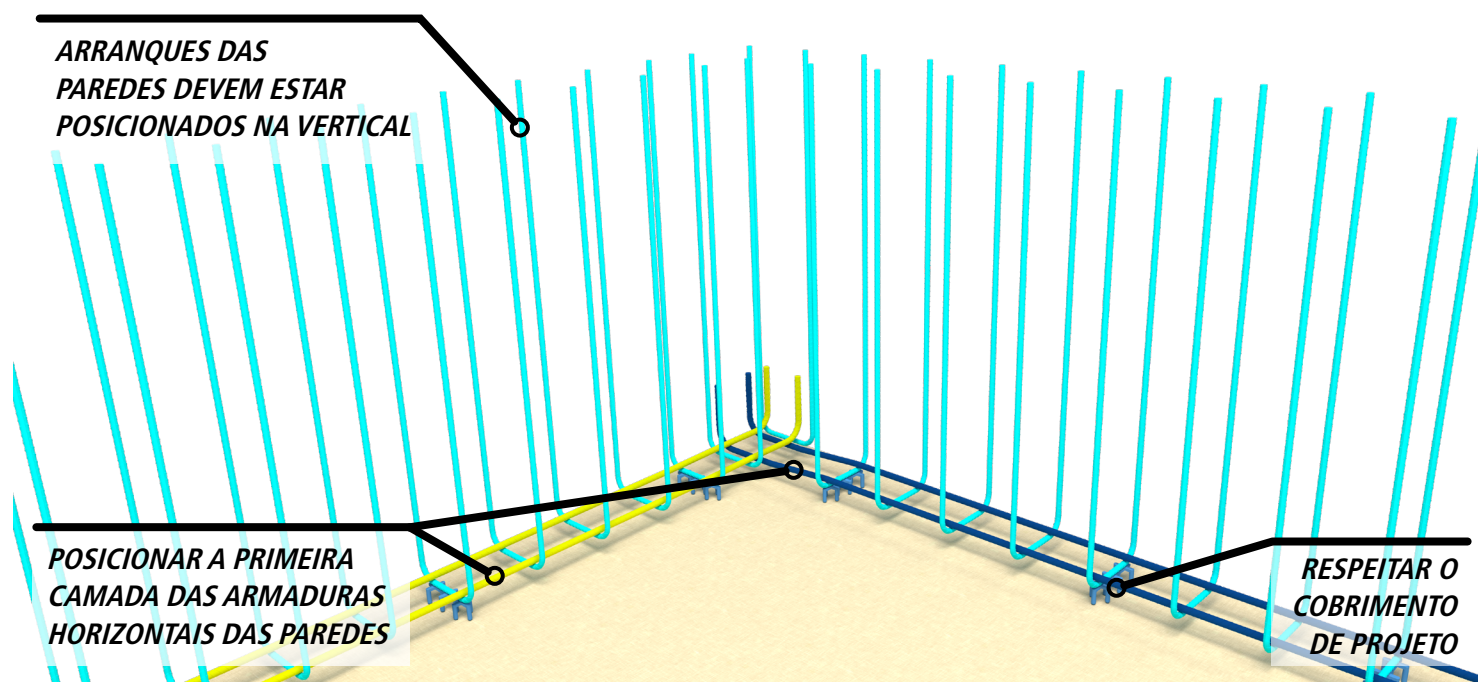


Figura 11.2
ETAPA 1 | Posicionamento dos arranques das paredes

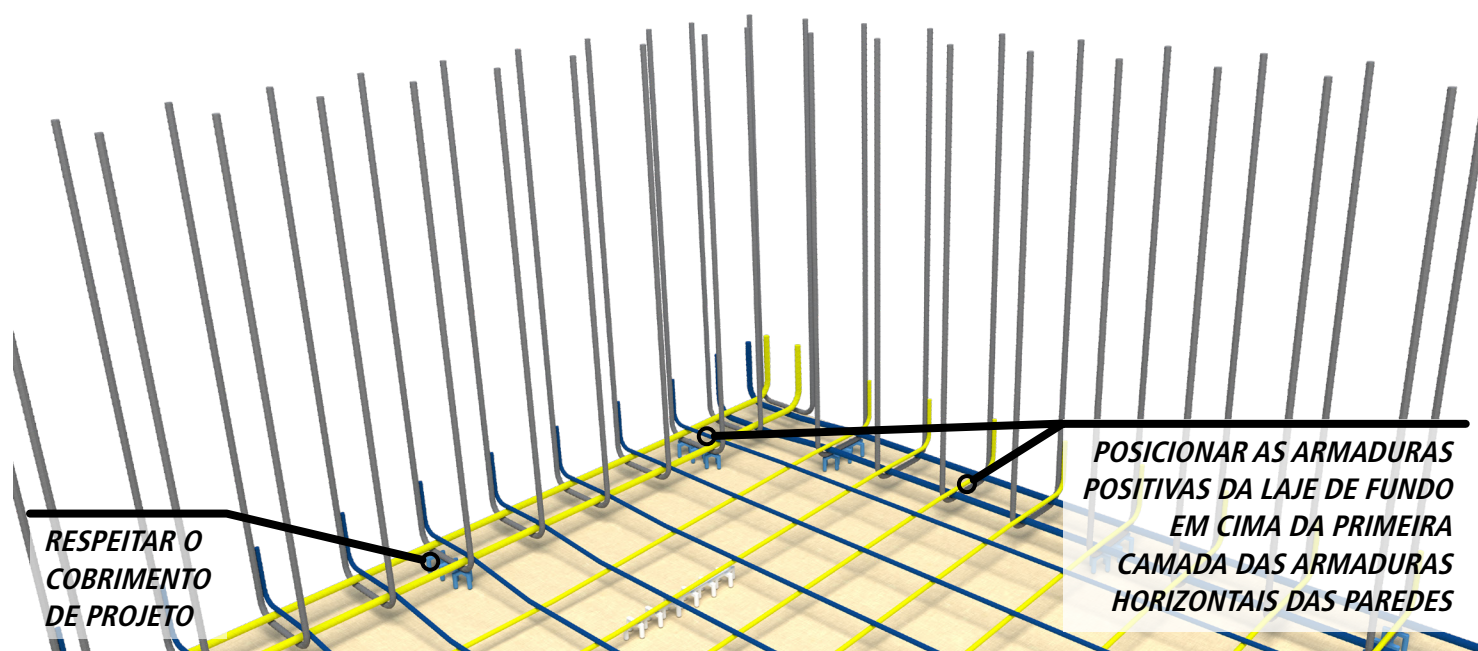


Figura 11.3
ETAPA 2 | Posicionamento das armaduras positivas da laje de fundo

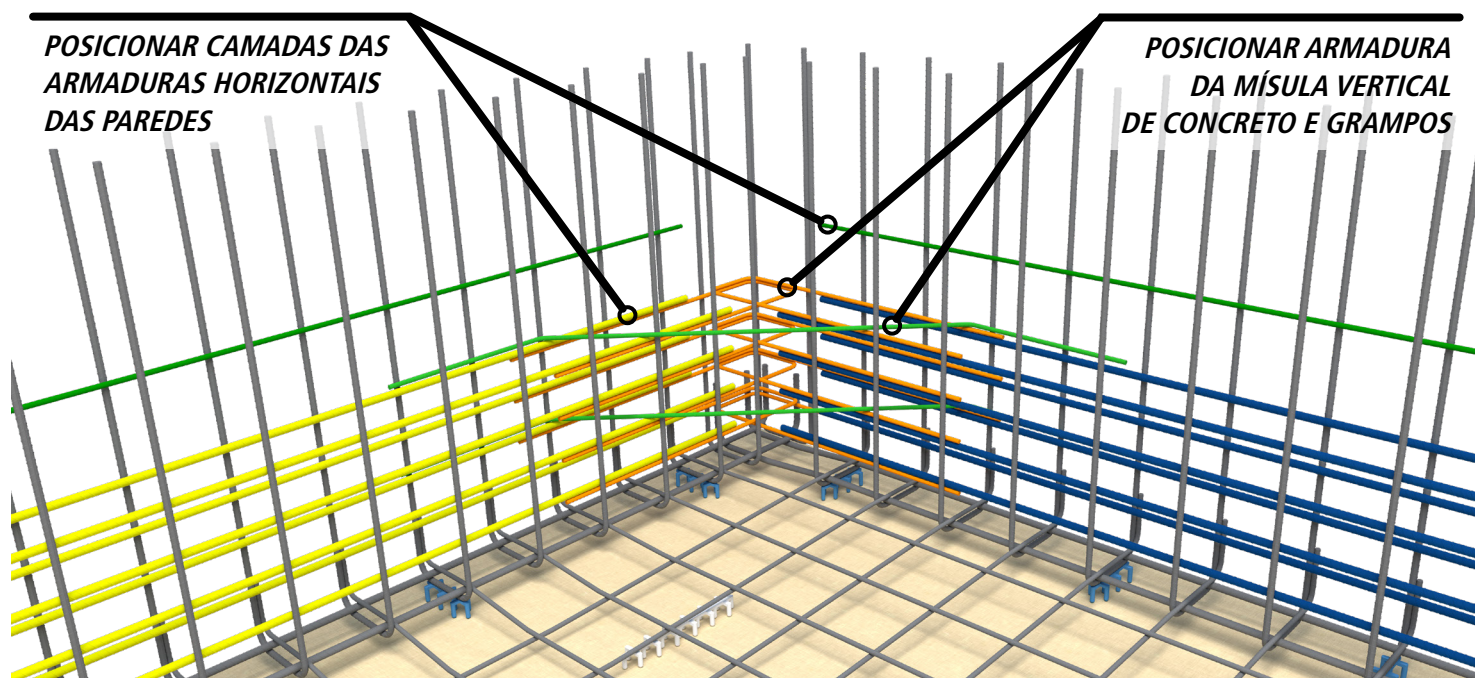


Figura 11.4
ETAPA 3 | Posicionamento das armaduras horizontais das paredes do reservatório

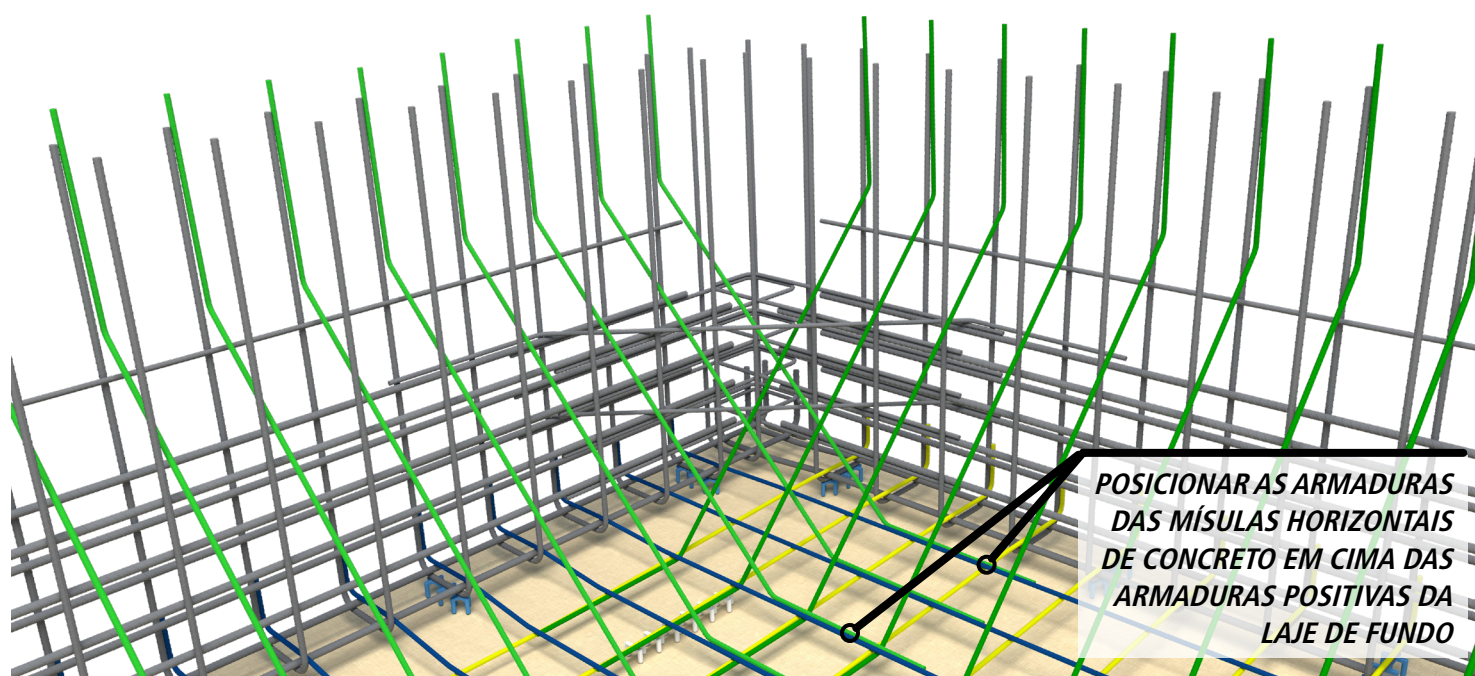


Figura 11.5
ETAPA 4 | Posicionamento das armaduras das muretas horizontais de concreto (ligação parede X laje de fundo)

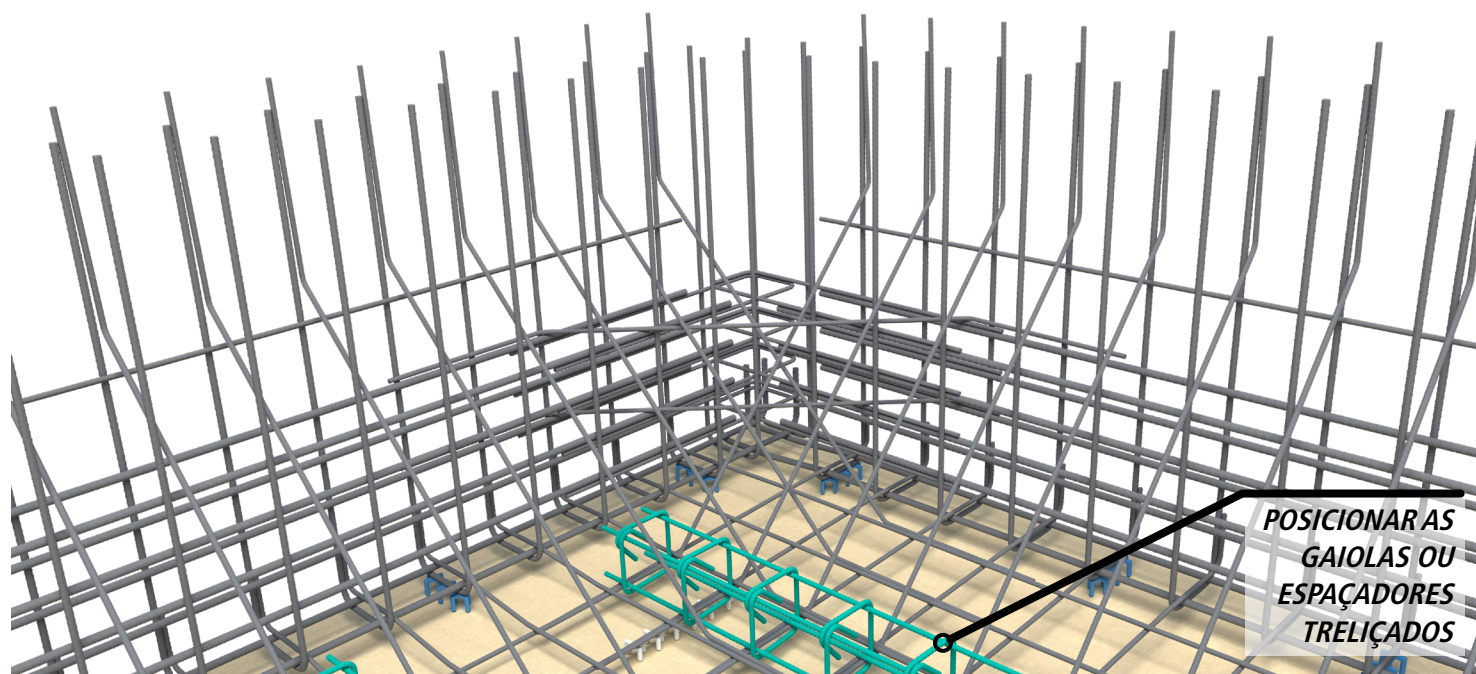


Figura 11.6

ETAPA 5 | Posicionamento das armaduras que são a base das armaduras negativas da laje de fundo

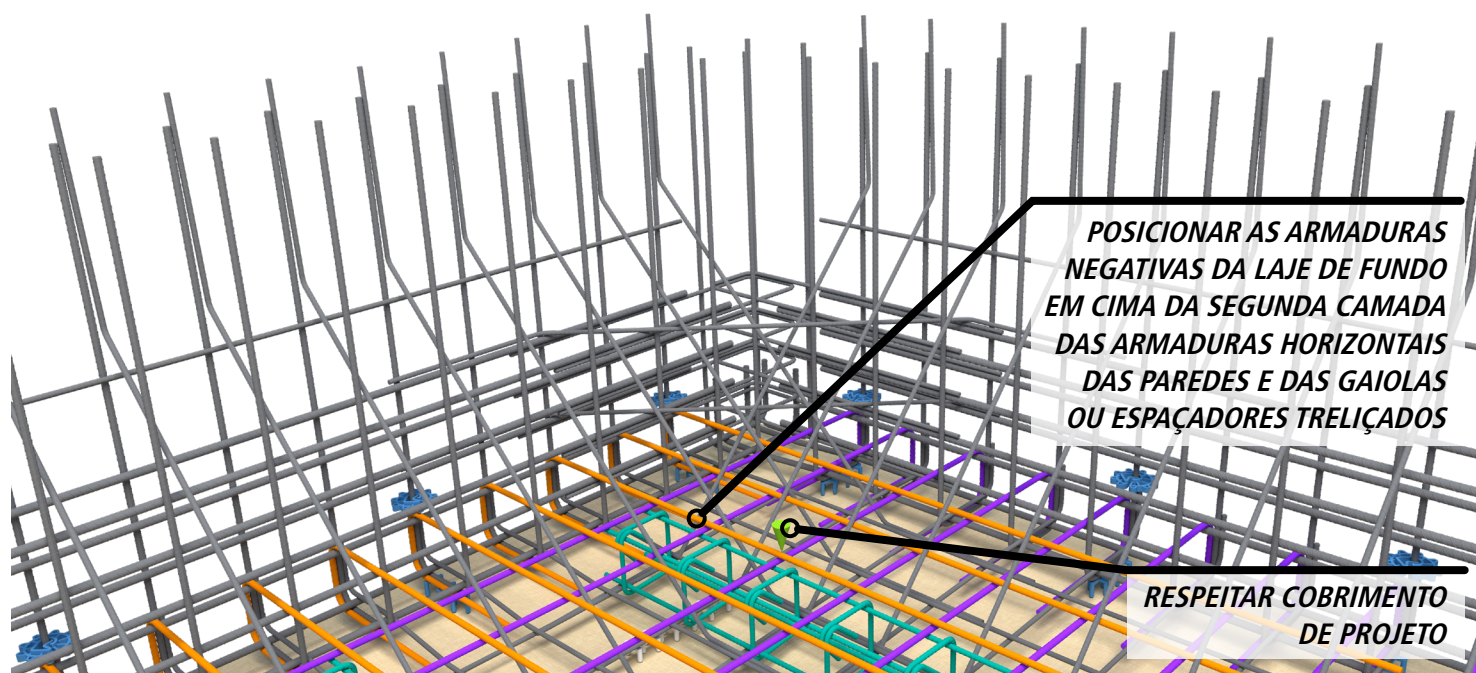


Figura 11.7

ETAPA 6 | Posicionamento das armaduras negativas da laje de fundo

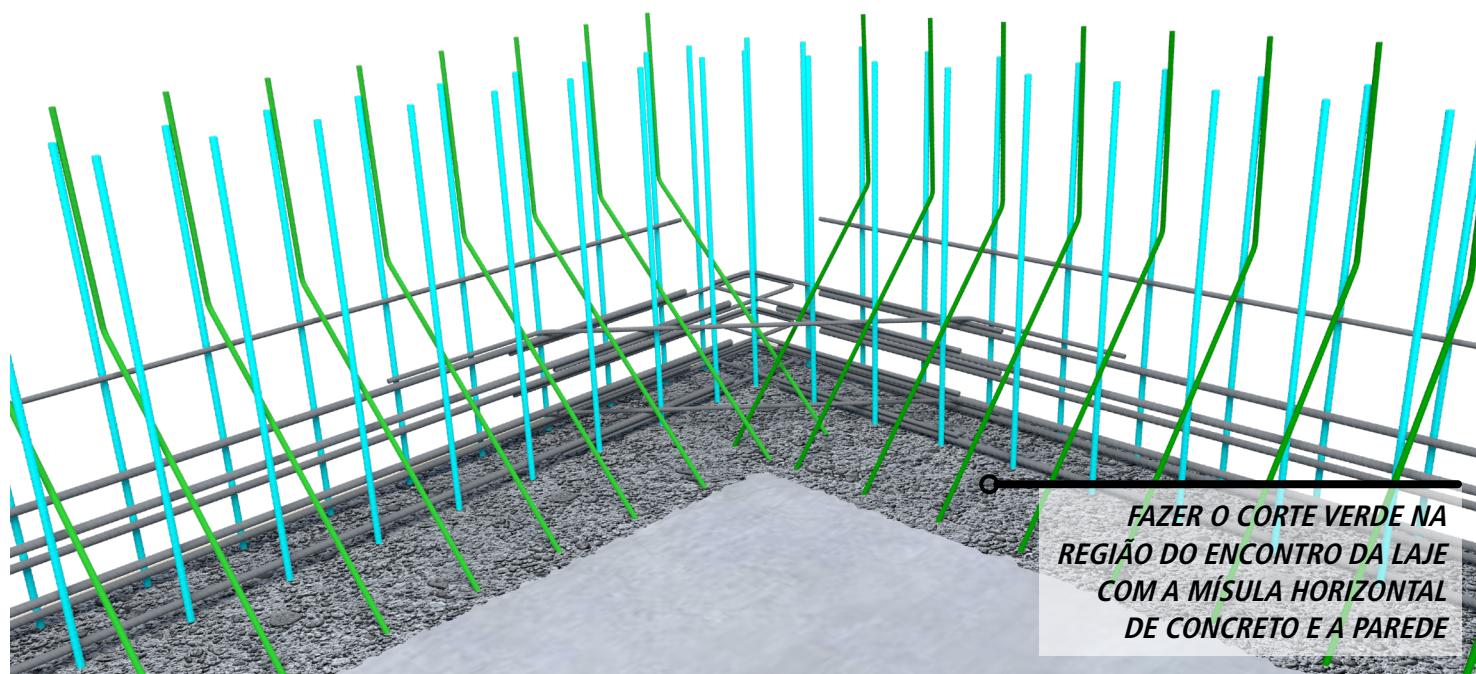


Figura 11.8
ETAPA 7 | Concretagem da laje de fundo

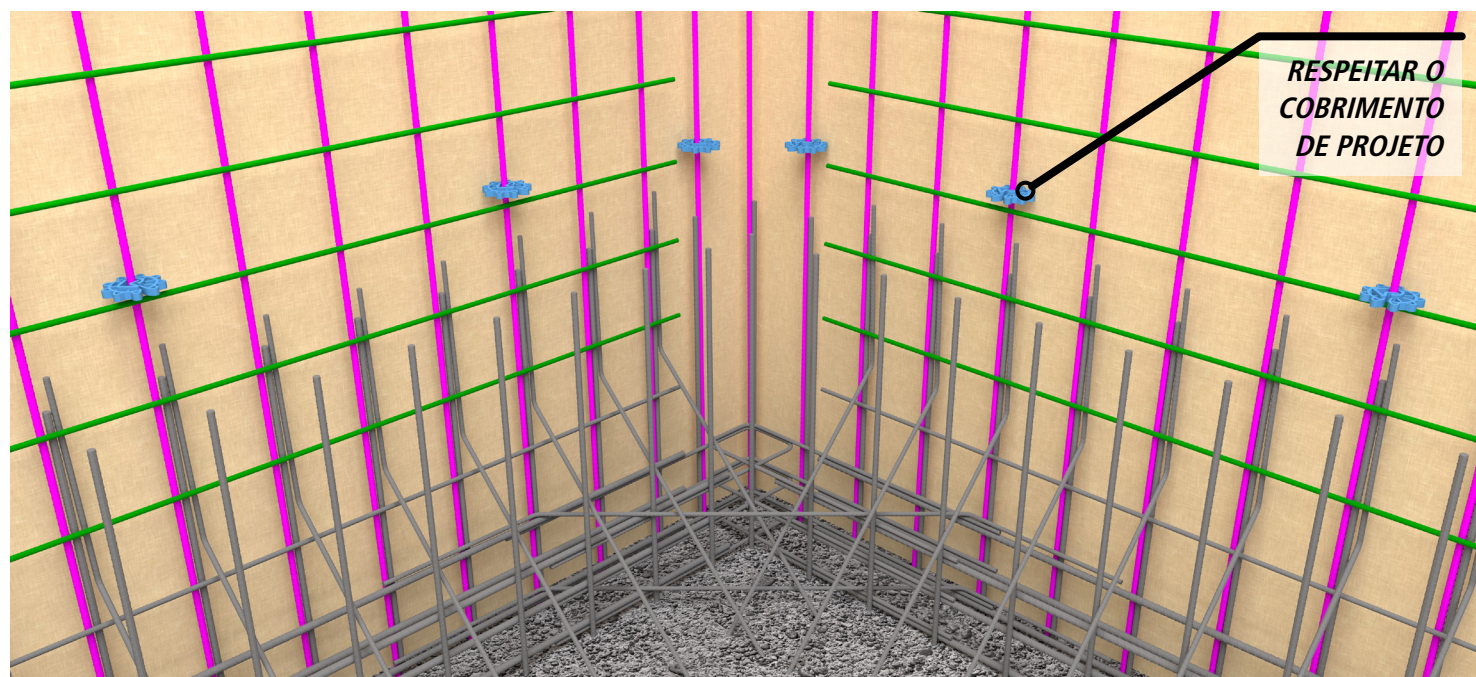


Figura 11.9
ETAPA 8 | Posicionamento das armaduras verticais e horizontais que ficam do lado externo das paredes (do reservatório)

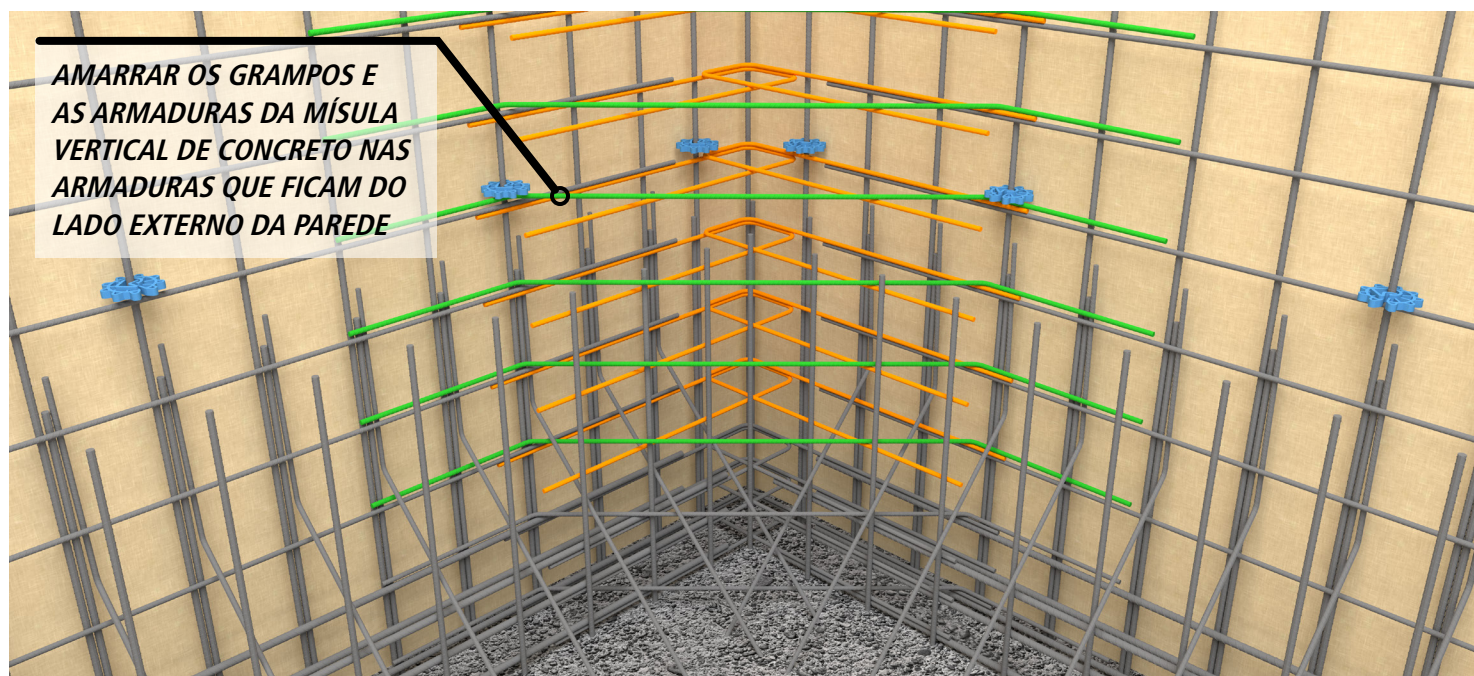


Figura 11.10
ETAPA 9 | Posicionamento das armaduras da mísula vertical de concreto e grampos

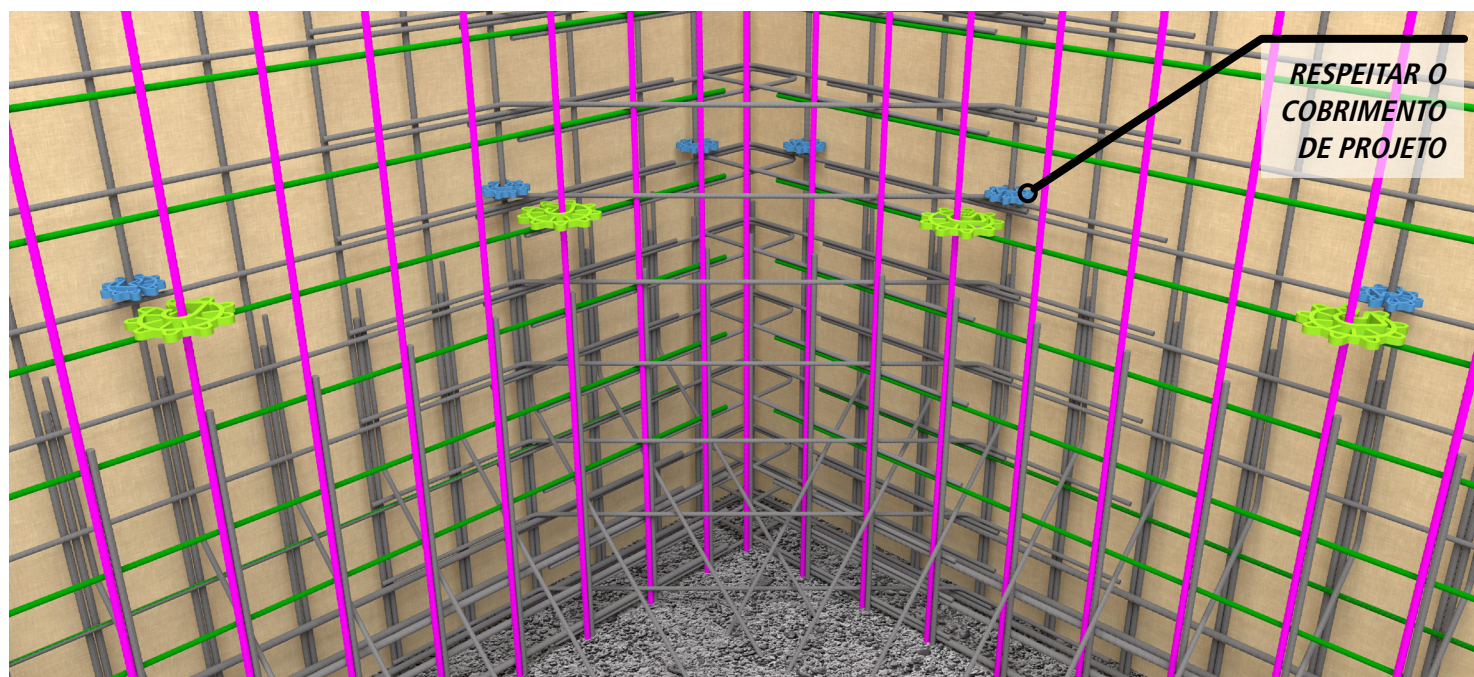


Figura 11.11
ETAPA 10 | Posicionamento das armaduras horizontais e verticais que ficam do lado interno das paredes (do reservatório)

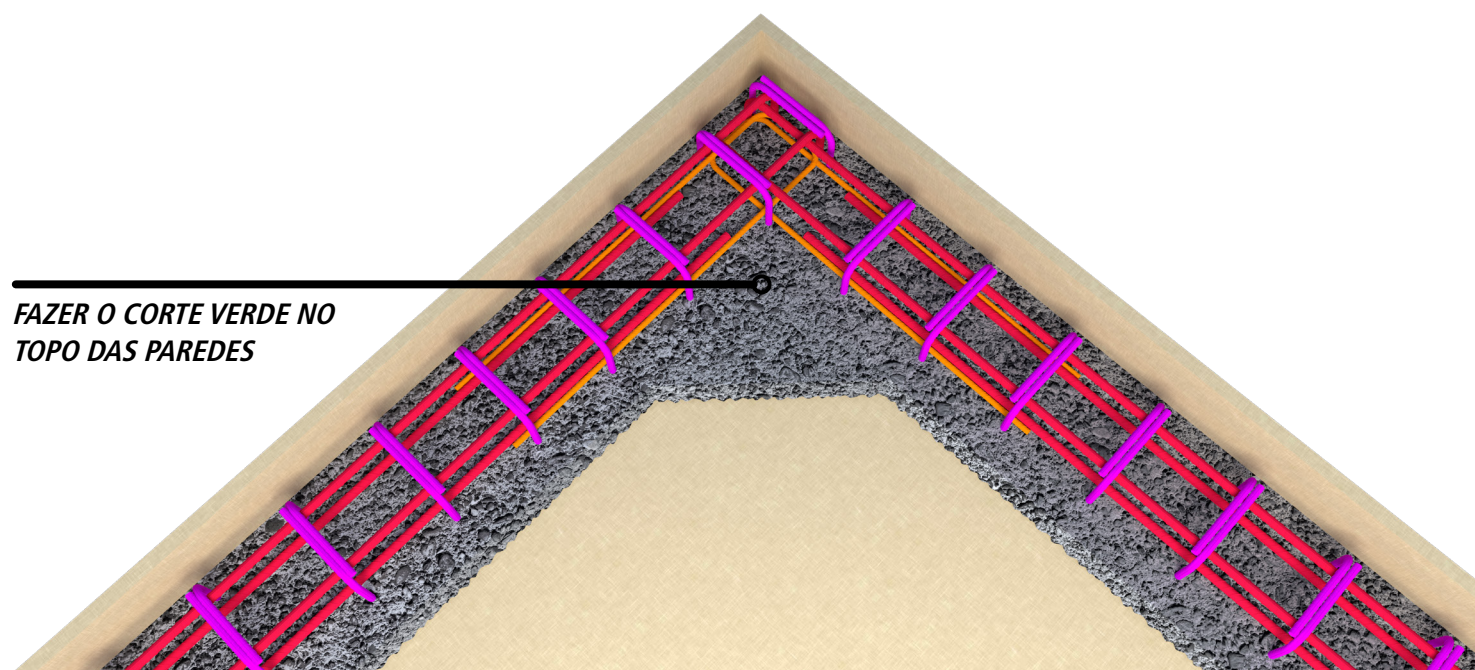


Figura 11.12
ETAPA 11 | Concretagem das paredes

**VER MONTAGEM
DA ARMADURA
DA LAJE NO
CAPÍTULO 8**

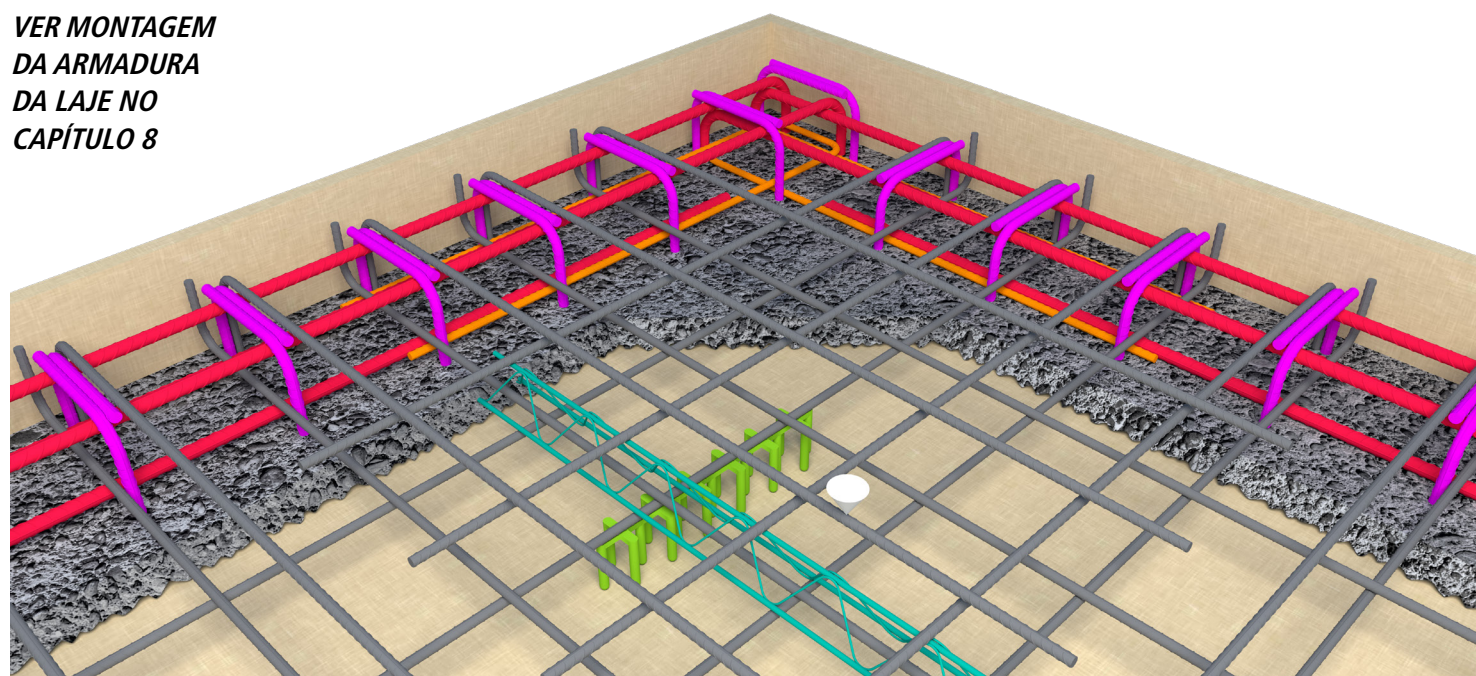


Figura 11.13
ETAPA 12 | Posicionamento das armaduras da laje tampa

ARMADURAS DE PISCINAS

No caso das piscinas, diferentemente dos reservatórios (**Figura 11.14**), não são usualmente detalhadas mísulas de concreto nos encontros dos elementos estruturais (**Figura 11.15**). Isso se deve a questões estéticas.

Mesmo sem as mísulas de concreto, recomendamos o uso da armadura inclinada (**Figura 11.17**) para controlar a abertura de fissuras e aumentar a ductilidade da região, conforme estudado por Leonhardt e Mönning (1978).

No entanto, assim como no reservatório, é necessário fazer o corte verde no encontro das paredes e a laje de fundo, caso esses elementos sejam concretados em etapas diferentes (**Figura 11.18**).

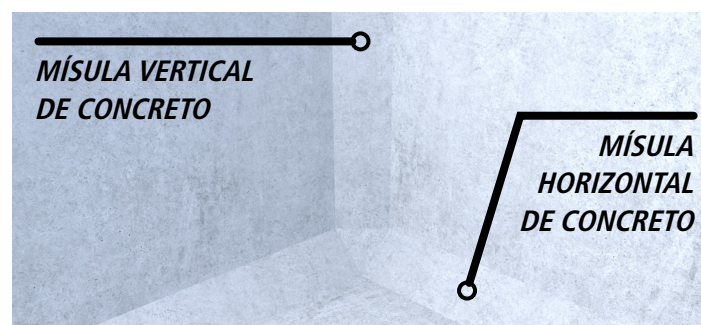


Figura 11.14
Encontro dos elementos estruturais **COM** mísulas de concreto (recomendado em reservatórios)

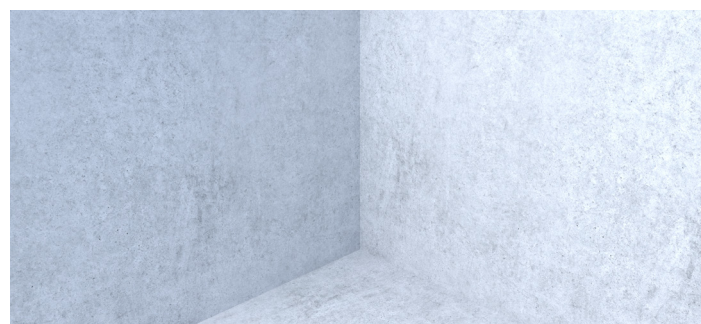


Figura 11.15
Encontro dos elementos estruturais **SEM** mísulas de concreto (usual em piscinas)

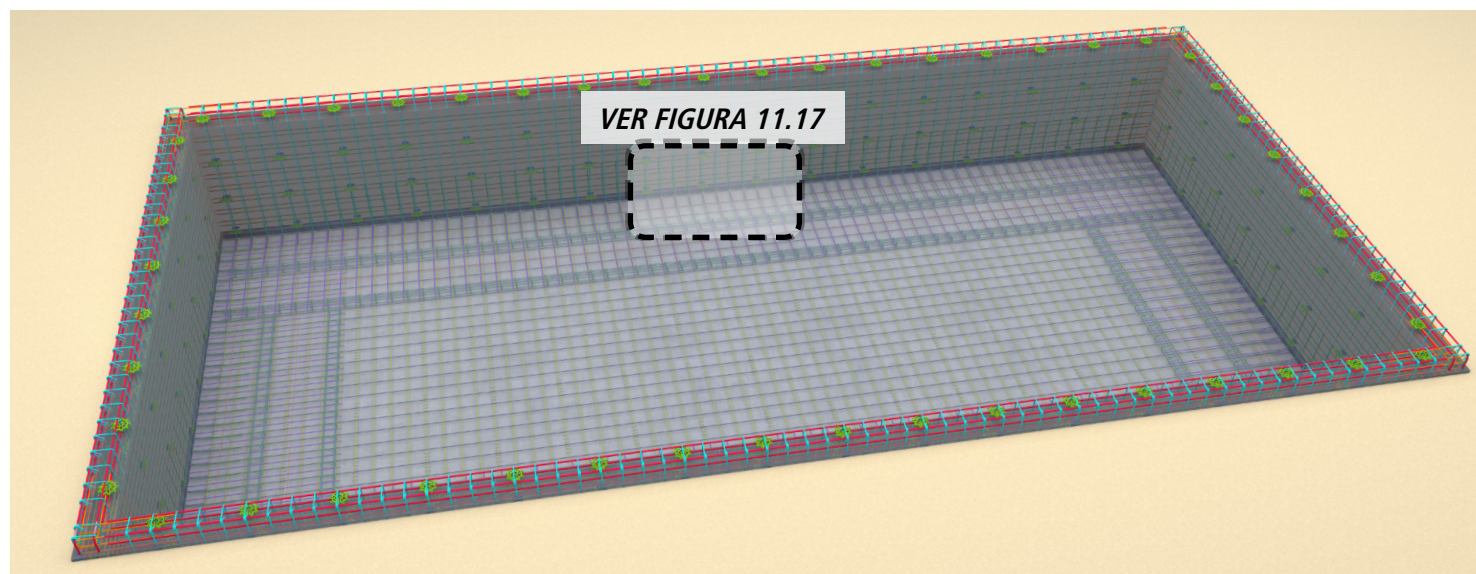


Figura 11.16
Piscina sem mísulas de concreto entre parede e parede, e entre parede e laje de fundo

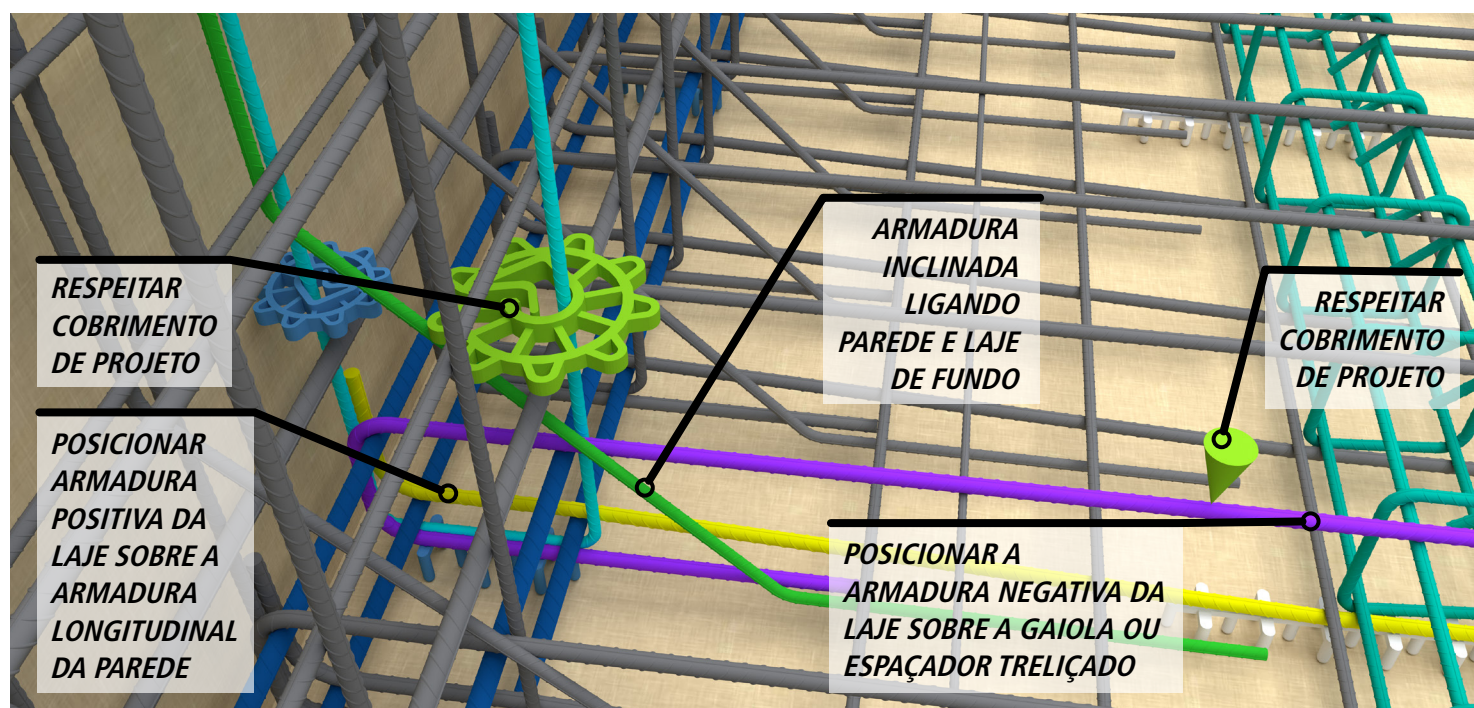


Figura 11.17
Posicionamento da armadura da piscina

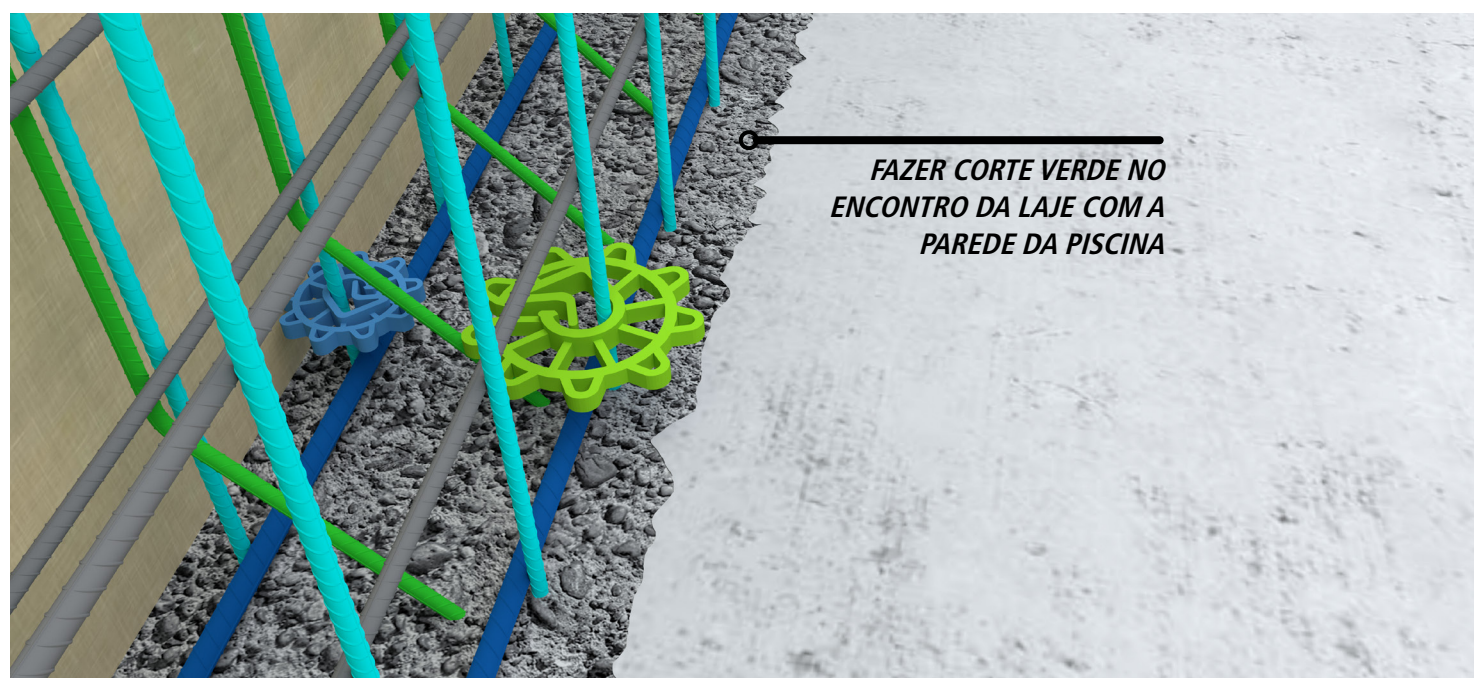


Figura 11.18
Concretagem da laje de fundo

CAPÍTULO 12

ARMADURAS DE ESCADAS

As escadas são elementos estruturais que podem ser construídos de diversos materiais, como, por exemplo, madeira, chapas metálicas, concreto armado, entre outros.

Escadas de concreto armado podem ser executadas *in loco* ou pré-fabricadas. Além disso, elas podem apresentar diversas configurações, de acordo com requerimentos estéticos, arquitetônicos, de mobilidade e/ou de ergonomia.

Neste Manual, são abordados dois casos estruturais específicos de escadas moldadas *in loco*. Ambos os casos possuem um patamar de descanso, dois lances e a mesma quantidade de degraus. No entanto, enquanto a primeira opção (**Figura 12.4**) possui ambos os lances apoiados em patamares – que, por sua vez, apoiam-se em pilares –, a segunda opção (**Figura 12.8**) apresenta um lance apoiando-se em um patamar e o outro lance apoiando-se diretamente em um pilar.

A **Figura 12.1** apresenta a representação esquemática dos dois tipos de vínculos estruturais presentes nas **Figuras 12.4 e 12.8**.

Recomenda-se posicionar a armadura complementar nos trechos da escada que possuem mudança de direção. Essa armadura complementar fica posicionada próxima às faces que não possuem armadura positiva e negativa. É possível observar essas armaduras complementares nas **Figuras 12.2, 12.3, 12.6, 12.7, 12.10 e 12.11**.

DETALHES GERAIS SOBRE ESPAÇADORES

Antes de discutir os detalhes das armaduras de cada um dos dois casos de escadas de concreto moldado *in loco*, é de extrema relevância ressaltar a importância do correto posicionamento dos espaçadores nos encontros entre lances e patamares.

As **Figuras 12.2 e 12.3**, assim, ilustram as melhores práticas para o posicionamento dos espaçadores nestas regiões.

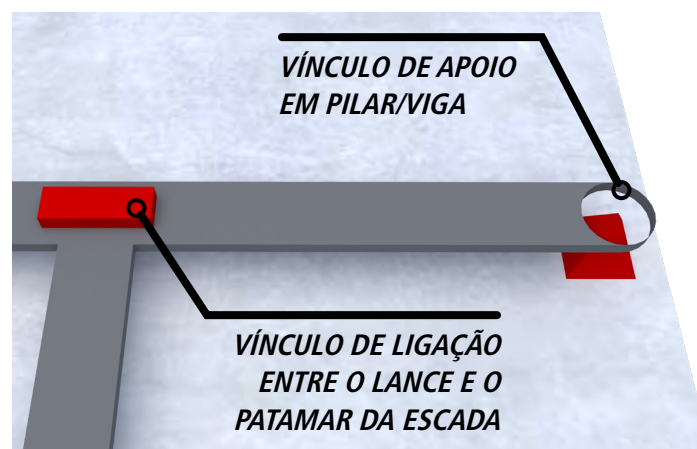
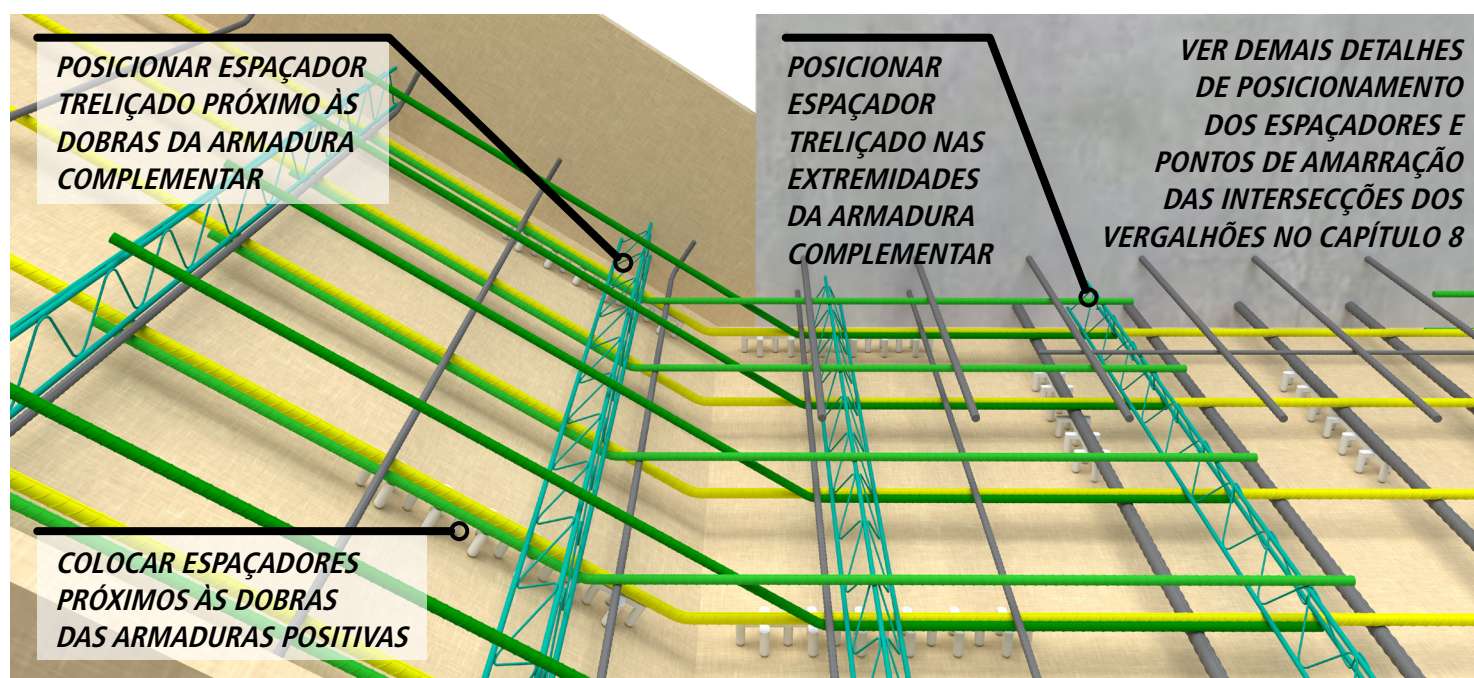
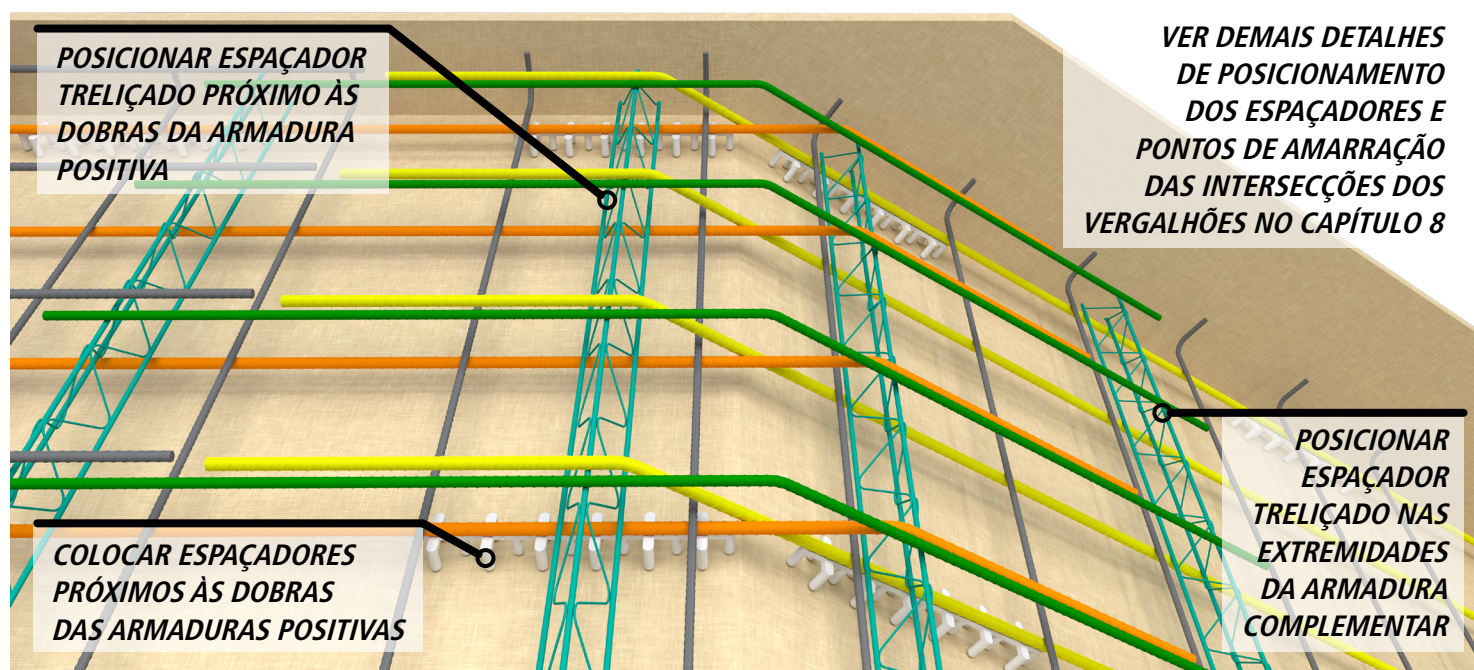


Figura 12.1
Legenda dos vínculos do esquema estrutural

**Figura 12.2**

Posicionamento dos espaçadores no encontro do patamar com o lance

**Figura 12.3**

Posicionamento dos espaçadores no encontro do lance com o patamar

ESCALADA APOIADA EM PATAMARES

Entre os dois exemplos de escadas citados neste Manual, a opção da escada apoiada em patamares (**Figuras 12.4 e 12.5**) possui a melhor solução estrutural, pois apresenta vãos de lances menores para dimensionamento. Isso resulta em esforços menores e, conseqüentemente, em armaduras inferiores comparadas às do segundo exemplo, onde a escada se apoia em um patamar e um pilar. As **Figuras 12.6 e 12.7** ilustram detalhes ampliados das armaduras deste tipo de escada.

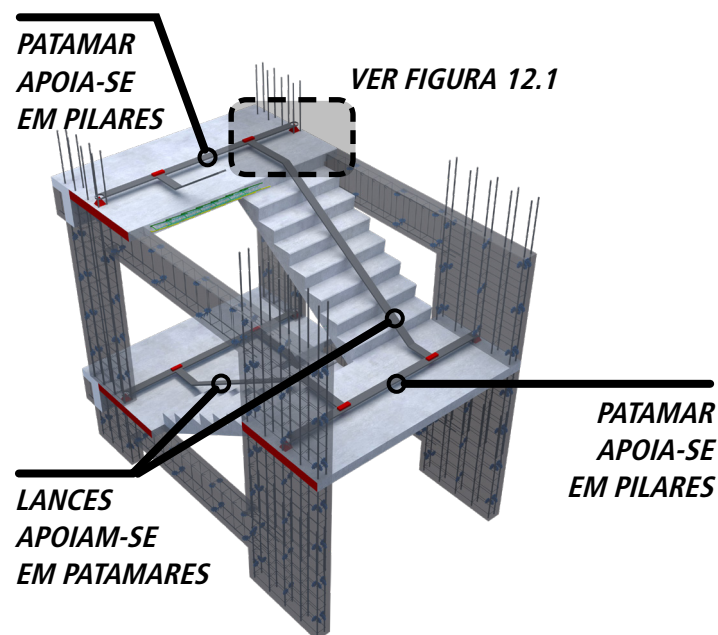


Figura 12.4
Esquema estrutural de lances apoiados em patamares

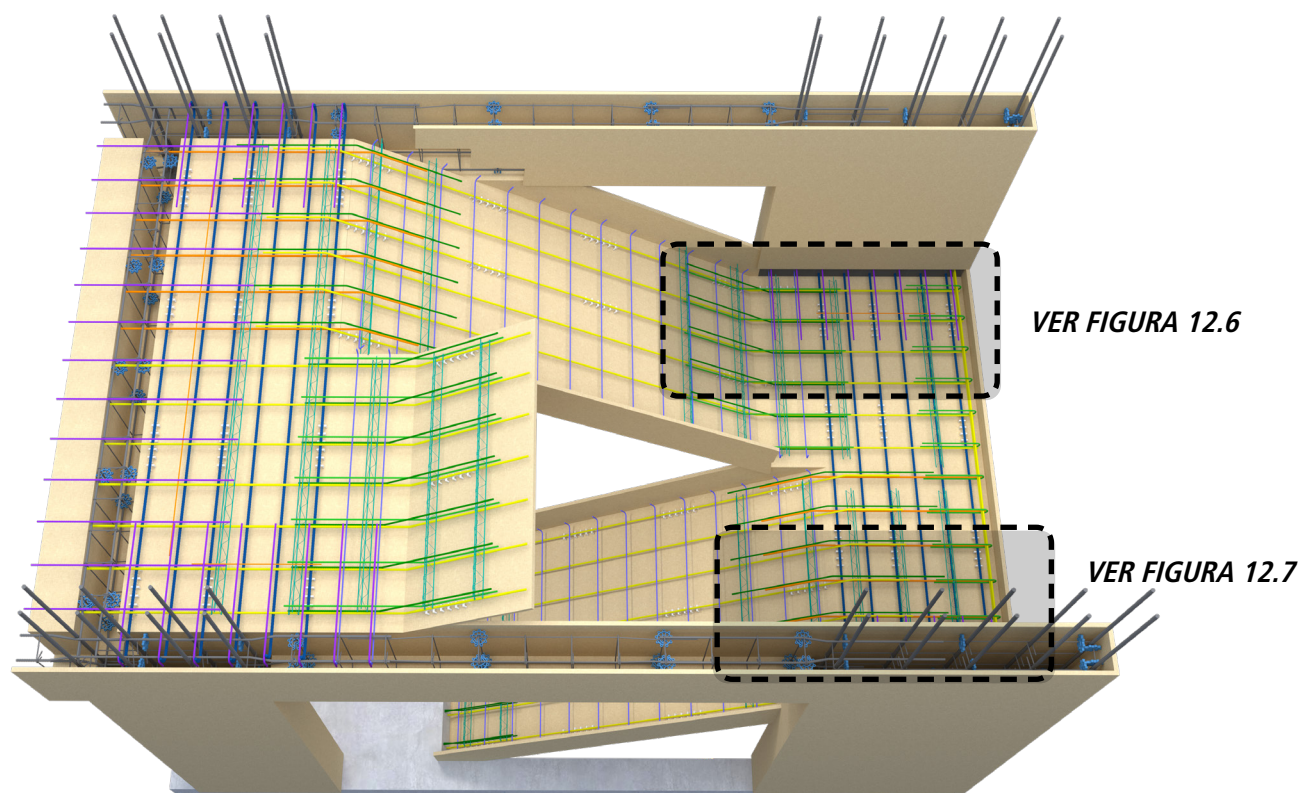
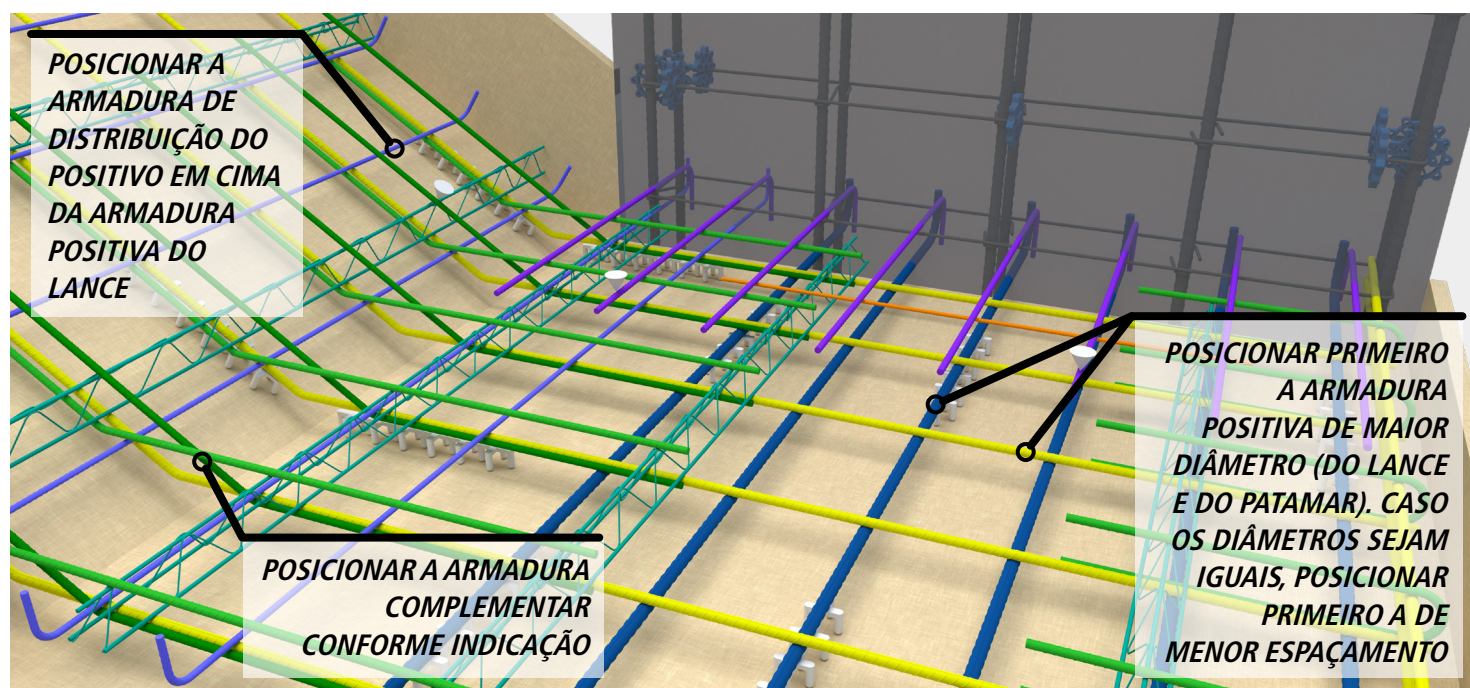
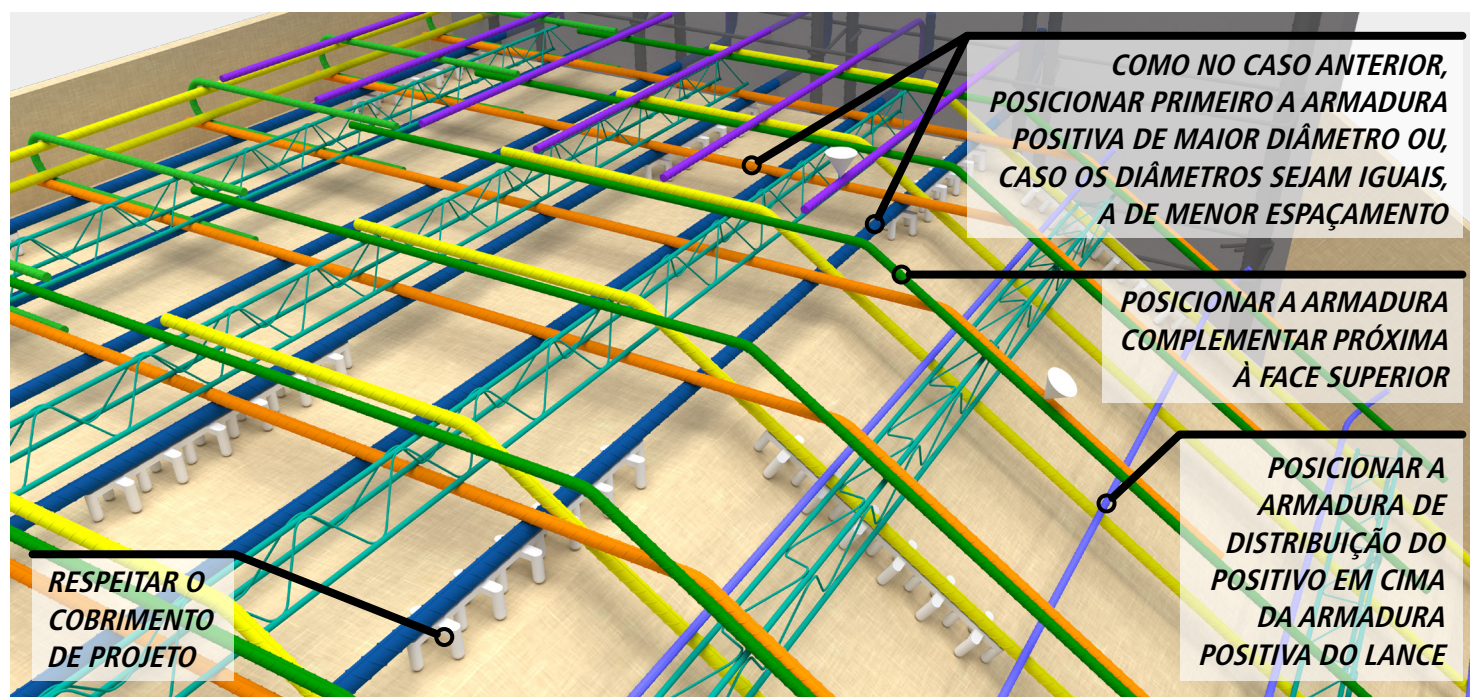


Figura 12.5
Exemplo da armadura dos lances apoiados em patamares

**Figura 12.6**

Detalhe do encontro do patamar com o lance (que se apoia em patamar)

**Figura 12.7**

Detalhe do encontro do lance (que se apoia em patamar) com o patamar

ESCALADA APOIADA EM PATAMAR E PILAR

No entanto, nem sempre é possível ter uma disposição de pilares que favoreça a melhor solução estrutural para a escada. Dessa forma, o esquema estrutural onde a escada se apoia em um patamar e um pilar (**Figuras 12.8 e 12.9**) pode ser indicado, favorecendo o menor caminhamento das cargas dentro das limitantes de projeto. As **Figuras 12.10 e 12.11** ilustram detalhes ampliados das armaduras deste tipo de escada.

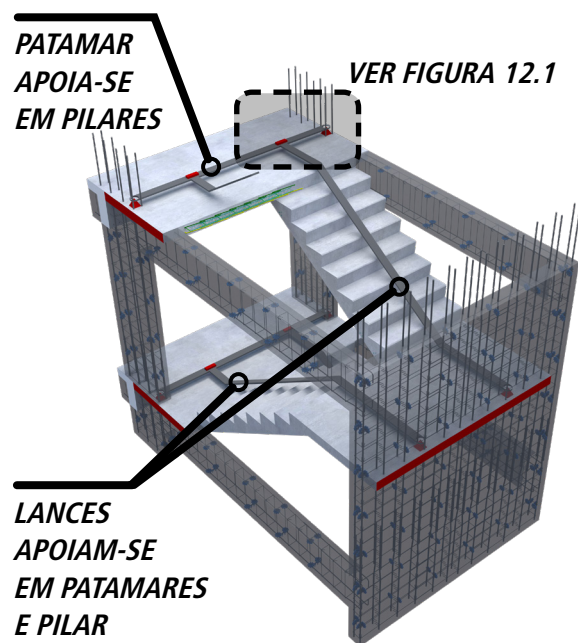


Figura 12.8
Esquema estrutural de lances apoiados em patamar e pilar

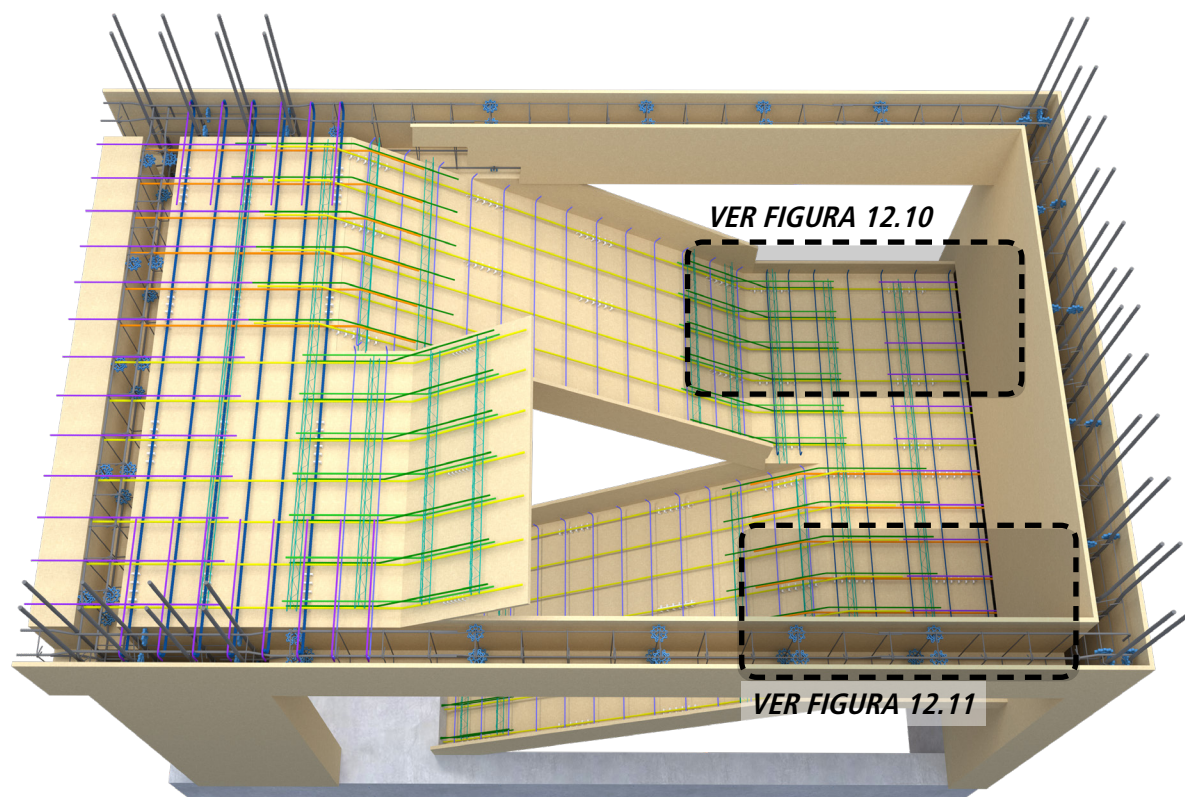
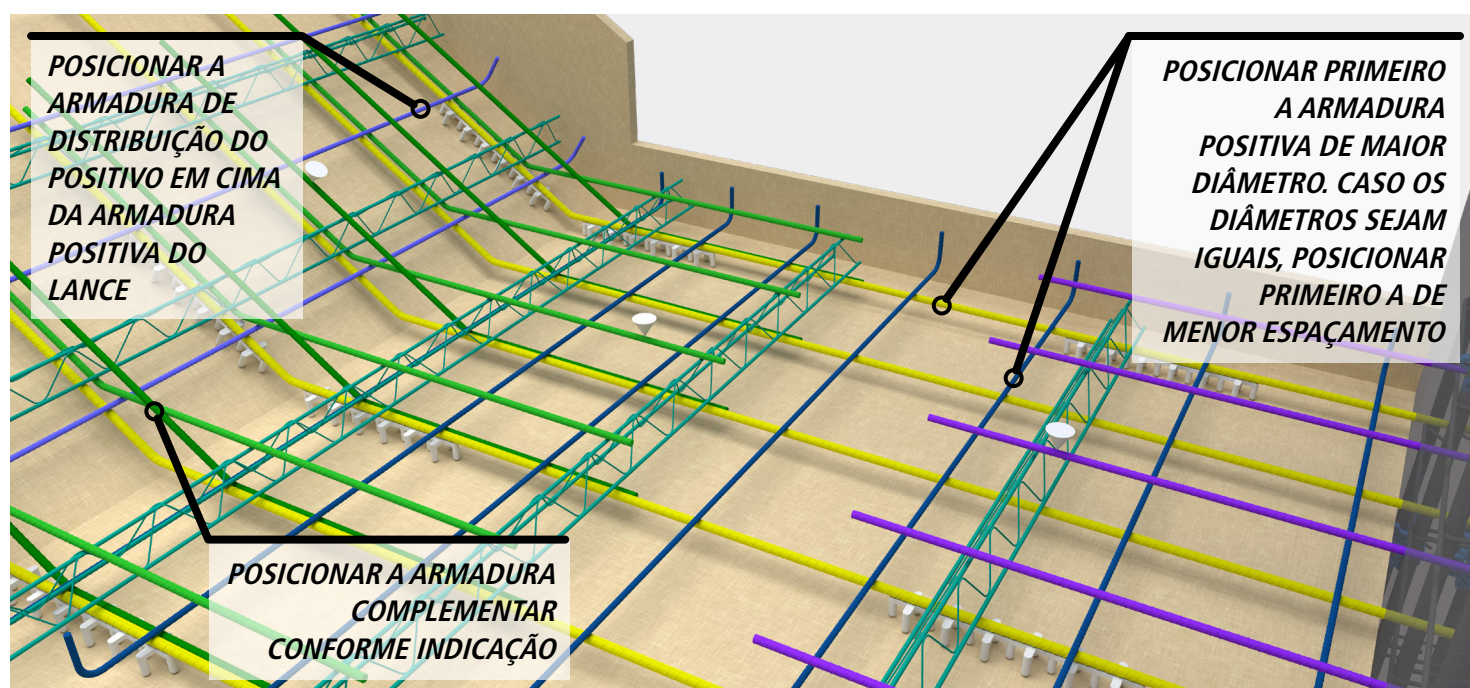
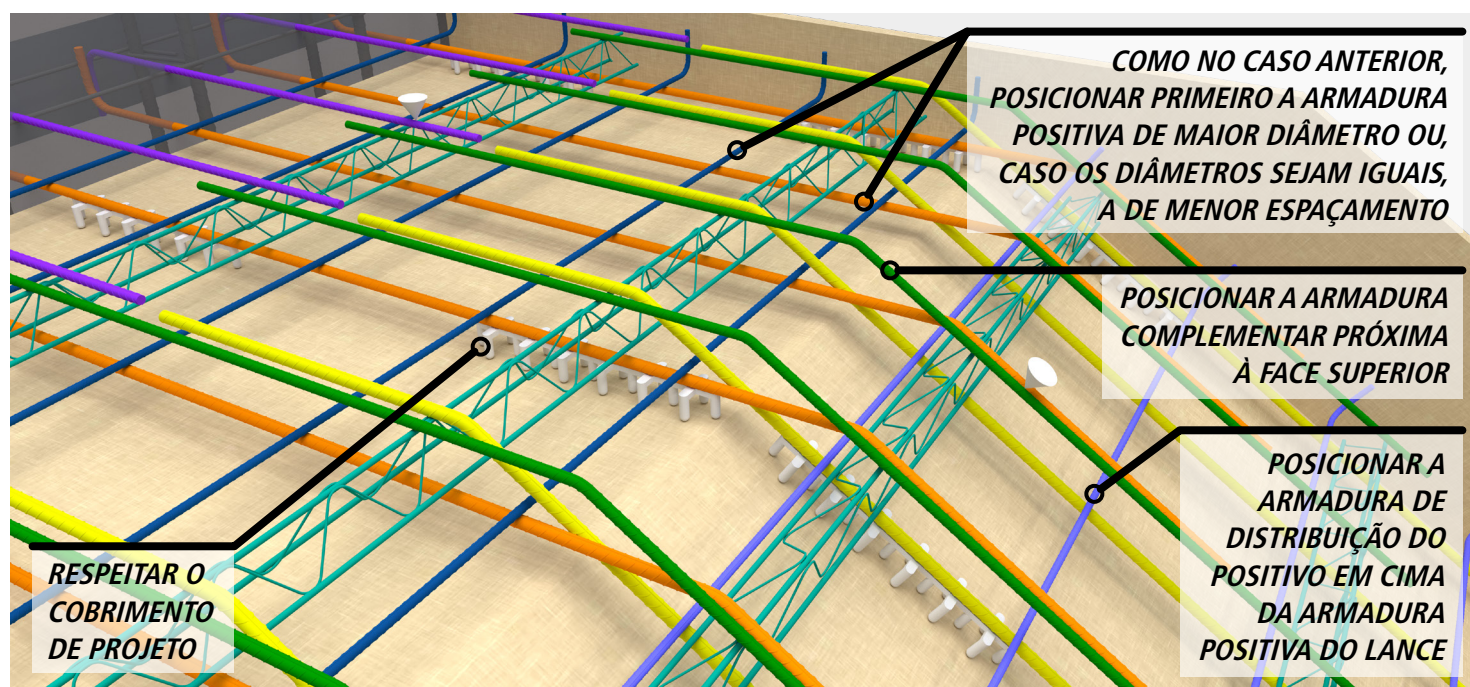


Figura 12.9
Exemplo da armadura dos lances apoiados em patamar e pilar

**Figura 12.10**

Detalhe do encontro do patamar com o lance (que se apoia em pilar)

**Figura 12.11**

Detalhe do encontro do lance (que se apoia em pilar) com o patamar

CONCLUSÃO

Incentivar boas práticas na montagem das armaduras de estruturas em concreto armado é essencial para garantir a durabilidade e a segurança do sistema estrutural, além de reduzir custos e retrabalho em obra.

Com mais de 45 anos de experiência em projetos e obras de diversas escalas e complexidades, a França e Associados acredita que o detalhamento presente na documentação liberada à obra, além de ser corretamente dimensionado, claro e legível, não pode deixar de ser integralmente exequível. Isso não apenas impede a abertura de brechas para interpretações erradas e impactos negativos quanto à segurança, mas também transforma o papel do projetista estrutural no canteiro de obras. Com um projeto bem feito e de fácil compreensão, o projetista estrutural, ao visitar a obra, estará presente apenas para orientar procedimentos pontuais e reiterar boas práticas, em vez de ser considerado um agente fiscalizador.

Nós, na França e Associados e na Gerdau, acreditamos que a evolução contínua da cadeia produtiva da construção civil é uma tarefa que nunca deve ser deixada em segundo plano. Manter processos em constante retroalimentação a favor de melhorias requer o trabalho conjunto - e árduo - dos diversos atores e disciplinas envolvidos.

A partir da concepção e do desenvolvimento de um projeto estrutural bem detalhado e uma execução meticulosa e atenta às melhores práticas, acreditamos ser capazes de contribuir positivamente nesse movimento.

Ademais, há necessidade de capacitar profissionais de obra com os conhecimentos básicos sobre o comportamento de elementos estruturais e patologias, de modo a formar uma equipe capaz de uma análise crítica dos desafios encontrados ao construir. As inúmeras vantagens disso culminam na melhoria da qualidade de execução do empreendimento como um todo.

Além disso, é importante enfatizar que a presença do projetista estrutural na obra, durante as etapas de concretagem, algo ainda pouco comum hoje, pode beneficiar a promoção de melhores

processos, fechando a lacuna entre o projetado e o construído no setor da engenharia de estruturas.

Promover bons exemplos e encorajar um olhar crítico sobre os procedimentos em obra tem o potencial de habilitar os profissionais envolvidos e gerar um ciclo virtuoso, o que beneficia o setor da construção civil e a cadeia produtiva em geral. Certamente, nossa experiência neste âmbito tem sido extremamente frutuosa.

Com as ferramentas adequadas, métodos eficientes e uma visão sustentável sobre o uso de materiais e mão de obra, enfrentamos o desafio de nos mantermos sempre em movimento, compartilhando o que aprendemos para que todos cresçamos juntos.

As recomendações presentes neste Volume têm o potencial de contribuir consideravelmente na redução de patologias em estruturas de concreto armado. Além disso, os cuidados adicionais apresentados neste Manual, relacionados ao corte e dobra, à pré-montagem, ao transporte e à montagem das armaduras no canteiro de obras, são capazes de reduzir riscos e prevenir acidentes diversos. Com isso, retrabalhos também são minimizados e o controle de custos torna-se mais eficiente.

Vale lembrar que a divulgação deste material e aprendizado continua em formato animado nos canais de comunicação digital e nas redes sociais da França e Associados, por meio da *Série de Vídeos Boas Práticas na Montagem das Armaduras*. Por meio de um material cada vez mais acessível e dinâmico, esperamos, mais uma vez, continuar avançando na disseminação das boas práticas no meio.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM G109-7: **Standard Test Method for Determining Effects of Chemical Admixtures on Corrosion of Embedded Steel Reinforcement in Concrete Exposed to Chloride Environments**. ASTM International, West Conshohocken, 2013.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ACI 421.1R-08 **Guide to Shear Reinforcement for Slabs**. Reported by Joint ACI-ASCE Committee 421, 2008.
- APOSTOLOPOULOS, C. A.; DEMIS, S.; PAPADAKIS, V. G. Chloride-induced corrosion of steel reinforcement: mechanical performance and pit depth analysis. **Construction and Building Materials**. 38, p. 139-146, 2013.
- ARAUJO, A. de et al. **Corrosão do aço-carbono em concreto armado**. In: Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos, 2017, Rio de Janeiro: COTEQ, 2017.
- ARAUJO, A. de; MARTINS, M. S. **Corrosão do Aço-Carbono no Canteiro de Obras**: cuidados no recebimento, no armazenamento e na proteção de barras de espera. 2020.
- ARAUJO, A. de; PANOSSIAN, Z. **Durabilidade de estruturas de concreto em ambiente marinho**: estudo de caso. Fortaleza: Intercorr, 2010.
- ARAUJO, A.; PANOSSIAN, Z.; OLIVEIRA, K. J.; PEREIRA FILHO, M. L. **Resistividade elétrica do concreto na avaliação do estado de conservação de estruturas atmosféricas**. In: ENCONTRO LUSO-BRASILEIRO DE DEGRADAÇÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO. Salvador, 2014, 14 p.
- ARAUJO, A.; PANOSSIAN, Z.; ROSA, T. G. Comportamento eletroquímico do aço-carbono em concreto: potencial de eletrodo e densidade de corrente elétrica. **Téchne**, v. 25, n. 247, p. 29-39, 2017.
- ARAUJO, A.; PANOSSIAN, Z.; PORTELLA, P. D.; BASSLER, R. Monitoramento da corrosão em estruturas de concreto: sensor galvânico. **Téchne**, v. 21, p. 62-66, 2013.
- ARAUJO, J. M. de. **Curso de Concreto Armado**. 4ª edição. Rio Grande: Editora Dunas, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6118:2023 - **Projeto de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro, 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6122:2022 - **Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 6892-1:2024 - **Materiais metálicos** - Ensaio de tração - Parte 1: Método de ensaio em temperatura ambiente. Rio de Janeiro, 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9452:2023 - **Inspeção de pontes, viadutos e passarelas** - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2023. 48 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7480:2024 - **Aço destinado às armaduras para estruturas de concreto armado** - Requisitos. Rio de Janeiro, 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12655:2022 - **Concreto de cimento Portland** - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 14931:2023 - **Execução de estruturas de concreto armado, protendido e com fibras** - Requisitos. Rio de Janeiro, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15575-1:2024 - **Edificações habitacionais** - Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16450:2021 - **Ensaio não destrutivo** - Líquido penetrante - Qualificação de procedimento. Rio de Janeiro, 2021.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI). BS 7973-2: **Spacers and chairs for steel reinforcement and their specification - Part 2: Fixing and application of spacers and chairs and tying of reinforcement**. UK, 2001.

CALAVERA RUIZ, J. **Manual for detailing reinforced concrete structures to EC2**. London: Editora Spon Press, 2012.

CONTECVET. **A validated user's manual for assessing the residual service life of concrete structures**. Manual for Assessing Structures Affected by ASR, EC Innovation Programme IN309021, 2001. 139 p.

DAL MOLIN, D. C. C. et al. Contribuição à Previsão da Vida Útil de Estruturas de Concreto. In: KAZMIERCZAK, C. de S.; FABRICIO, M. M. (Orgs.) **Avaliação de Desempenho de Tecnologias Construtivas Inovadoras: materiais e sustentabilidade**. Porto Alegre: ANTAC e Editora Scienza, 2016. p. 223-270.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE OHIO. **Investigation of the strength of the connection between a concrete cap and the embedded end of a steel H-Pile**. 1947.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 1504-2: **Products and systems for the protection and repair of concrete structures** – Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity: surface protection systems for concrete. London: British Standards Institution, 2004, 10 p.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 1504-3: **Products and systems for the protection and repair of concrete structures** – Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity: structural and non-structural repair. London: British Standards Institution, 2005, 11 p.

EUROPEAN ORGANIZATION FOR TECHNICAL ASSESSMENT. EAD 160003-00-0301 - **Double headed studs for the increase of punching shear resistance of flat slabs or footings and ground slabs**. Bruxelas, 2018.

FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON. FIB. N° 22. **Monitoring and safety evaluation of existing concrete structures**. State-of-art report. ISBN 978-2-88394-062-8, 2003, 304 p.

FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON. FIB. N° 102. **Guide for Protection and Repair of Concrete Structures**. Guide for good practice. ISBN 978-2-88394-155-7, 2022, 291 p.

FORTES, G. L.; ARAKAWA MARTINS, L.; FRANÇA, R. L. S. Mais segurança na montagem das armações. **Revista Estrutura**, São Paulo, edição 12, ano 6, pp. 37-40, março, 2023.

FUSCO, P. B. **Técnicas de armar as estruturas de concreto**. 2ª edição, São Paulo, 2013.

GENTIL, V. **Corrosão**. 6ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

HELENE, P. R. L. **Corrosão em armaduras para concreto armado**. São Paulo: PINI, 1986.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 13822: **Bases for design of structures** – Assessment of existing structures. Geneva, 2010, 44 p.

KLEIN JUNIOR, O. **Para ter uma ligação ideal**. Revista Estrutura, São Paulo, edição 13, ano 6, pp. 33-38, outubro, 2023.

KOCH, G. H. et al. **Corrosion Cost and Preventive Strategies in the United States**. Washington: Federal Highway Administration, 2002.

KOULOURIS, K.; APOSTOLOPOULOS, C. **Study of the residual bond strength between corroded steel bars and concrete: a comparison with the recommendations of Fib Model Code 2010**. Metals, v. 11, 2021. 20 p.

LEAN INSTITUTE BRASIL. **Apostila Liderança Lean para Supervisores**. São Paulo, 2014.

LEAN INSTITUTE BRASIL. **Apostila Lean Coaching**. São Paulo, 2014.

LEAN INSTITUTE BRASIL. **Apostila Gerenciamento Diário**. São Paulo, 2015.

LEONHARDT, F.; MÖNNIG, E. **Construções de concreto - Vol. 3**. Princípios básicos sobre a armação de estruturas de concreto armado. Rio de Janeiro: Interciência, 1978.

LIFECON. **Probabilistic service life models for reinforced concrete structures**. Final Report Deliverable D3.2, RDT Project, Center for Building Materials - Technical University of Munich, Munich, 2003. 169 p.

MARAN, A. P. **Análise da influência da distribuição de espaçadores na garantia da espessura de cobrimento especificada em lajes de concreto armado**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, 2015.

MARAM, A. P. **Proposta de diretriz para uso de espaçadores em lajes maciças de concreto armado, visando a obtenção do cobrimento especificado pela limitação da deformação plástica da armadura durante a execução**. Tese (doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, 2020.

MARTINS, M. S. **Análise de viabilidade do uso de armaduras de aço patinável e armaduras zincadas em estruturas de concreto armado sujeitas à corrosão por carbonatação**. Dissertação (Mestrado em Habitação, Planejamento e Tecnologia). Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo, 2019.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: Microestrutura, Propriedades e Materiais. 2 ed. São Paulo: Nicole Pagan Hasparyk, IBRACON, 2014. 751 p.

MENNA BARRETO, M. F. F. **Avaliação de desempenho de espaçadores plásticos**: proposição e avanço de métodos de avaliação. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, 2014.

NAKAJIMA, J.; ARAKAWA MARTINS, L.; FORTES, G. L. Montagem correta de armação em laje plana. **Revista Estrutura**, São Paulo, edição 9, ano 4, pp. 56-61, outubro, 2020.

NAKAJIMA, J.; ARAKAWA MARTINS, L.; FORTES, G. L. Posição ideal. **Revista Estrutura**, São Paulo, edição 10, ano 5, pp. 34-39, julho, 2021.

RIBEIRO, D. V. (Coord.). **Corrosão e Degradação em Estruturas de Concreto Armado**: teoria, controle e métodos de análise. 2ª edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

WOLYNEC, S. **Técnicas Eletroquímicas em Corrosão**. São Paulo: EDUSP, 2013.

AGRADECIMENTOS

Nós, autores deste Manual, agradecemos à Gerdau pelo apoio a este projeto. Em especial, a Bárbara Marta Albuquerque Oda, Aretha Caliman e Bianca Marques Meo pelo suporte durante o processo de desenvolvimento deste material, desde sua concepção, passando pelos trâmites administrativos, à revisão e à finalização do trabalho.

Agradecemos a Débora Junge Baum, da Gerdau, pelo apoio que sua equipe nos deu desde o início deste projeto.

Agradecemos a Antonio Carlos Zorzi, por influenciar o início do projeto de boas práticas nas obras, visando sempre a melhoria contínua da cadeia produtiva da construção civil.

Agradecemos a Jorge Batlouni Neto, que sempre compartilhou sua experiência, sua técnica e seu conhecimento para avançarmos juntos na evolução da construção civil brasileira.

Agradecemos a Adriana de Araujo pelas contribuições e orientações técnicas nos temas relativos à corrosão das armaduras e às inspeções.

Agradecemos a Jacson Polese dos Santos, Ana Paula Maran, Maria Fernanda Fávero Menna Barreto e Grazielle Ribeiro Vicente por contribuírem com riquíssimas informações sobre a importância dos espaçadores, suas especificidades e melhores práticas. Agradecemos à JACP, que gentilmente autorizou o uso da imagem do espaçador de concreto, o PAC Espaçador.

Agradecemos a Jessika Pacheco, pelas orientações das tolerâncias de armaduras incorporadas na *ABNT NBR 14931*.

Agradecemos a Naira Ery Asano, Lucas Pulcinelli Gouveia, João Roberto Soriani e Carolina Fantinato Simões por contribuírem com os estudos da REC.

Agradecemos a TQS Informática, em particular a Guilherme Covas, por apoiar e divulgar o Manual de Boas Práticas em seus meios de comunicação.

Nossos agradecimentos também vão à equipe da França e Associados Projetos Estruturais, tanto aos antigos quanto aos atuais colaboradores, por contribuírem com mais de 45 anos de experiência e colaboração. Em especial, agradecemos aos diretores Ricardo Leopoldo e Silva França e Reinaldo Hideyuki Kaizuka, pela fonte constante de conhecimento e incentivo na divulgação das boas práticas para todos - colaboradores, clientes da França e Associados Projetos Estruturais e o público em geral.

Agradecemos a Odinir Klein Jr. pelas orientações técnicas relativas aos blocos de coroamento sobre perfis metálicos (além de suas revisões técnicas gerais) e a Daniel Miranda dos Santos pelas contribuições sobre armaduras de sapatas, blocos de coroamento e reservatórios (e também por suas revisões técnicas gerais). Agradecemos a Maurizio Vairo e Gustavo Licht Fortes pela revisão e validação geral dos conceitos desde o início deste trabalho e ao Professor Petrus Gorgônio Bulhões da Nóbrega pelas ricas contribuições e revisão geral desta edição.

Finalmente, dedicamos este trabalho a nossas famílias, em especial a Karin, Mirela, Diogo, Marcio e Maurizio (novamente), pela força e compreensão, sem as quais não teríamos chegado até aqui.

Primeira Edição
Papel
Tipografia

Maio, 2025
Couché 115 g/m²
Família Frutiger

Esta edição do Manual de Boas Práticas - Montagem das Armaduras de Estruturas de Concreto Armado vem reunir detalhes dos principais elementos estruturais de edifícios em concreto armado em apenas um livro, que pode ser consultado em qualquer lugar, a qualquer hora, de maneira completa.

Elaborado pela França e Associados e a Gerdau, este Manual conta com a expertise de duas empresas líderes no mercado, com décadas de experiência fornecendo serviços para a construção civil nacional. Além disso, todos os pontos detalhados aqui são baseados em extenso estudo das normas técnicas e em publicações clássicas sobre engenharia estrutural.

Democratizando os conhecimentos e a prática que cultivamos durante nosso cuidadoso trabalho até então, esperamos poder contribuir e incentivar, por meio das ilustrações presentes neste exemplar, um olhar crítico e atento sobre os procedimentos utilizados hoje na cadeia produtiva da construção de edificações de concreto armado.

ISBN: 978-65-01-11308-1



9 786501 113081