

# MANUAL DE BOAS PRÁTICAS

*MONTAGEM DAS  
ARMADURAS DE  
ESTRUTURAS DE  
CONCRETO ARMADO*

*Elementos de fundações,  
reservatórios, piscinas e escadas*

*Jorge Nakajima  
Larissa Arakawa Martins*

VOLUME 2

Realização



Colaboração



# MANUAL DE BOAS PRÁTICAS

## *MONTAGEM DAS ARMADURAS DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO*

*Elementos de fundações,  
reservatórios, piscinas e escadas*

### **Conteúdo e edição**

Jorge Nakajima

Larissa Arakawa Martins

### **Colaboração**

Gerdau

### **Realização**



### **Colaboração**



Copyright © 2022 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.

Primeira edição: 2022.

ISBN 978-65-00-52315-7

Citação recomendada:

Nakajima, Jorge; Arakawa Martins, Larissa. **Manual de Boas Práticas** - Montagem das Armaduras de Estruturas de Concreto Armado. Volume 2. São Paulo: França e Associados Projetos Estruturais, 2022.

Desde a criação da França e Associados, há mais de quarenta 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!

**Ricardo Leopoldo e Silva França**

Sócio-diretor da França e Associados Projetos Estruturais

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 e Larissa Arakawa Martins, e da tradição do escritório França e Associados Projetos Estruturais, onde trabalham, traz conceitos que foram sendo desenvolvidos e aprimorados no decorrer do tempo.

Este trabalho, o segundo livro dos autores sobre o tema, 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 as barras 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, pois visa 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 das barras 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, irá auxiliar tanto os engenheiros projetistas de estruturas no detalhamento dos seus projetos quanto os engenheiros residentes nas obras, nas montagens e 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.

**Jorge Batlouni Neto**

Diretor da Tecnum Construtora

Vice-presidente do SindusCon-SP



Nesta publicação, os autores apresentam de forma didática um compilado essencial de boas práticas na armação de estruturas de concreto armado, complementando de forma brilhante os temas já tratados no Volume 1 desta série.

Com 121 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 9 países e conta com mais de 36 mil colaboradores diretos e indiretos em todas as suas operações. Maior recicladora da América Latina, a Gerdau tem na sucata uma importante matéria-prima: 73% 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 (CO<sub>2</sub>e), de 0,90 t de CO<sub>2</sub>e por tonelada de aço, o que representa aproximadamente a metade da média global do setor, de 1,89t de CO<sub>2</sub>e por tonelada de aço (worldsteel). Em 2031, as emissões de carbono da Gerdau vão diminuir para 0,83t de CO<sub>2</sub>e por tonelada de aço.

Tivemos o prazer de contar mais uma vez com a experiência técnica e prática da empresa França e Associados Projetos Estruturais como autores deste primoroso trabalho. A Gerdau, com a participação da pesquisadora Adriana de Araújo, contribui nesta obra com o capítulo de Inspeção e Manutenção de estruturas, um tema relevante para o avanço da construção civil no País de forma sustentável.

O Volume 1 teve uma excelente receptividade no meio técnico e acadêmico, reforçando que existe uma lacuna a ser preenchida neste campo. A boa prática acaba sendo um tema essencial, aliada ao conhecimento técnico dos profissionais que atuam na construção civil brasileira. Uma armação 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.

A eficiência na construção é um tema que permeia as ações da Gerdau. A busca por melhoria na produtividade e 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.

Esta publicação conta com 8 capítulos, que abrangem: detalhes construtivos; armaduras de sapatas; armaduras de blocos de coroamento; armaduras de vigas de fundação e cortinas; armaduras de reservatórios e piscina; armaduras de escadas; e, por fim, inspeção de estruturas.

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

Boa leitura!

**Maurício Silveira Martins**

Especialista de Marketing Construção Civil da Gerdau



**10**

**COMO USAR ESTE MANUAL  
& GLOSSÁRIO**

**16**

**INTRODUÇÃO**

**20**

**CAPÍTULO 1**  
*DETALHES CONSTRUTIVOS*

**28**

**CAPÍTULO 2**  
*ARMADURAS DE SAPATAS*

**38**

**CAPÍTULO 3**  
*ARMADURAS DE BLOCOS DE COROAMENTO*

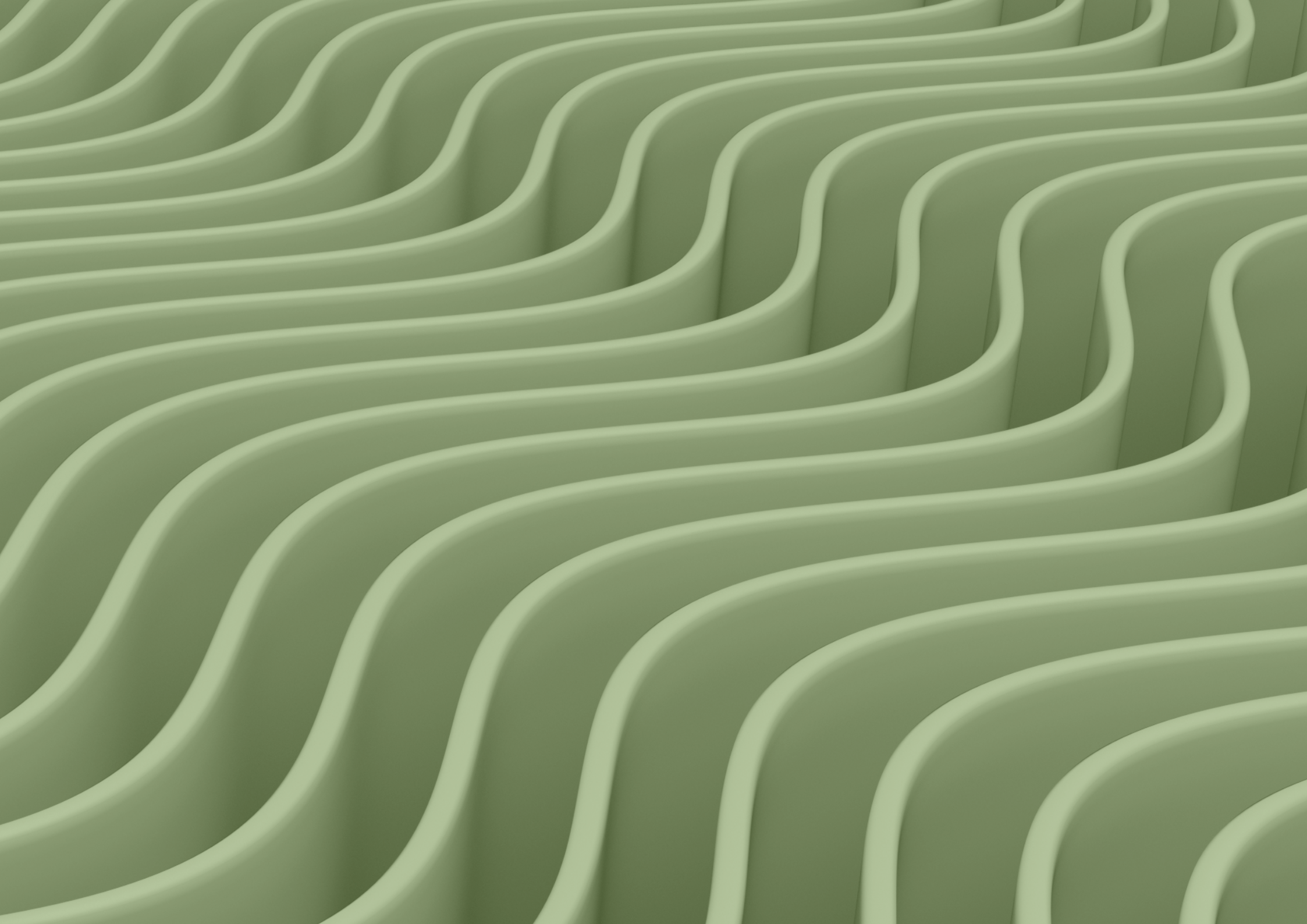
**54**

**CAPÍTULO 4**  
*ARMADURAS DE VIGAS DA FUNDAÇÃO*

<b>68</b>	<b>CAPÍTULO 5</b> <i>ARMADURAS DE CORTINAS</i>
<b>78</b>	<b>CAPÍTULO 6</b> <i>ARMADURAS DE RESERVATÓRIOS E PISCINAS</i>
<b>96</b>	<b>CAPÍTULO 7</b> <i>ARMADURAS DE ESCADAS</i>
<b>104</b>	<b>CAPÍTULO 8</b> <i>INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS</i>
<b>114</b>	<b>CONCLUSÃO</b>
<b>118</b>	<b>REFERÊNCIAS &amp; AGRADECIMENTOS</b>

# MANUAL DE BOAS PRÁTICAS

*COMO USAR  
ESTE MANUAL  
& GLOSSÁRIO*



Assim como apresentadas no **Volume 1** do *Manual de Boas Práticas - Montagem das Armaduras de Estruturas de Concreto Armado (2021)*, as figuras do **Volume 2** seguem um padrão único de cores e formas. Desse modo, é possível identificar cada elemento estrutural representado com clareza e precisão.

Os espaçadores e cobrimentos aparecerão sempre representados como nas **imagens desta página (CONVENÇÕES PARA ESPAÇADORES)**. 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.

Os cobrimentos em laje, viga, pilar, escada, reservatório e piscina também serão representados graficamente, como mostrados ao lado, de modo a enfatizar sua importância.

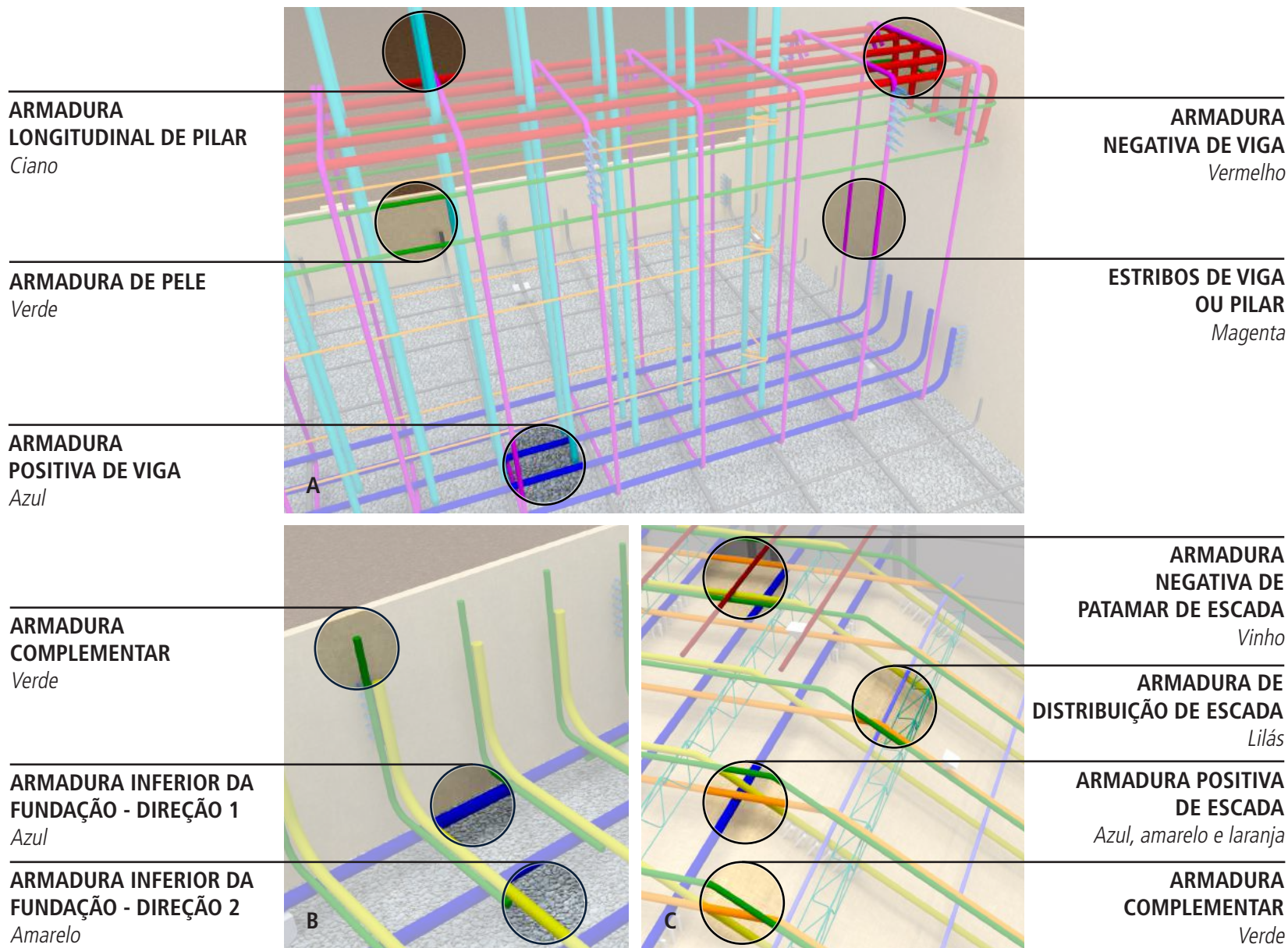
Como para os espaçadores, as armaduras também possuem suas próprias cores. Assim, **nos exemplos na próxima página (CONVENÇÕES PARA ARMADURAS)**, é possível encontrar todas as principais convenções de cores que foram utilizadas para representar cada armadura presente nas páginas deste manual.

Relembramos que, em alguns capítulos, apresentamos figuras em sequência, de modo a exemplificar etapas de executivas de certos elementos. Nestas imagens, apenas os elementos novos ou 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.

## CONVENÇÕES PARA ESPAÇADORES

	COBRIMENTO EM LAJE OU ESCADA
	COBRIMENTO EM BLOCO DE COROAMENTO, PILAR OU VIGA
	COBRIMENTO EM RESERVATÓRIOS OU PISCINAS
	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
	ROLETE
	ESPAÇADOR DE ARGAMASSA OU CONCRETO

# CONVENÇÕES PARA ARMADURAS



**Figuras A, B e C**  
*Elementos e padrões de cores*

Para tornar o uso deste Manual de Boas Práticas ainda mais claro, um glossário dos principais termos utilizados nos próximos capítulos pode ser encontrado nesta seção.

Para outros termos utilizados com frequência no meio da engenharia estrutural em concreto armado, recomendamos a consulta do glossário presente no Volume 1 do *Manual de Boas Práticas - Montagem das Armaduras de Estruturas de Concreto Armado (2021)*.

### **BLOCO DE COROAMENTO**

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

### **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 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 água provocam na estrutura.

### **ESCADA**

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

### **ESTACA**

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

### **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.

### **MÍSULA**

Elemento de concreto 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.

### **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 fletores) 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.

### **VIGA ALAVANCA OU DE EQUILÍBRIO**

Elemento estrutural que resiste aos esforços gerados quando o elemento de fundação não está centralizado no pilar. Ocorre geralmente junto aos limites do terreno, por limitações de execução ou do equipamento utilizado.

### **VIGA BALDRAME**

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.

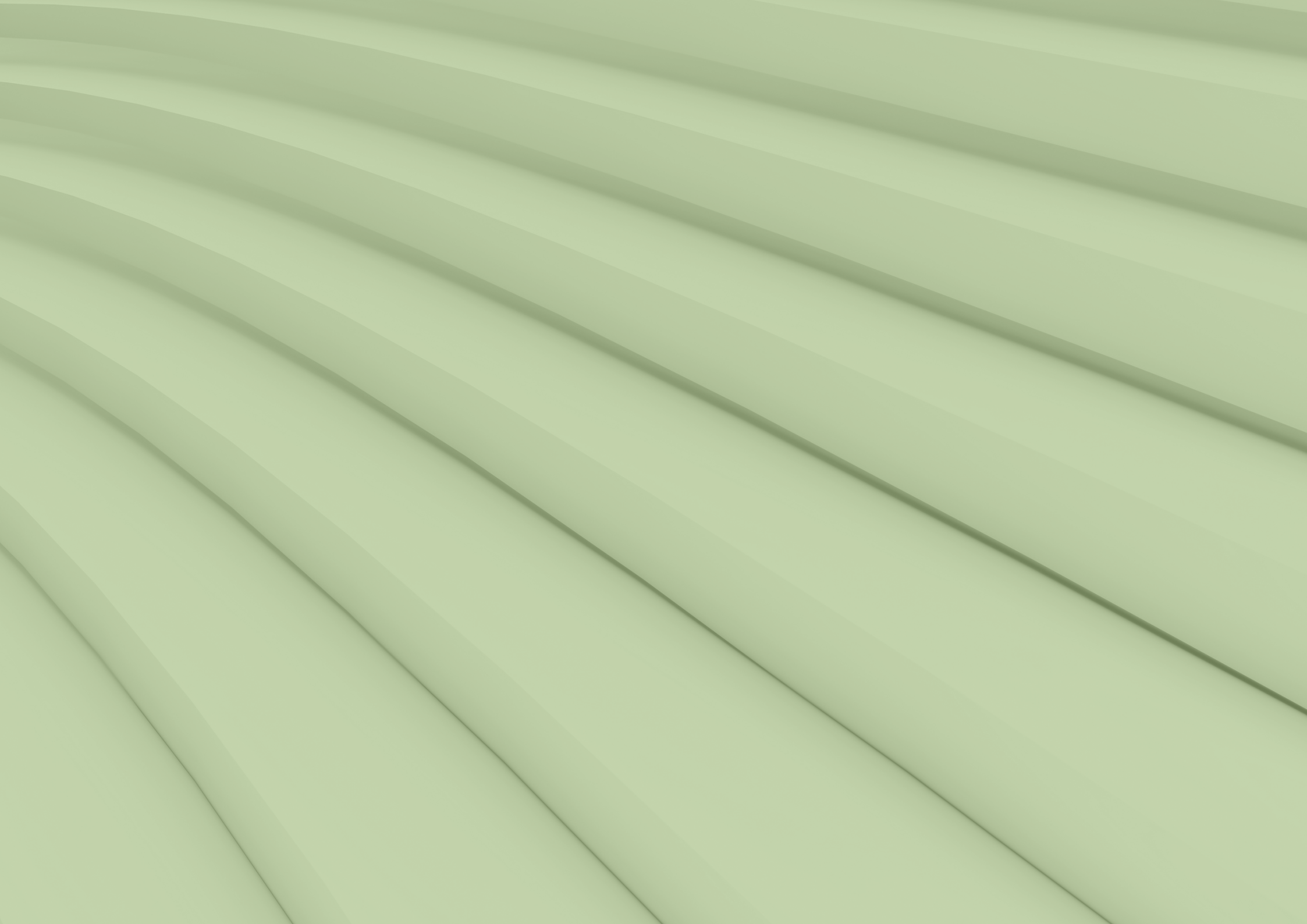
### **VIGA DE TRAVAMENTO**

Vigas que resistem aos esforços adicionais devido aos pequenos desvios da posição das estacas, dentro de certos limites.



# MANUAL DE BOAS PRÁTICAS

*INTRODUÇÃO*



Não é possível negar a importância da disseminação de boas práticas em todas as etapas de um projeto de estruturas. Desde a concepção inicial e a avaliação de alternativas estruturais, até as etapas de execução e acompanhamento em obra, entender e exercitar rotinas que prezam pelo rigor em detalhes e pelo aprimoramento contínuo dos processos é essencial. Foi com estes objetivos em mente que a série de materiais *Boas Práticas - Montagem das Armaduras de Estruturas de Concreto Armado* foi idealizada. A partir de ilustrações tridimensionais e vídeos animados detalhando procedimentos e etapas de montagem de armaduras em estruturas em concreto armado, a ideia evoluiu para uma série de manuais impressos e digitais, cujo Volume 2 encontra-se em suas mãos neste momento. Embora este compilado de Boas Práticas seja destinado especificamente às armaduras de estruturas em concreto armado moldado *in loco* e sua montagem no canteiro de obras, acredita-se que a iniciativa tem o poder de influenciar melhores práticas em todas as etapas do projeto estrutural.

No Volume 1 do *Manual de Boas Práticas - Montagem das Armaduras de Estruturas de Concreto Armado*, lançado em 2021 pela França e Associados Projetos Estruturais, com o apoio da Gerdau, 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. O Volume 1 deste manual definiu as bases para o presente volume e veio preencher uma lacuna encontrada pela França e Associados em seus mais de 40 anos de experiência: a falta de materiais destinados ao mercado da construção civil que facilitassem o entendimento dos diferentes detalhes estruturais, de maneira primordialmente gráfica.

Definidos e detalhados tais elementos primordiais quando se pensa em um projeto convencional em concreto armado, a ideia se expandiu para elementos que, embora importantes, ainda possuem pouca representatividade na literatura atual sobre o assunto. Assim, nasceu

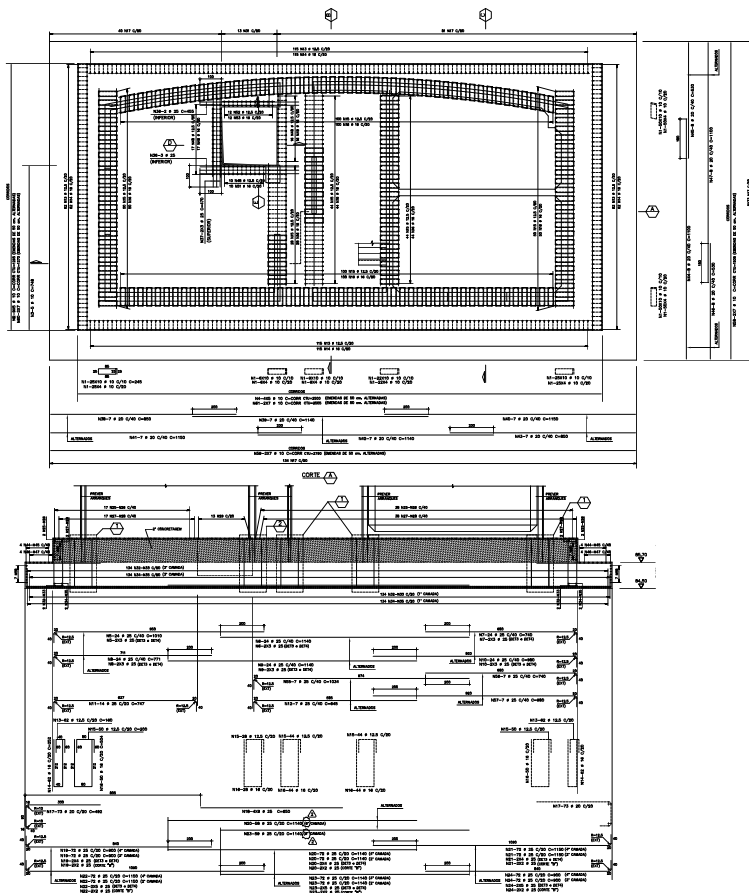
o Volume 2 do *Manual de Boas Práticas*, contemplando detalhes dos elementos de fundação, reservatórios, piscinas e escadas.

Iniciamos este volume analisando a importância da correta execução e montagem de pontos estruturais gerais, como o posicionamento dos arranques nos elementos estruturais de fundação e as emendas em vergalhões. Embora tais detalhes possam parecer óbvios, eles podem, muitas vezes, passar despercebidos mesmo sob o olhar dos mais experientes no assunto. Além disso, pequenos detalhes como estes, que devem, geralmente, ser previstos em etapas de projeto, podem influenciar muito além do comportamento estrutural: influenciam também no transporte de materiais à obra e na segurança dos trabalhadores no canteiro. A segmentação e a emenda de armaduras em blocos de coroamento de grandes dimensões, por exemplo, são de extrema relevância para facilitar o transporte dos vergalhões, o posicionamento das armaduras e o acesso do armador em trechos do elemento estrutural que possuem densidade de armadura elevada.

Este volume aborda também os elementos de fundação, cujo papel fundamental na transmissão dos esforços da superestrutura para o solo os torna elementos estruturais dignos de especial cuidado, tanto no dimensionamento estrutural quanto na execução no canteiro de obras.

Passando pelo detalhamento de reservatórios e piscinas, este manual enfatiza a importância da correta execução de pontos onde há concentrações de esforços de flexo-tração, como nos encontros entre as paredes e entre as paredes e as lajes de fundo. Reservatórios, em especial, por sua função indispensável no sistema hidrossanitário em edifícios, merecem extremo rigor em sua execução, já que patologias resultantes de erros de execução podem desencadear consequências significativas no abastecimento de água pós-ocupação.

A montagem das armaduras de escadas de concreto armado moldado *in loco* também não poderia deixar de estar presente neste volume. Além de sua importância fundamental para a circulação vertical



**Figura D**  
*Detalhamento das armaduras de uma das grandes sapatas do empreendimento e-Tower, construído pela Tecnum Construtora, e cujo projeto estrutural é de autoria da França e Associados*

cotidiana, as escadas têm especial importância quanto à segurança dos usuários em caso de evacuação em situações de emergência. A correta montagem e a execução destes elementos também requerem precisão em seus pormenores.

Vale ressaltar que todos os pontos detalhados neste e no volume anterior do Manual são baseados em extenso estudo das normas técnicas brasileiras vigentes e em publicações clássicas sobre engenharia estrutural, como os textos de Leonhardt e Mönnig. Os Manuais ainda contam com a expertise da equipe da Gerdau, que possui mais de 120 anos de experiência na produção de elementos em aço para a construção civil. O capítulo final deste volume, que trata das inspeções dos elementos estruturais em concreto armado, conclui este material com importantes considerações sobre as melhores práticas observadas pela Gerdau durante sua experiência centenária.

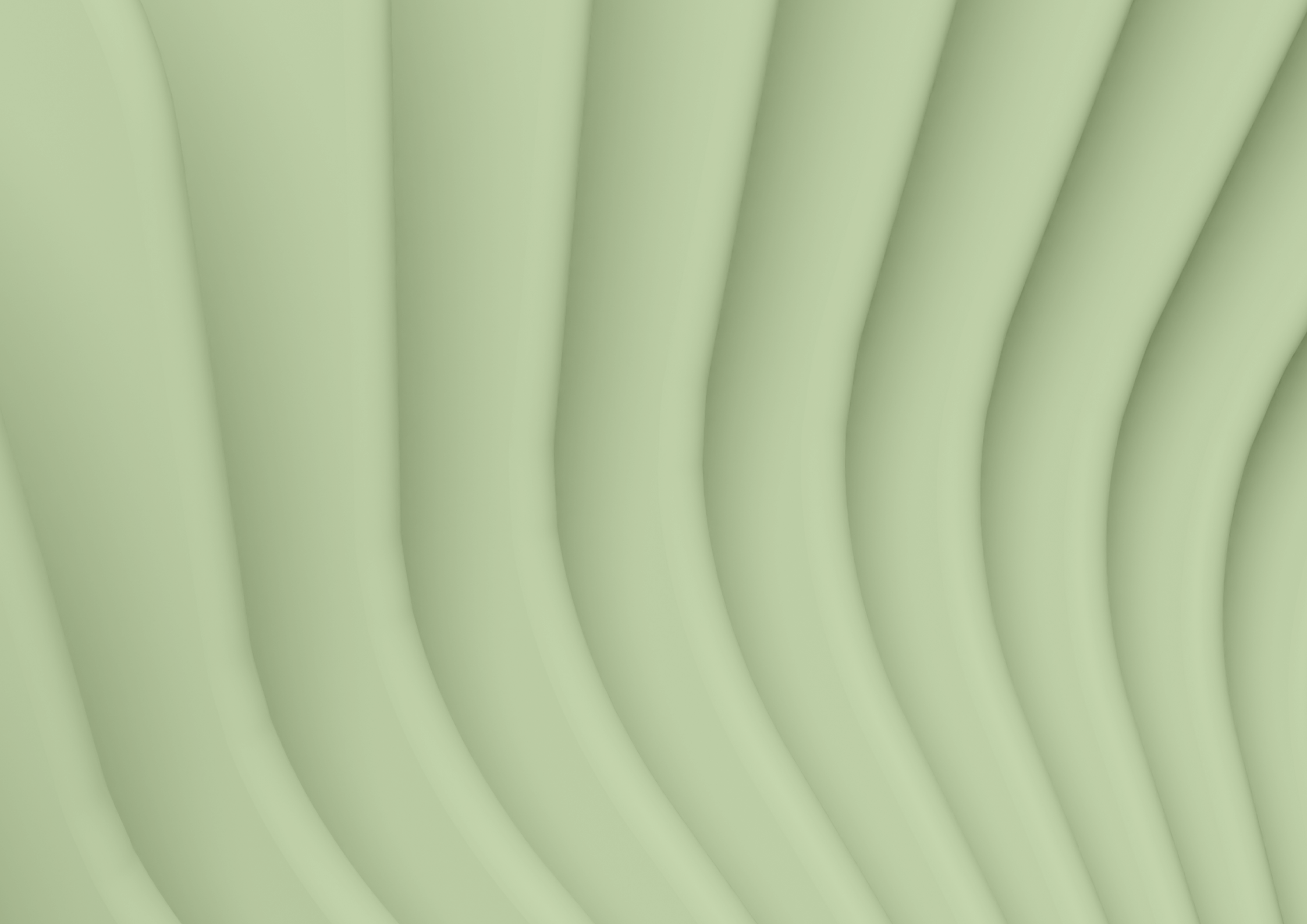
Por fim, destacamos que este Manual e seu volume precursor são para todos. Esperamos auxiliar todos os profissionais envolvidos – do estudante de engenharia ao encarregado de obras, ao fornecedor de materiais e ao diretor incorporador.

Democratizando os conhecimentos e a prática que nós e nossos colegas da França e Associados Projetos Estruturais cultivamos há anos, almejamos encorajar, 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.

# MANUAL DE BOAS PRÁTICAS

*CAPÍTULO 1*

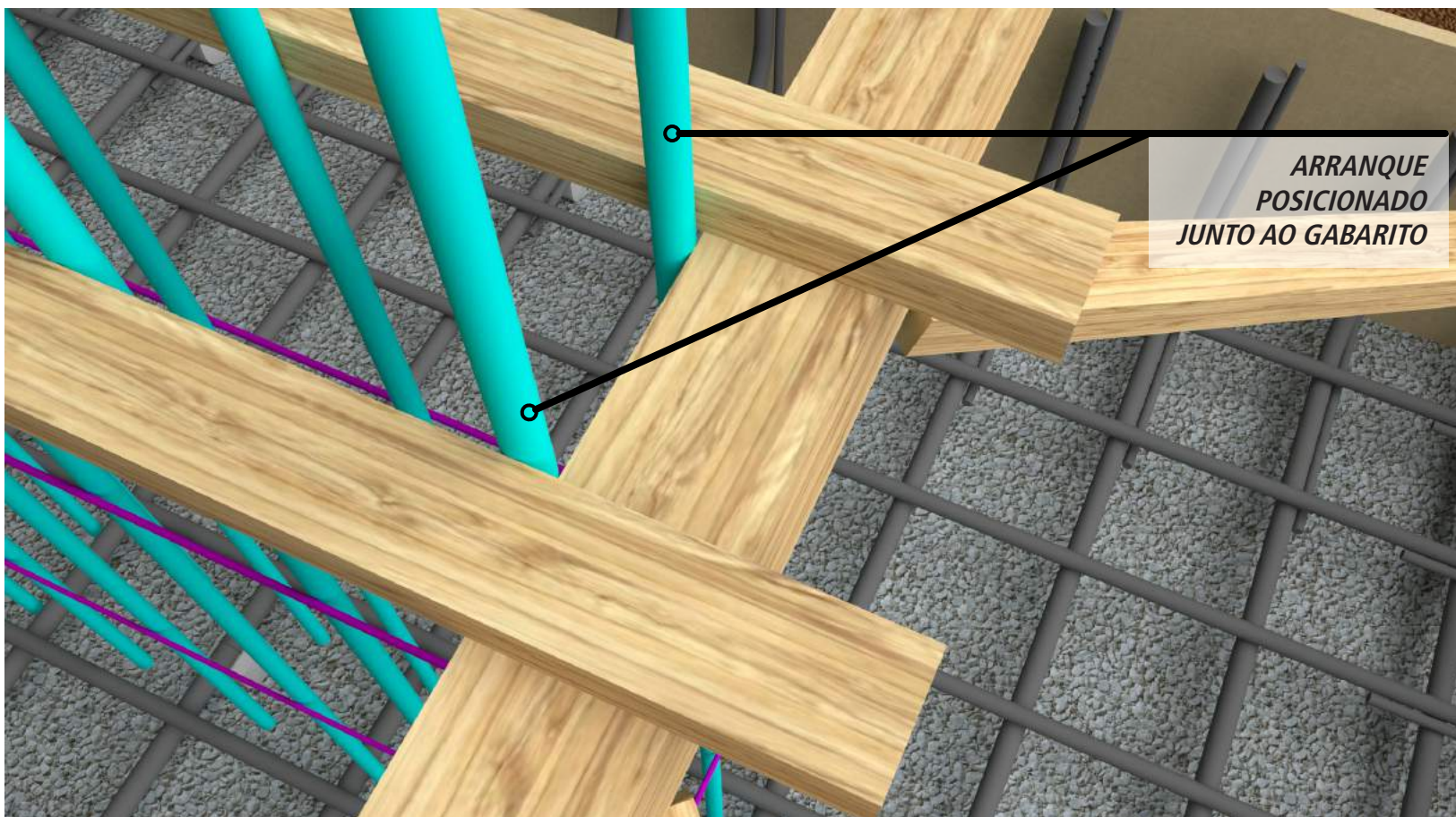
*DETALHES  
CONSTRUTIVOS*



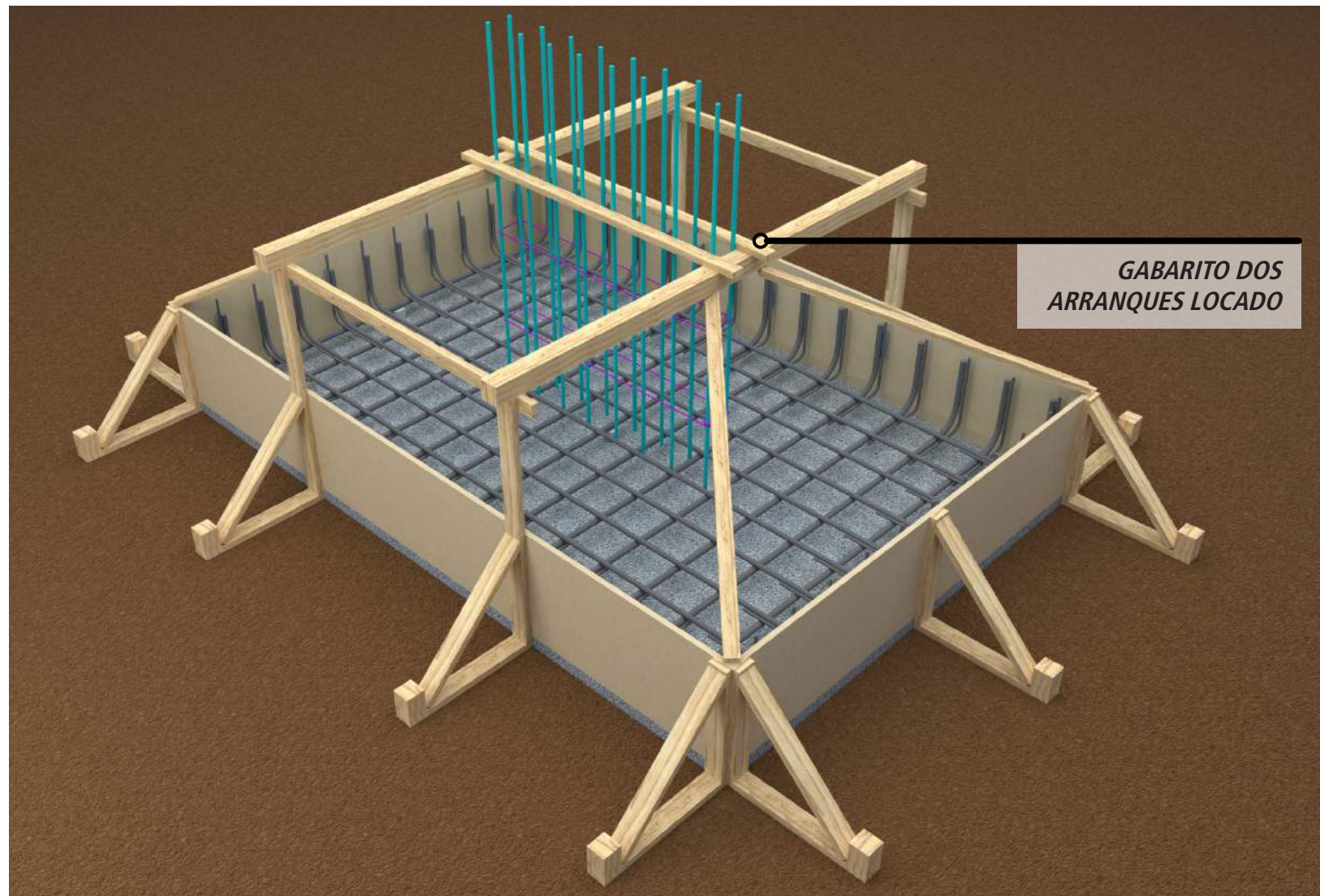
De modo a facilitar a montagem das armaduras e a concretagem de elementos especiais em concreto armado, uma série de detalhes construtivos deve estar presente em projeto e em obra. Neste capítulo, detalhamos pontos de atenção, como os arranques dos pilares nos elementos estruturais de fundação e as emendas em vergalhões.

### 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 gualdrão) cujas dimensões consideram o lado do pilar subtraindo dois cobrimentos e dois diâmetros do estribo (**Figura 1.1**). O gabarito é, então, posicionado acima do topo dos elementos estruturais (**Figuras 1.2 e 1.3**).

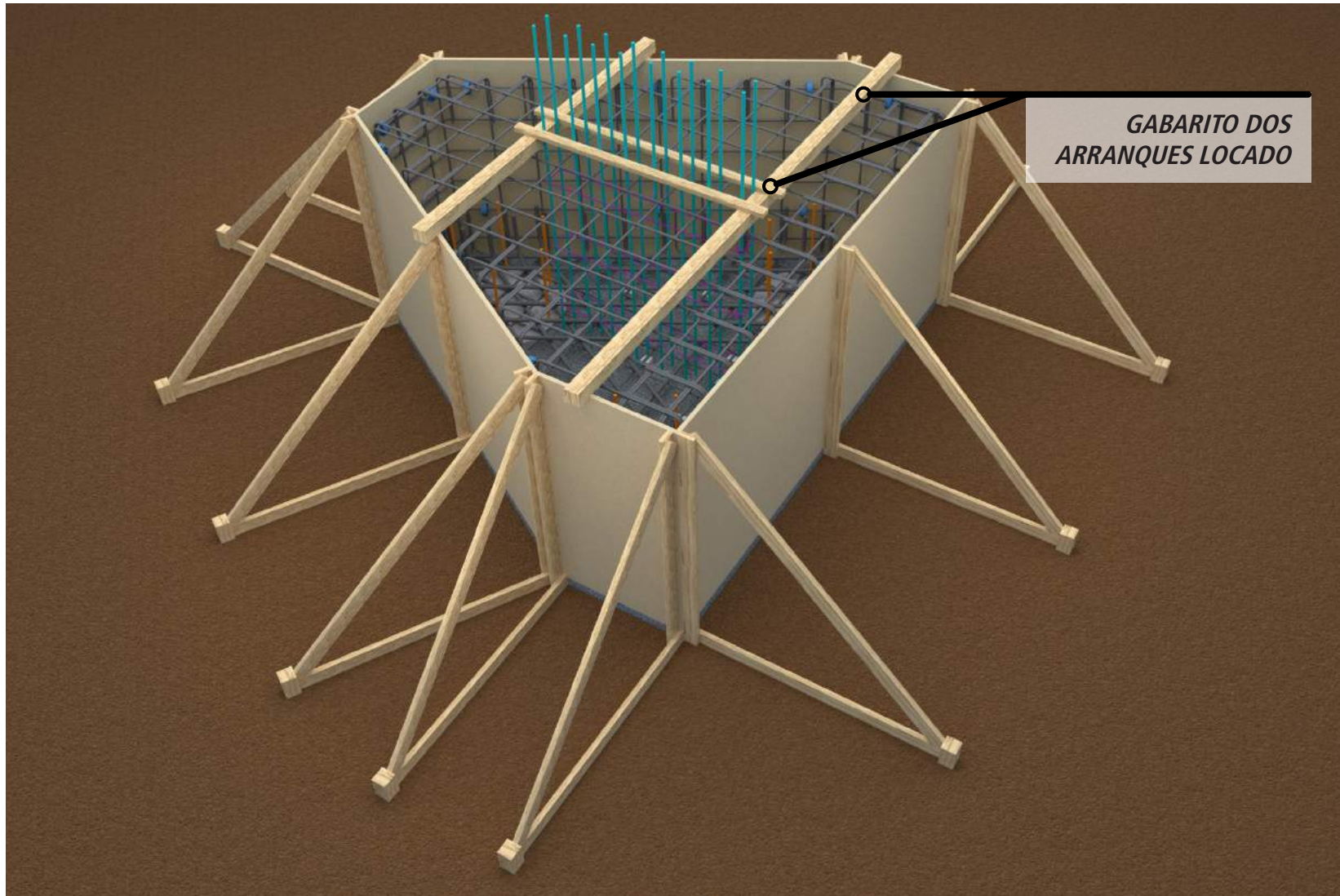


**Figura 1.1**  
*Gabarito para posicionamento dos arranques de pilar*

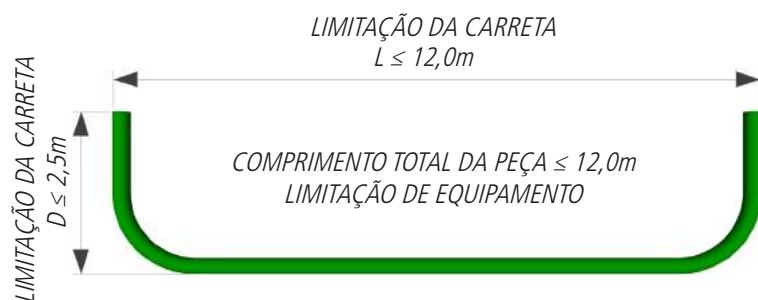


**Figura 1.2**  
*Exemplo de posicionamento dos arranques de pilar em sapata*





**Figura 1.3**  
*Exemplo de posicionamento dos arranques de pilar em bloco de coroamento*

**Figura 1.4**

Limites a serem respeitados para vergalhões

## 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 maior o consumo de bitolas com pequenos diâmetros e quanto menos emendas de traspasse possuímos, mais econômico será o projeto estrutural.

No entanto, é importante salientar que existem casos em que não podemos eliminar por completo as emendas dos vergalhões. A seguir, listamos alguns:

### **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 dos vergalhões, os equipamentos de corte e dobra apenas têm capacidade para 12,0m totais (**Figura 1.4**).

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 total da peça (após dobra).

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, temos um limite de 2,5m de largura da carreta. Consequentemente, não podemos ter dobras (ângulo de 90°) que superem este limite (**Figura 1.4**).

### 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 1.5). 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. Isto facilita o transporte, o posicionamento e o acesso do armador em trechos do elemento estrutural que possuem uma densidade de armadura elevada.

As Figuras 1.6, 1.7 e 1.8 apresentam alguns exemplos e sugestões de segmentações para peças que não atendem aos limites citados acima.

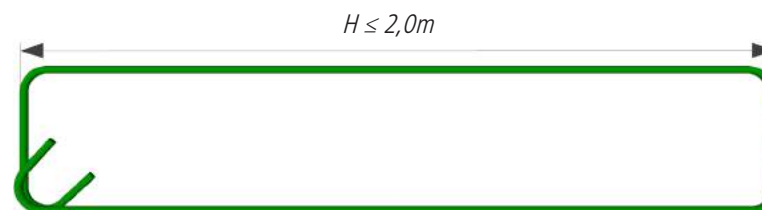


Figura 1.5  
Limite da dimensão dos estribos

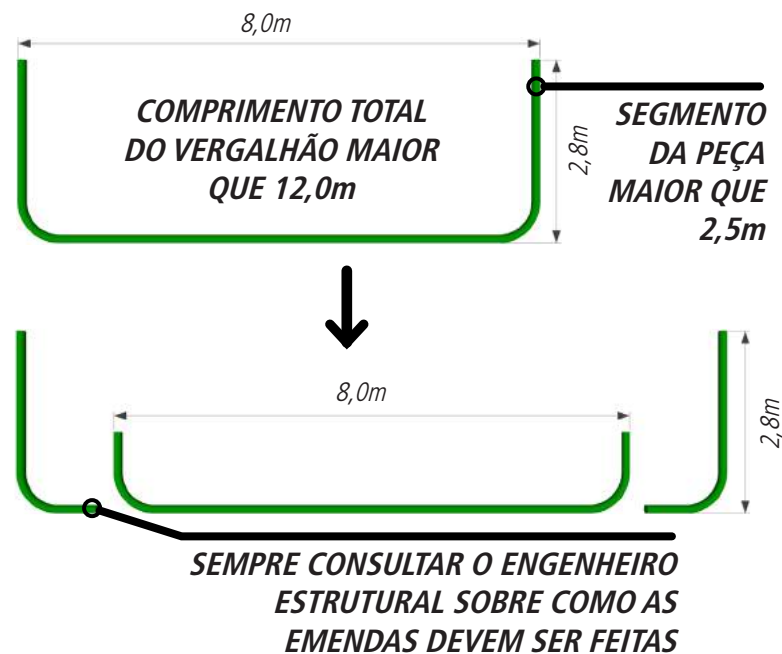


Figura 1.6  
Exemplo de segmentação de uma peça com diversas limitações de dimensões e de difícil manuseio no posicionamento na obra

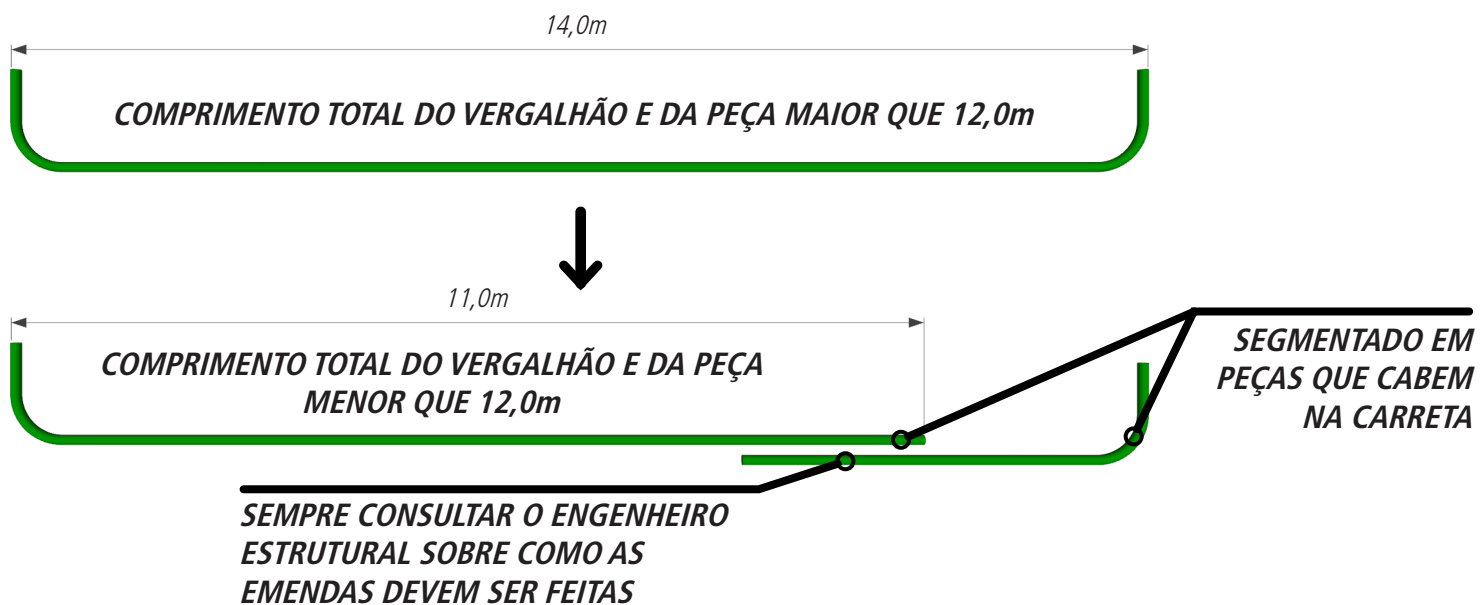


Figura 1.7  
Exemplo de segmentação de uma peça com trecho maior que 12 metros

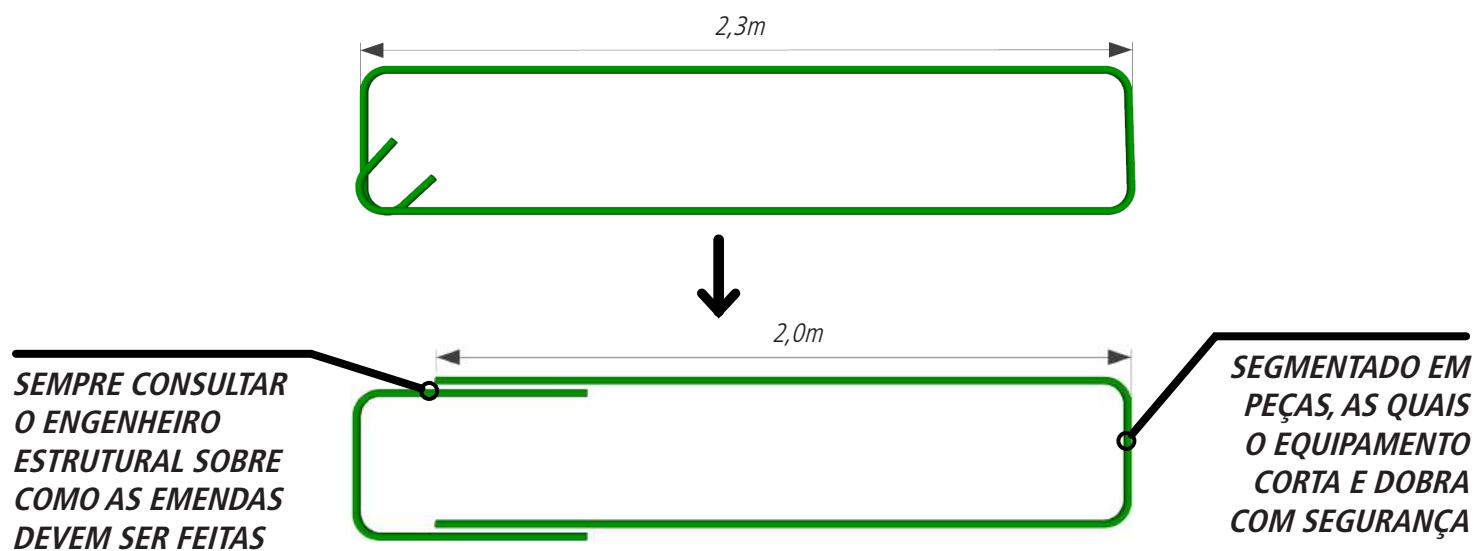


Figura 1.8  
Exemplo de segmentação de um estribo

# MANUAL DE BOAS PRÁTICAS

## *CAPÍTULO 2*

### *ARMADURAS DE SAPATAS*



## CONSIDERAÇÕES GERAIS

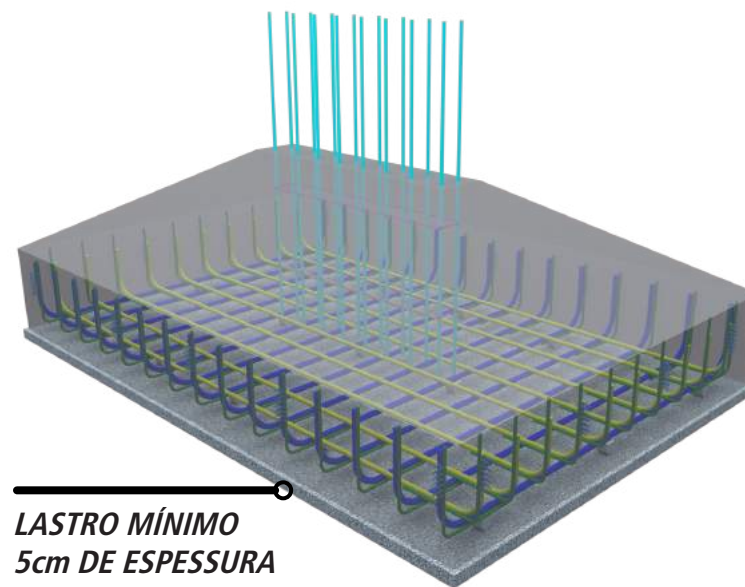
Conforme apontado no Capítulo 3 da *ABNT NBR 6122*, as sapatas possuem tensões de tração que devem ser resistidas pelas armaduras, e não pelo concreto. Desse modo, tais armaduras de sapatas merecem especial atenção para garantir o correto funcionamento do elemento de fundação rasa.

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 a 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 a cisalhamento e punção.

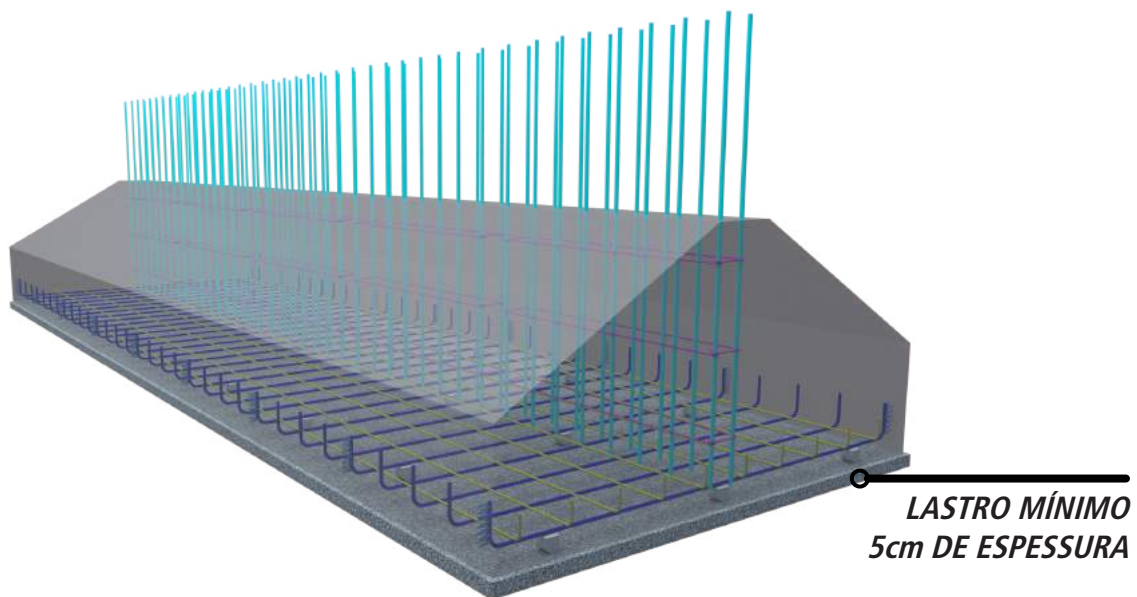
Segundo o Capítulo 7 da *ABNT NBR 6122*, para elementos de fundação rasa que não se apoiam diretamente em rochas, deve-se prever uma camada de lastro de concreto simples de, no mínimo, 5cm de espessura (**Figuras 2.1, 2.2 e 2.3**). E, nos casos de apoio em rocha que não apresentem uma superfície plana e horizontal, pode-se usar o lastro de concreto simples com altura variável não inferior a 5cm para obter essa superfície.

As **Figuras 2.1 a 2.3** apresentam detalhes de sapatas rígidas isoladas, corridas e associadas.

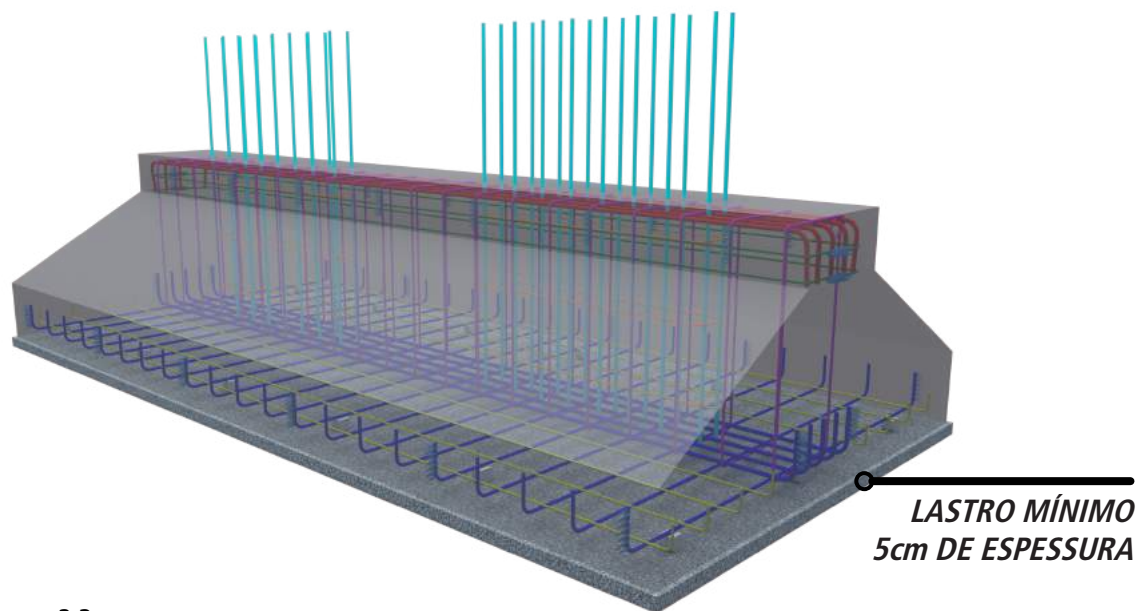


**LASTRO MÍNIMO**  
**5cm DE ESPESSURA**

**Figura 2.1**  
*Sapata isolada*



**Figura 2.2**  
*Sapata corrida*



**Figura 2.3**  
*Sapata associada*



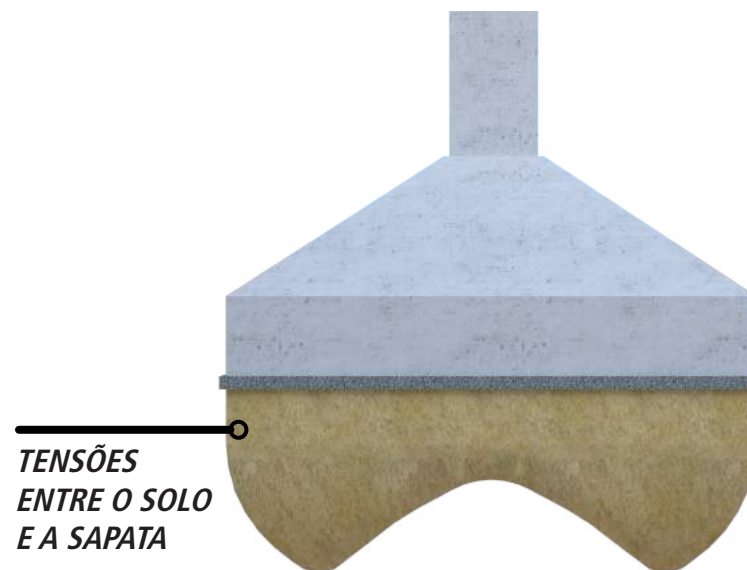
As pressões no solo podem se configurar de diversas formas, de acordo com o tipo do solo e o tipo de sapata (rígida ou flexível).

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 2.4**), 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 bitola e menor raio de dobramento, como as mostradas na **Figura 2.5**.

Ainda lembramos 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.

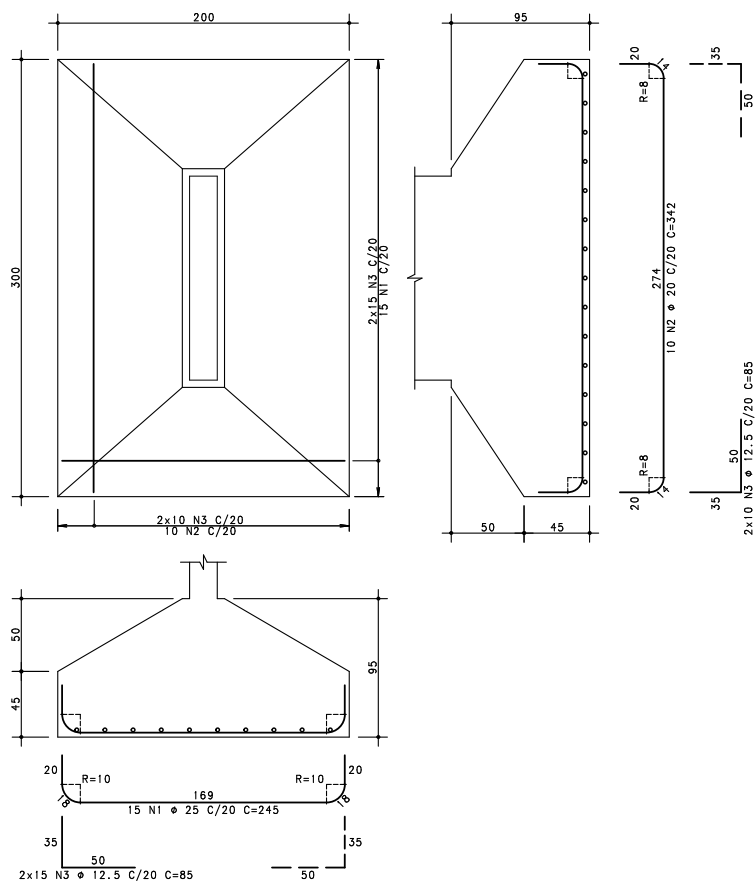
Também vale ressaltar que, no caso de sapatas com dimensões consideráveis (acima de 1,5m de altura), recomendamos a consulta de um tecnologista de concreto para evitar um calor de hidratação alto e a formação da etringita tardia.



**Figura 2.4**  
*Distribuição de pressões em solo rígido*



**Figura 2.5**  
*Armadura complementar para proteção dos cantos das sapatas*



**Figura 2.6**  
*Exemplo de armadura da sapata isolada*

## SAPATA ISOLADA

As sapatas isoladas transferem os esforços de apenas um pilar para o solo. Neste tipo de sapata, são admitidas armaduras de flexão nos dois sentidos, resistindo às tensões de tração.

Na **Figura 2.7**, apresentamos os pontos que devem ser observados no momento da montagem da armadura deste tipo de sapata.

É importante respeitar a seguinte sequência de posicionamento das camadas de armadura:

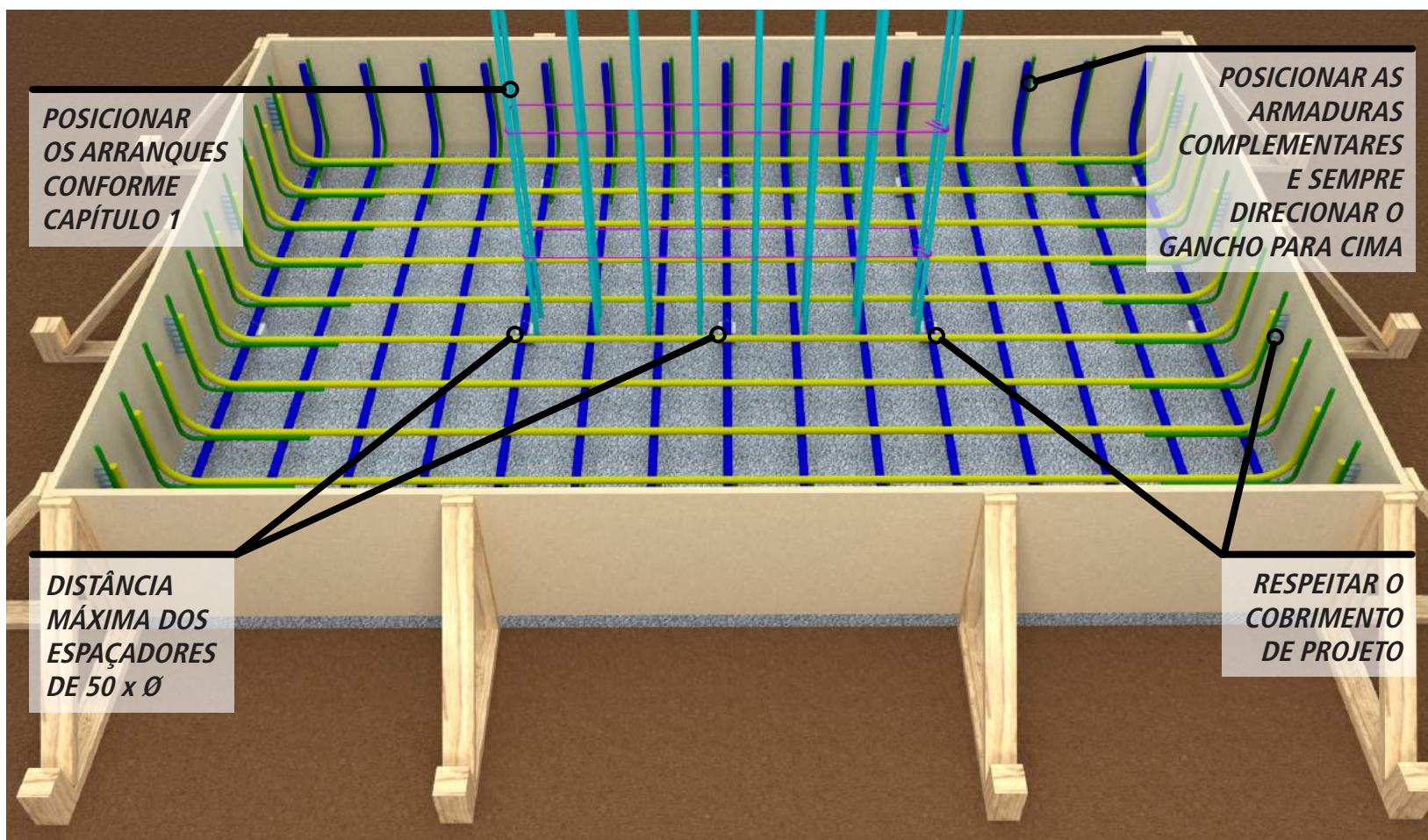
**Etapa 1** | Posicionar a armadura de maior diâmetro de bitola.

Atenção: se os diâmetros forem iguais, porém com espaçamentos diferentes, posicionar primeiro a armadura com o menor espaçamento. Caso os diâmetros e os espaçamentos sejam iguais, posicionar a armadura de acordo com o projeto ou consultar o engenheiro estrutural.

**Etapa 2** | Posicionar as armaduras da outra direção.

**Etapa 3** | Posicionar os arranques do pilar.

Conforme apresentado na **Figura 2.7**, recomendamos a distância máxima de  $50 \times \varnothing$  entre os espaçadores. No entanto, caso as armaduras de flexão sejam "pesadas" (como, por exemplo, vergalhões com bitolas superiores a 25mm de diâmetro), deve-se diminuir consideravelmente esta recomendação para que o cobrimento de projeto seja respeitado.

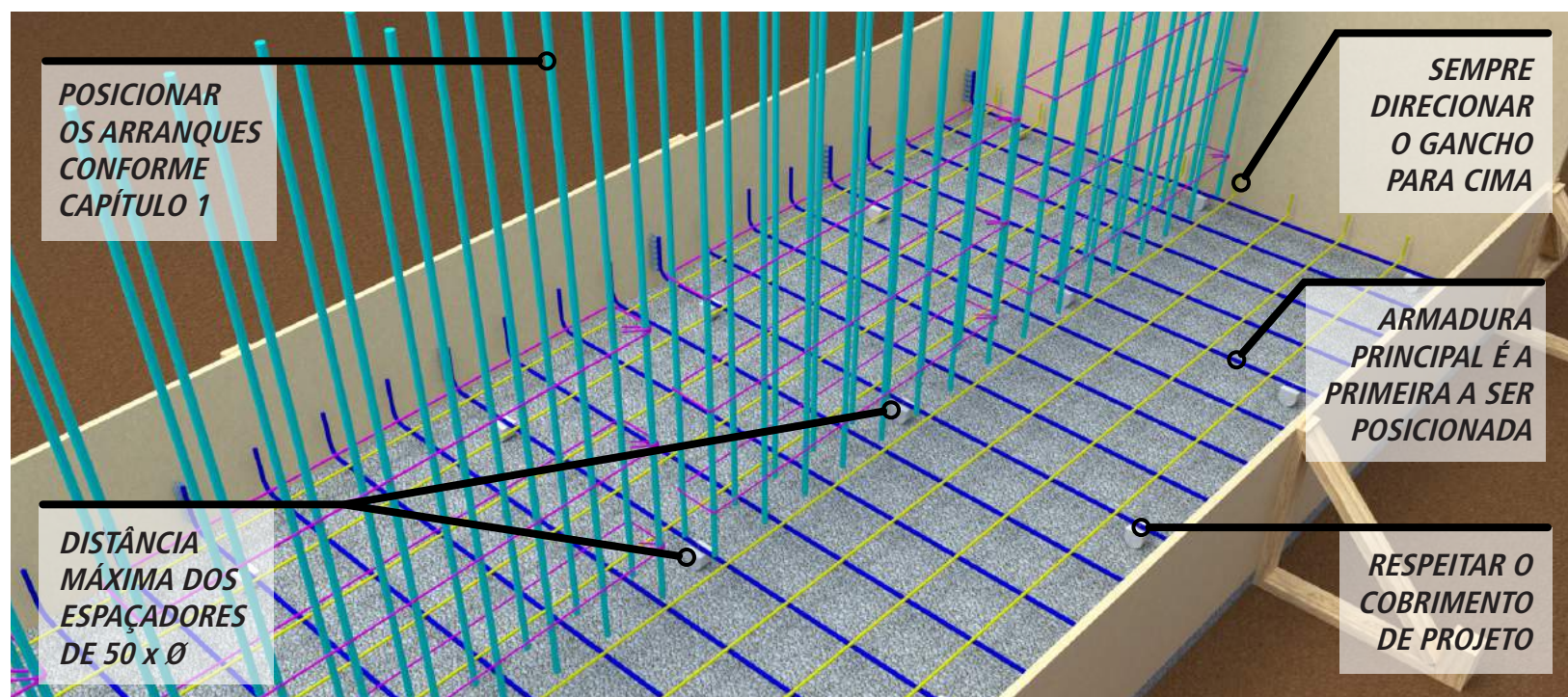


**Figura 2.7**  
Posicionamento da armadura em sapata isolada

## 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 bitola primeiro, que é, normalmente, a de menor comprimento (**Figura 2.8**).



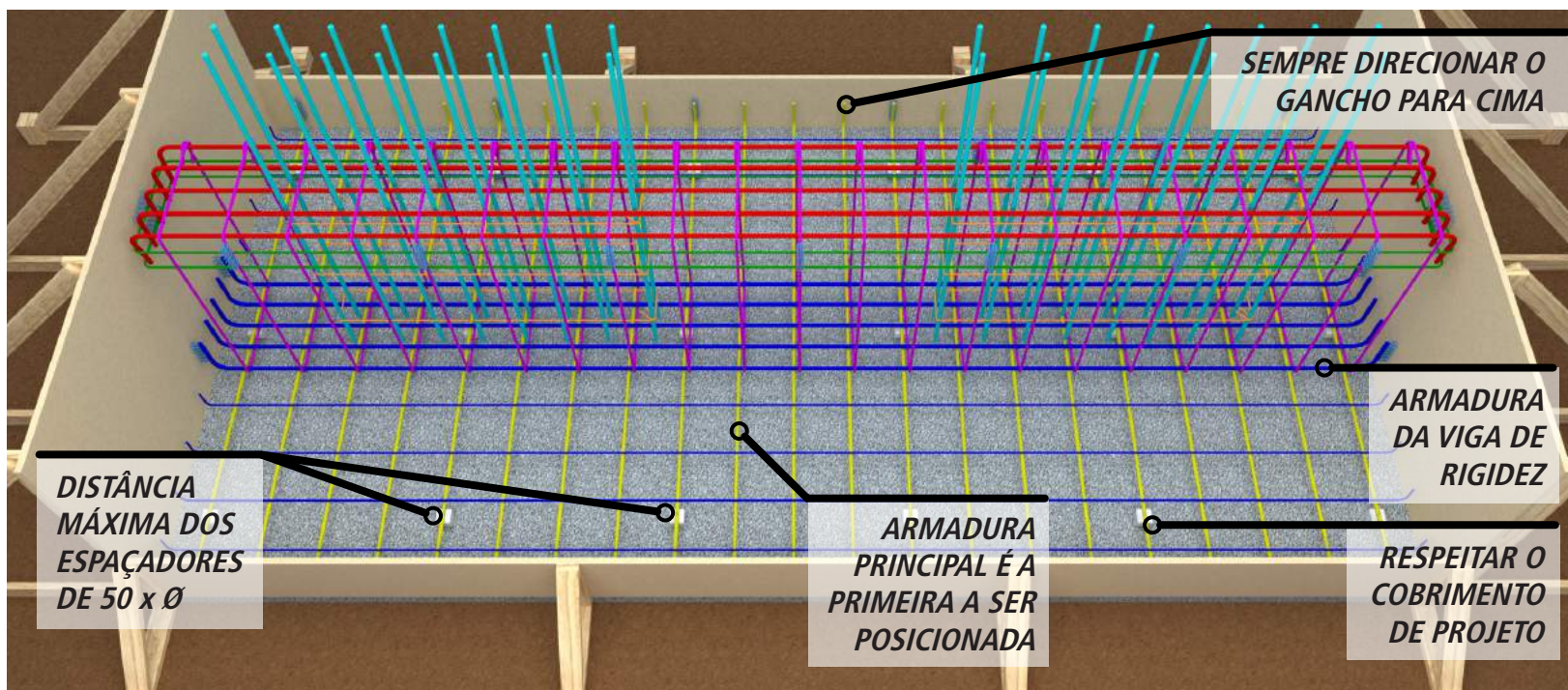
**Figura 2.8**  
Posicionamento da armadura em sapata corrida

### SAPATA ASSOCIADA

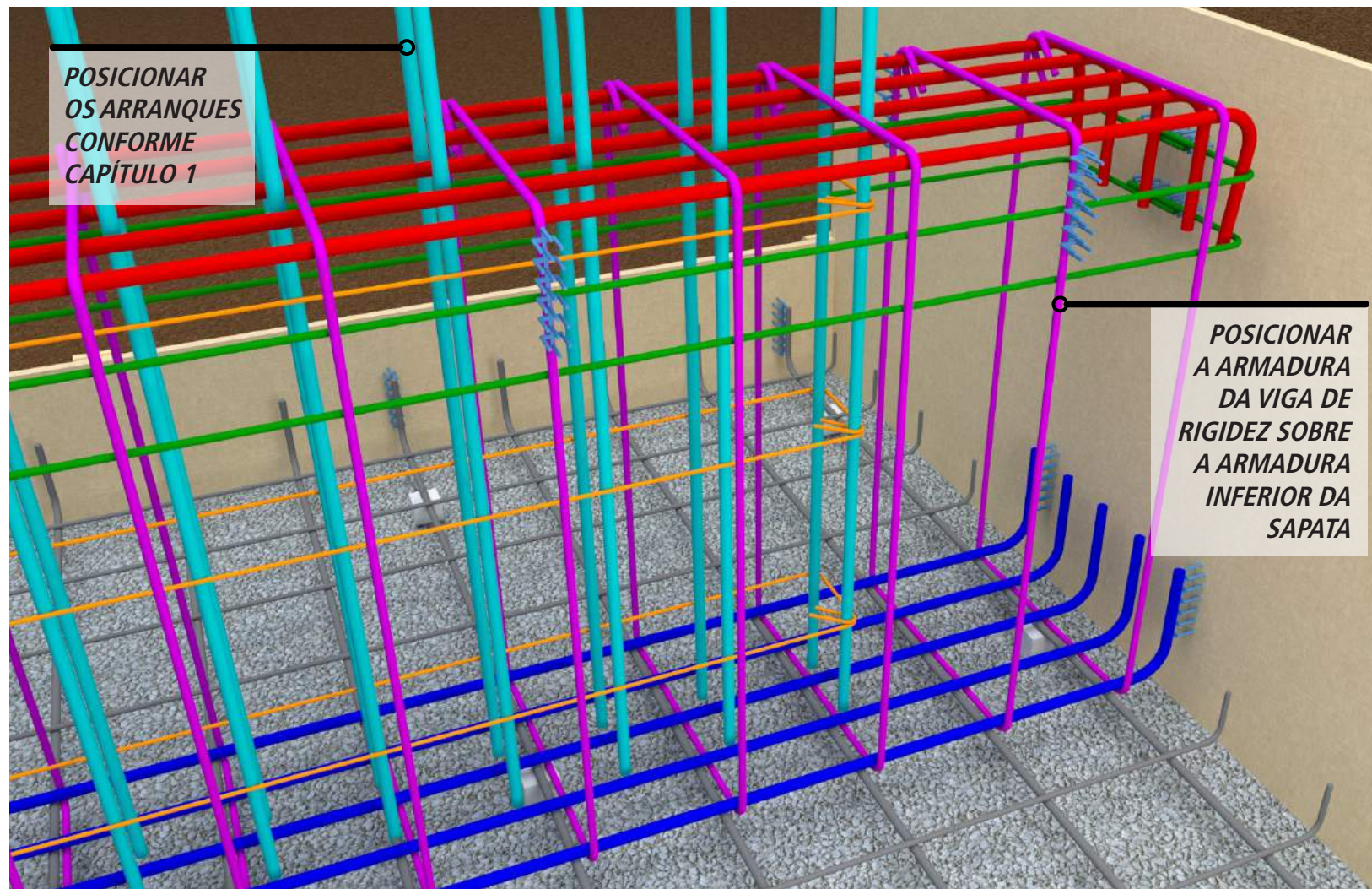
Devido à proximidade de pilares, pode ocorrer uma sobreposição das áreas das sapatas, que transferirão os esforços para o solo. Pode-se, então, optar por associar as sapatas (**Figura 2.9**), construindo um elemento único que abranja dois ou mais pilares. Quanto ao posicionamento das armaduras, deve-se posicionar a armadura de maior bitola primeiro (armadura principal), sendo que, muitas vezes, a armadura principal é a de menor comprimento.

Em alguns casos, para que haja uma uniformização das tensões no solo, é criada uma viga de rigidez (**Figura 2.10**).

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



**Figura 2.9**  
Posicionamento da armadura em sapata associada

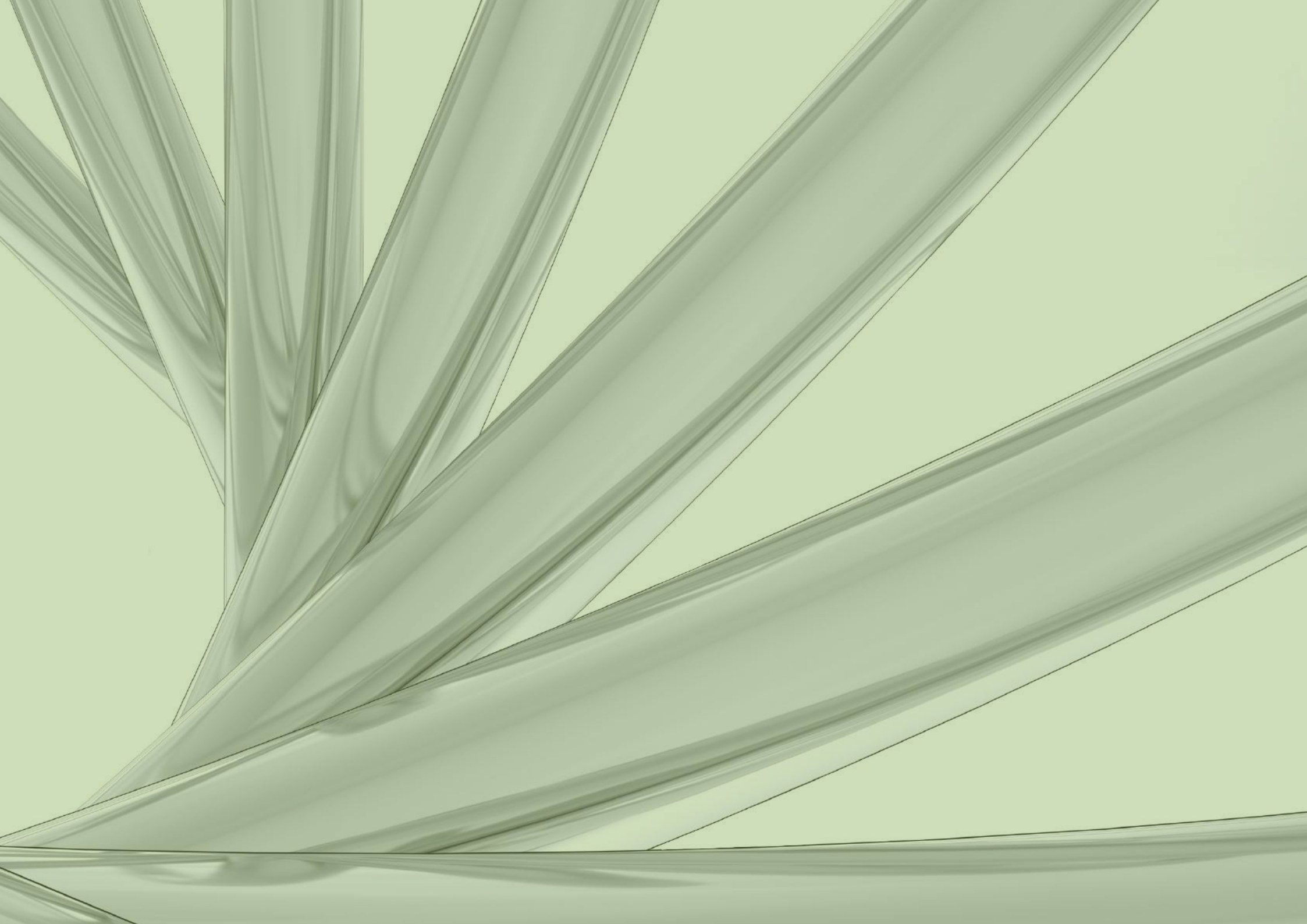


**Figura 2.10**  
*Viga de rigidez em sapata associada*

# MANUAL DE BOAS PRÁTICAS

## *CAPÍTULO 3*

### *ARMADURAS DE BLOCOS DE COROAMENTO*





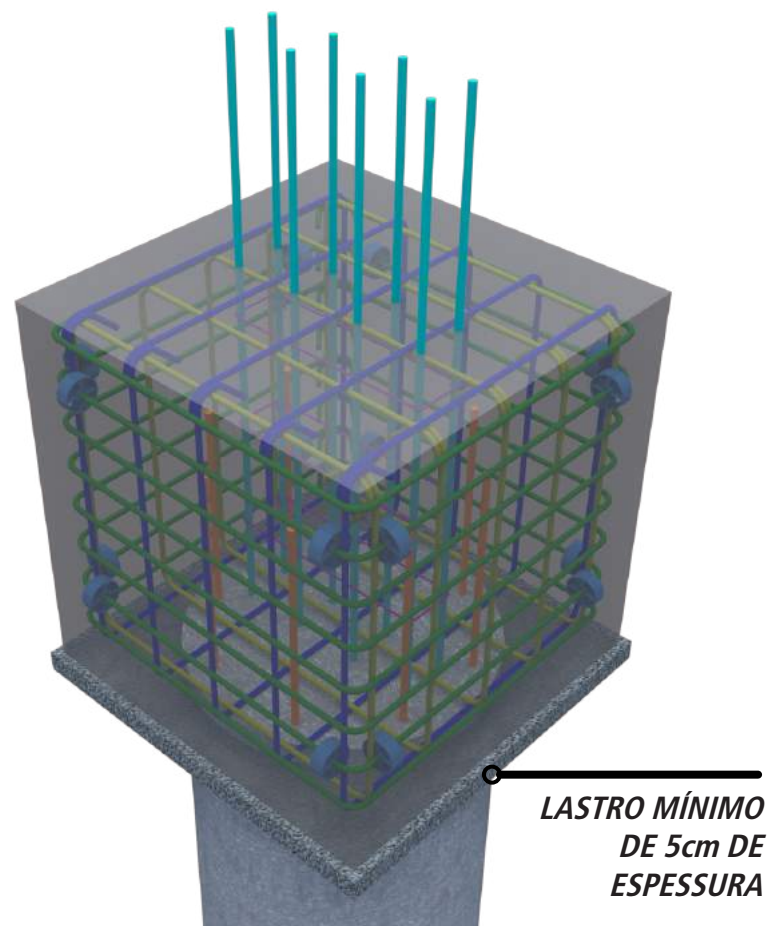
Conforme apontado no Capítulo 3 da *ABNT NBR 6122*, os blocos de coroamento têm a função de transferir os esforços dos pilares e pilares parede para os elementos de fundação profunda.

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. Ressaltamos também que os blocos flexíveis podem levar ao consumo superior de aço em comparação aos blocos rígidos.

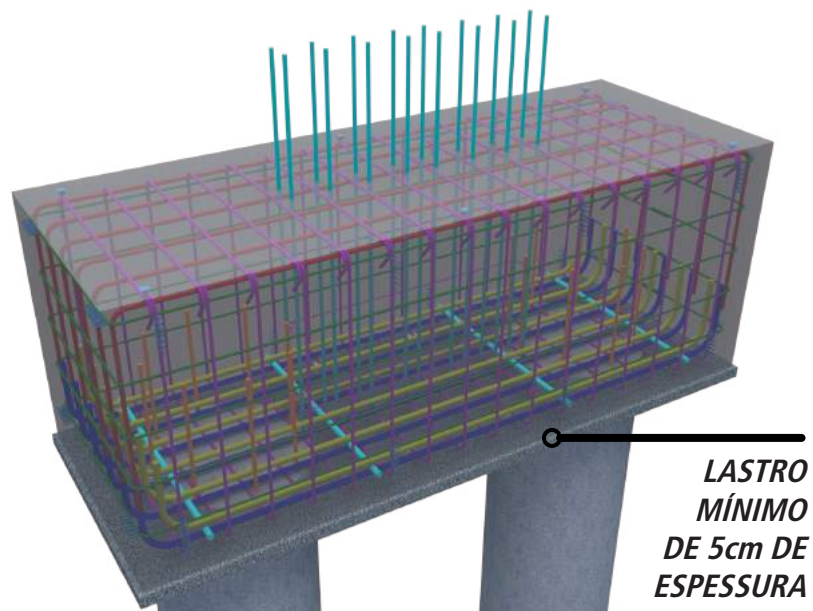
Como discutido no Capítulo 8 da *ABNT NBR 6122*, a ligação entre estaca e bloco de coroamento é um ponto de especial atenção. Além de se garantir a integridade da cabeça das estacas, deve-se permitir a continuidade estrutural da estaca através de eventual recomposição e assegurar que a cabeça da estaca 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 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4**). Vale ressaltar, ademais, que a cabeça da estaca deve permanecer 5cm acima deste lastro (**Figura 3.5**). Ainda neste mesmo capítulo da norma, ressalta-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, recomendamos 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 este já observado em obra por nossa equipe, mesmo havendo referências de posicionamento em projeto.

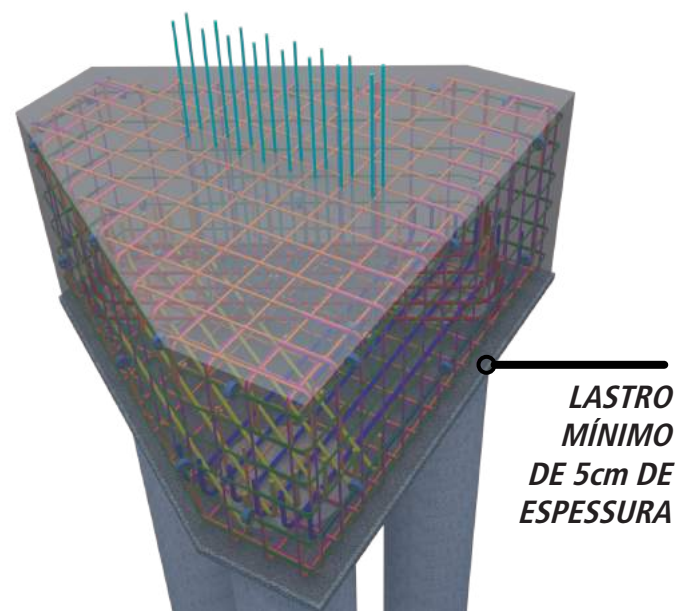
Nas próximas páginas, detalhamos os blocos de coroamento sobre uma, duas, três e quatro estacas.



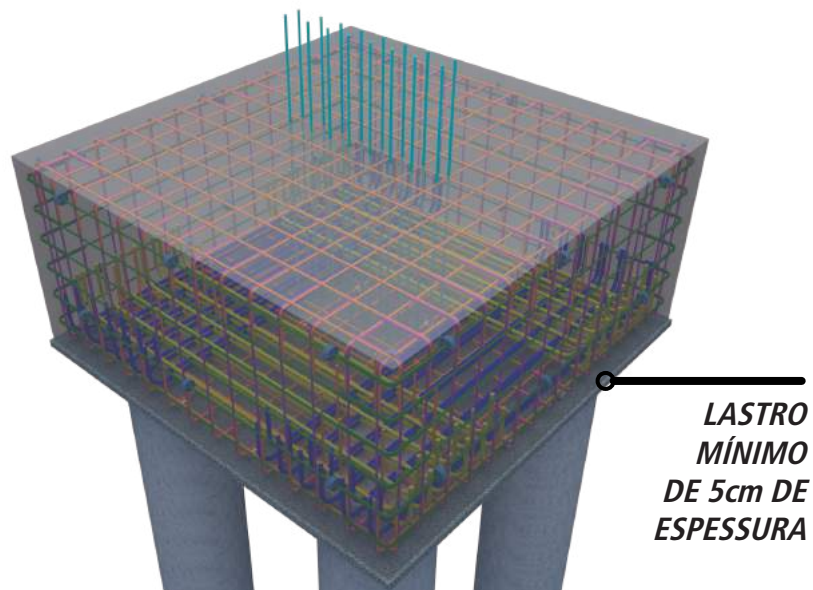
**Figura 3.1**  
*Bloco de coroamento sobre uma estaca*



**Figura 3.2**  
*Bloco de coroamento sobre duas estacas*



**Figura 3.3**  
*Bloco de coroamento sobre três estacas*



**Figura 3.4**  
*Bloco de coroamento sobre quatro estacas*

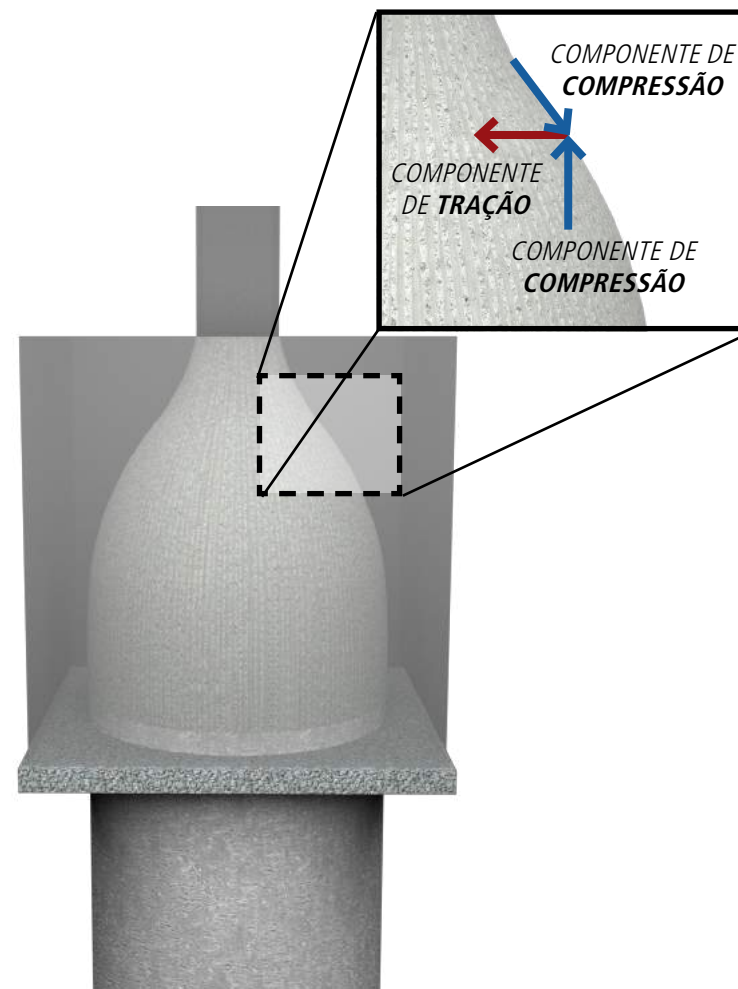


**Figura 3.5**  
*Ligação entre estaca e bloco de coroamento*

### BLOCO DE COROAMENTO SOBRE UMA ESTACA

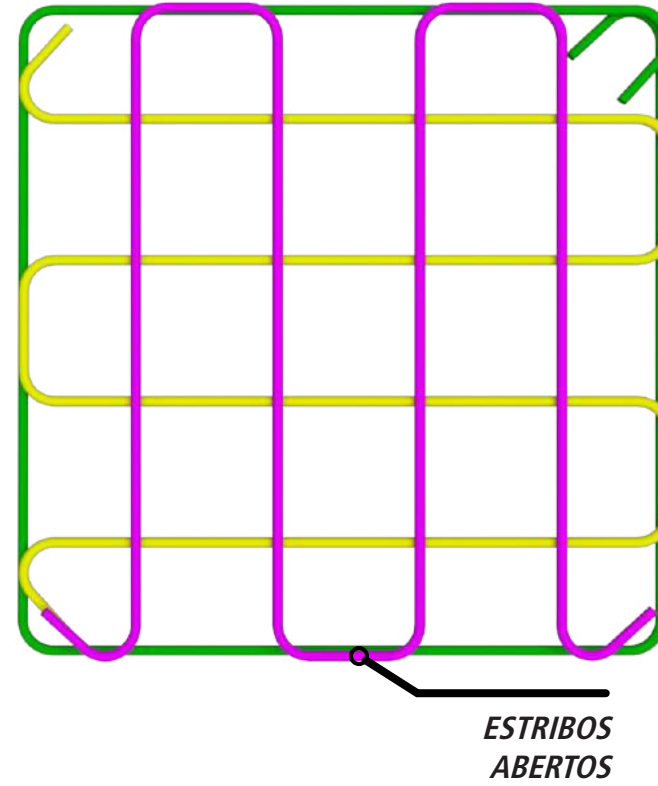
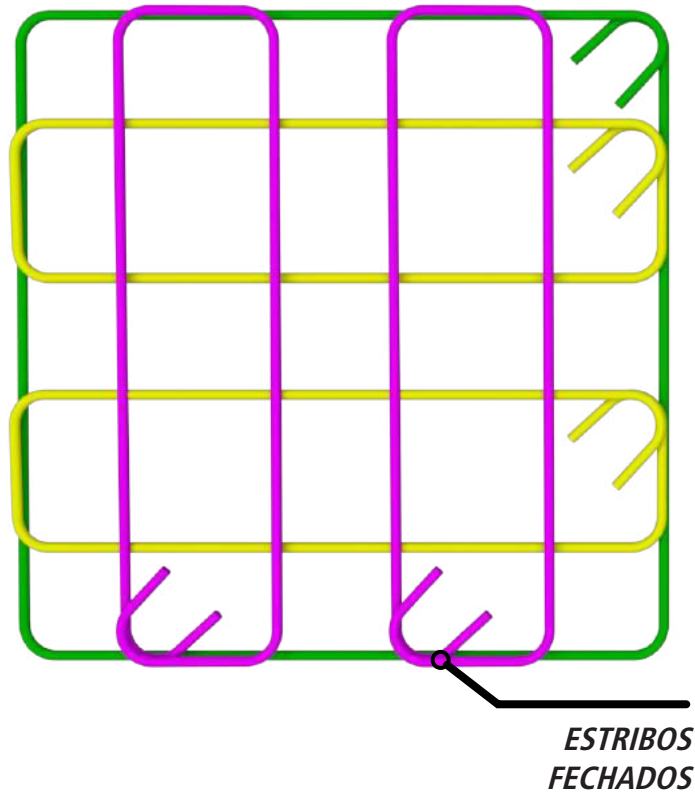
O bloco sobre uma estaca possui um comportamento estrutural diferente dos blocos sobre duas ou mais estacas. Isso se dá pelo fato de o bloco sobre uma estaca sofrer tensões de fendilhamento: fenômeno de tração circunferencial ocasionado pelas componentes radiais das tensões de compressão. Tais tensões são comumente calculadas pelo Modelo do Bloco Parcialmente Carregado (**Figura 3.6**).

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 3.7**).



**Figura 3.6**  
*Comportamento das tensões de fendilhamento*

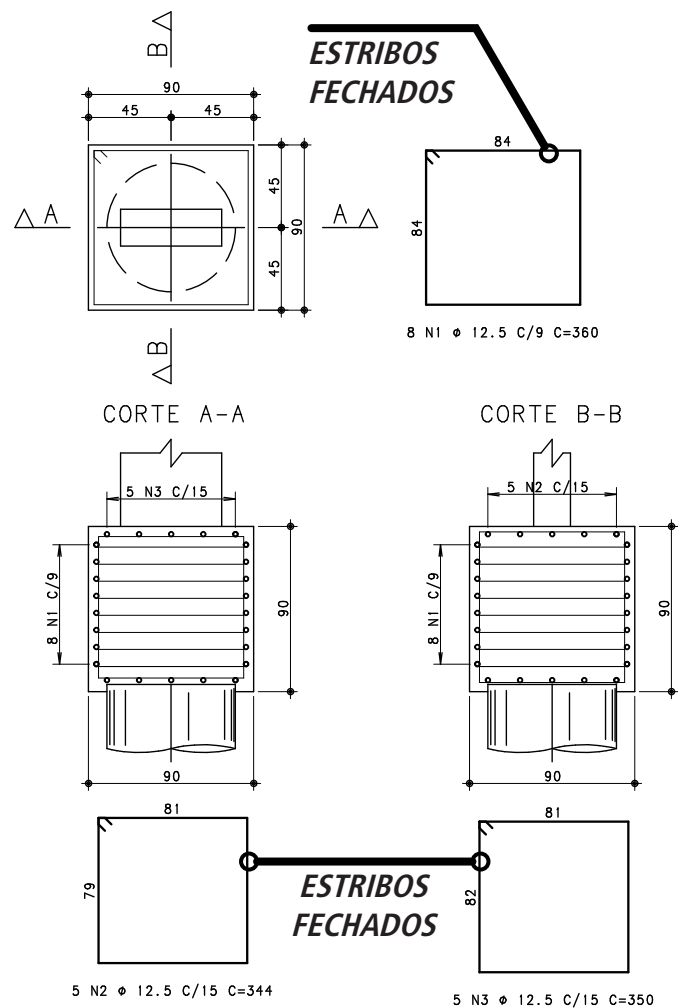
Não existe um detalhe para armaduras de fretagem padronizado por norma. A seguir, apresentam-se duas soluções para o combate ao fendilhamento.



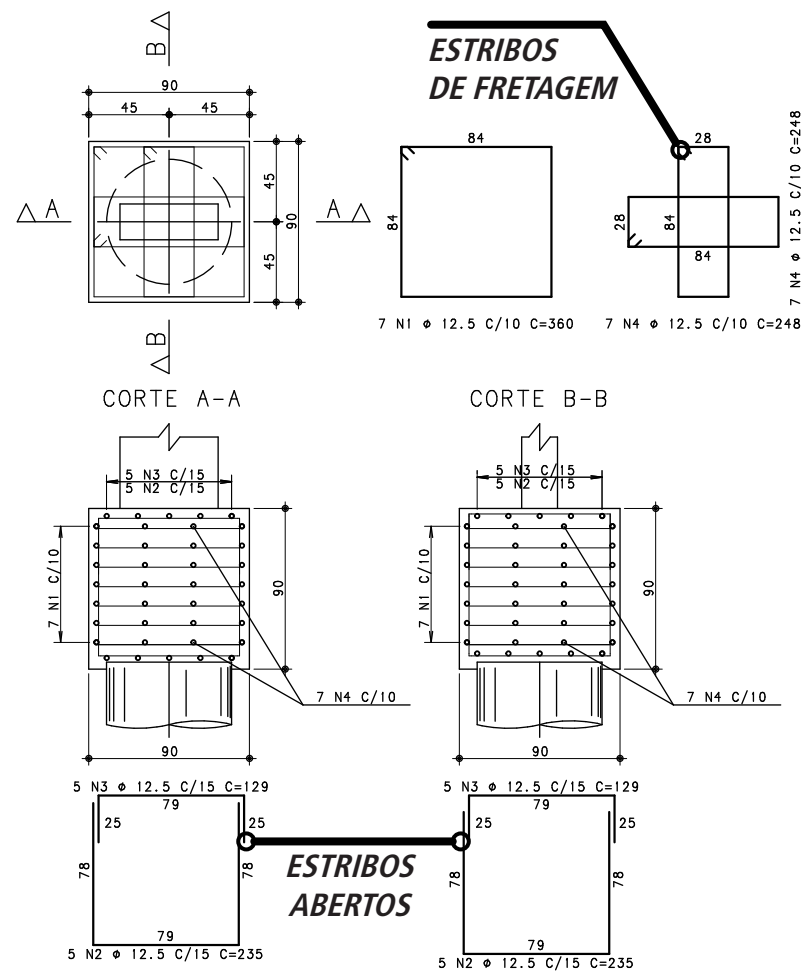
**Figura 3.7**  
*Exemplos de armadura contra fendilhamento*

No caso de estacas de pequenos diâmetros, o detalhamento pode incluir três estribos, como mostram as **Figuras 3.8 e 3.10**. No entanto, o limite deste detalhamento é atingido quando se torna trabalhoso montar a gaiola do bloco.

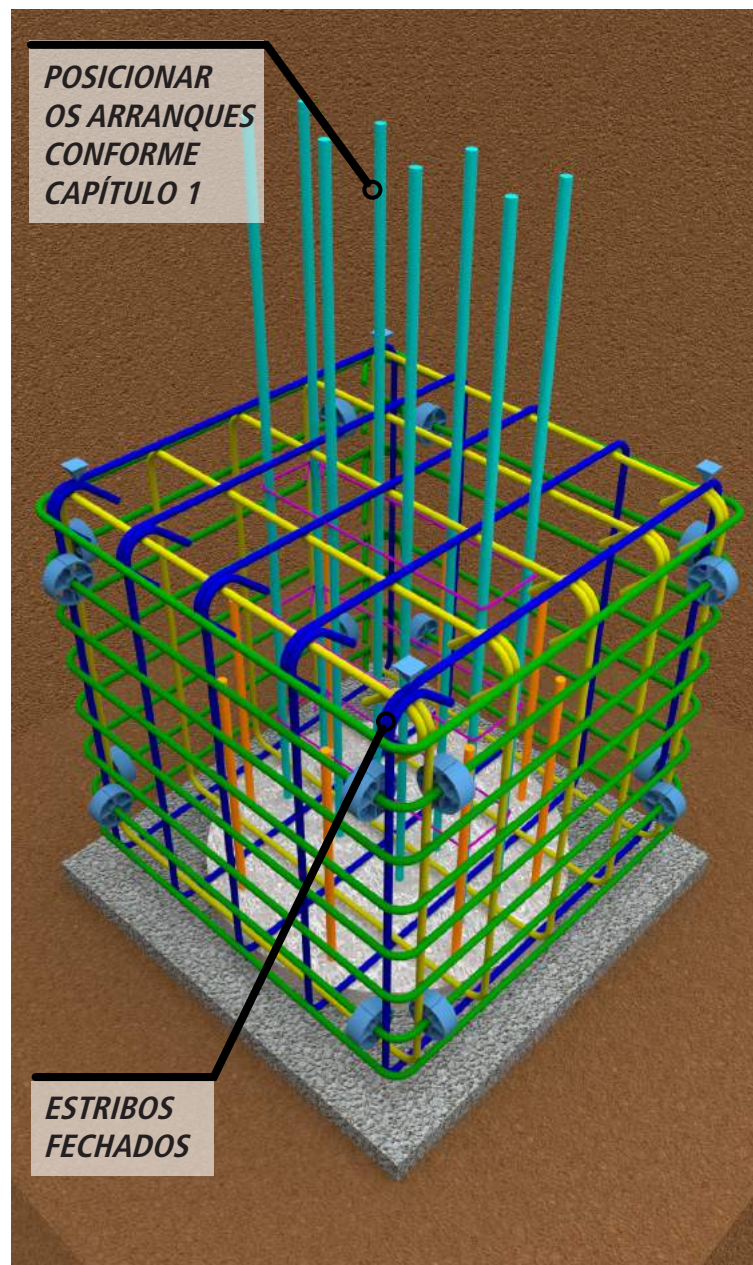
Para estacas de grandes diâmetros ou com armaduras de fretagem de mais ramos, recomendamos o detalhamento das **Figuras 3.9 e 3.11**.



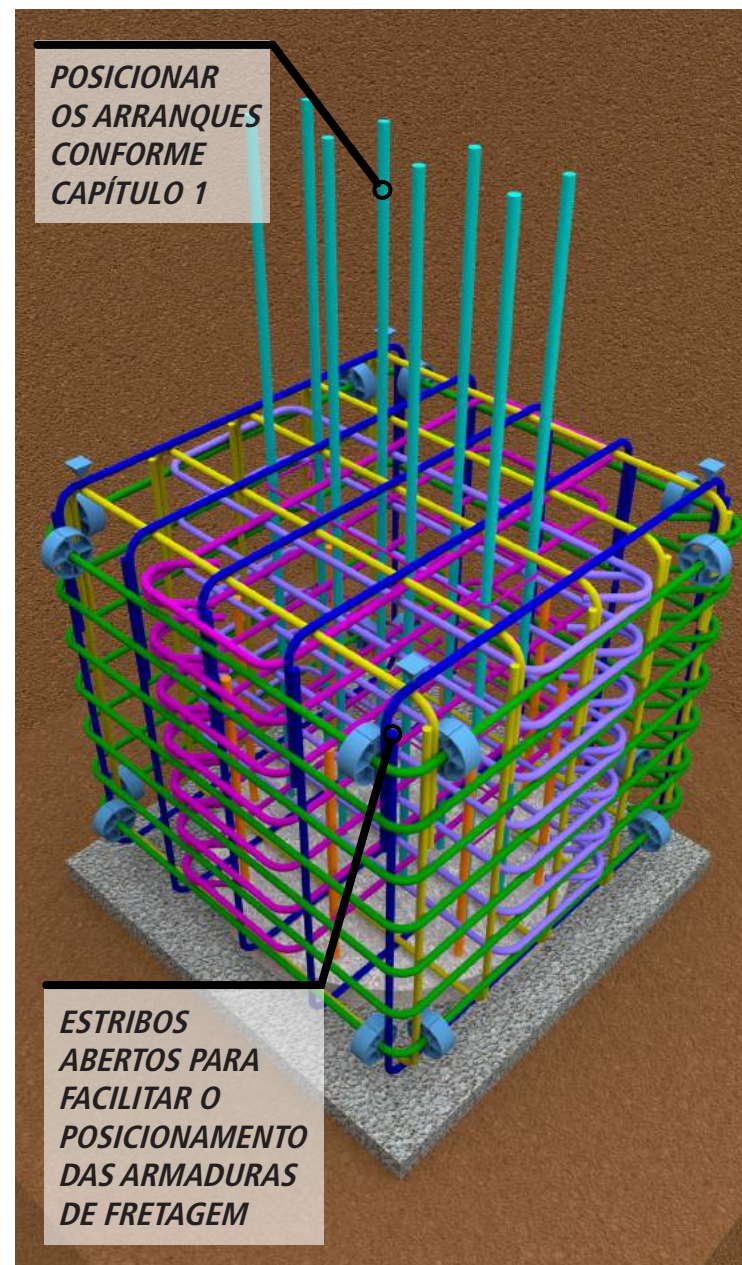
**Figura 3.8**  
Exemplo de armadura para blocos "pequenos"



**Figura 3.9**  
Exemplo de armadura para blocos "grandes" ou com armadura de fretagem



**Figura 3.10**  
Posicionamento da armadura para blocos "pequenos"



**Figura 3.11**  
Posicionamento da armadura para blocos "grandes" ou com armadura de fretagem de mais ramos

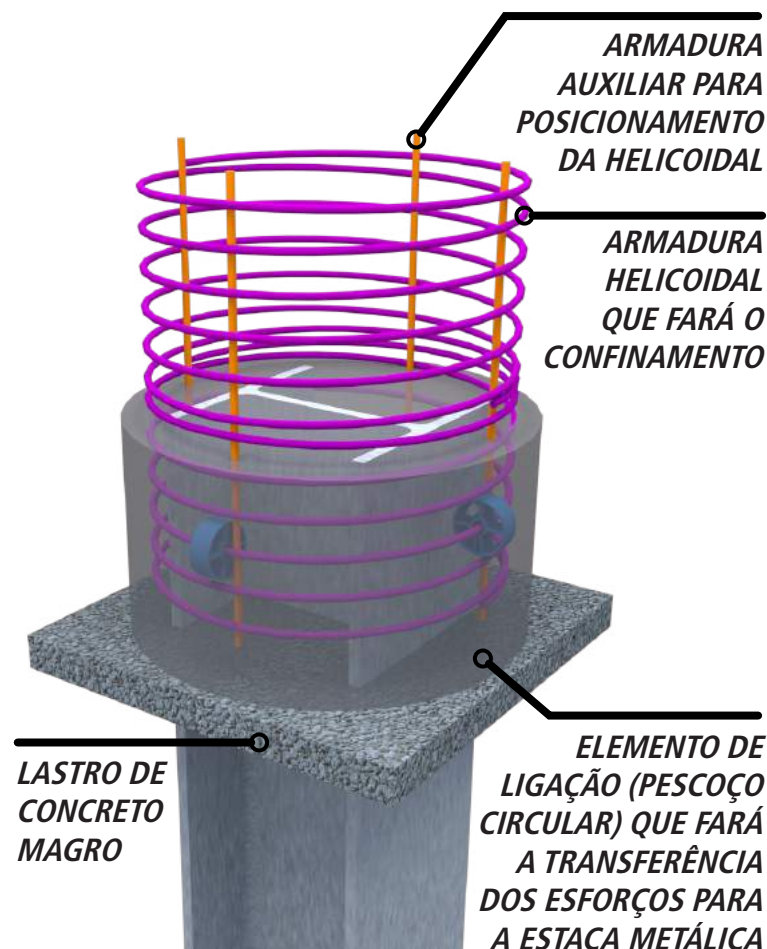
### BLOCO DE COROAMENTO SOBRE UMA ESTACA METÁLICA

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.

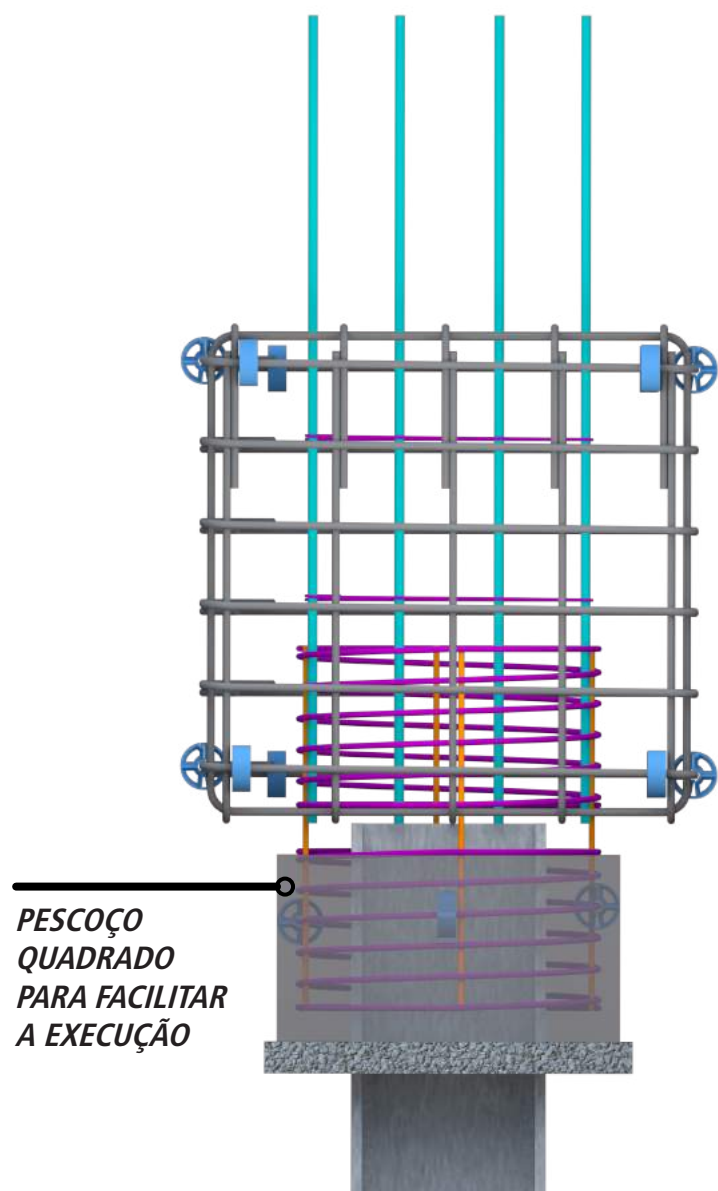
Em busca de alternativas que evitassem a soldagem em obra, o engenheiro Odinir Klein Junior (sócio-colaborador da França e Associados Projetos Estruturais) analisou diversos trabalhos sobre a aderência de perfis metálicos com concreto. Em sua pesquisa, Klein estudou o trabalho realizado nos Estados Unidos 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 3.12**.

A partir desta pesquisa, o detalhamento de um pescoço quadrado foi elaborado para facilitar a execução da fôrma (**Figura 3.13**). Sobre o pescoço, seria previsto o bloco de coroamento. 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 da obra, o pescoço foi eliminado e a altura do bloco de coroamento foi estendida (**Figura 3.14**). O aumento do consumo de aço e concreto, neste caso, não foi representativo.

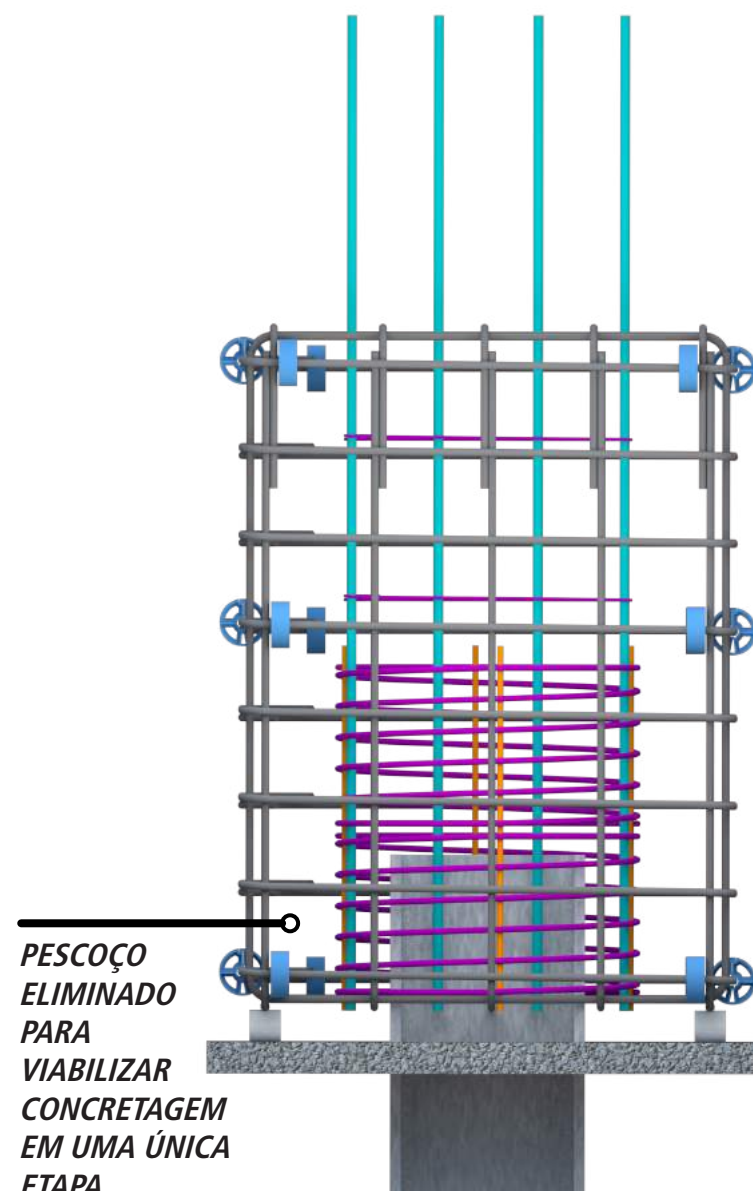


**Figura 3.12**

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



**Figura 3.13**  
*Bloco de coroamento com pescoço quadrado*



**Figura 3.14**  
*Bloco de coroamento sem pescoço*



**BLOCO DE COROAMENTO SOBRE DUAS ESTACAS**

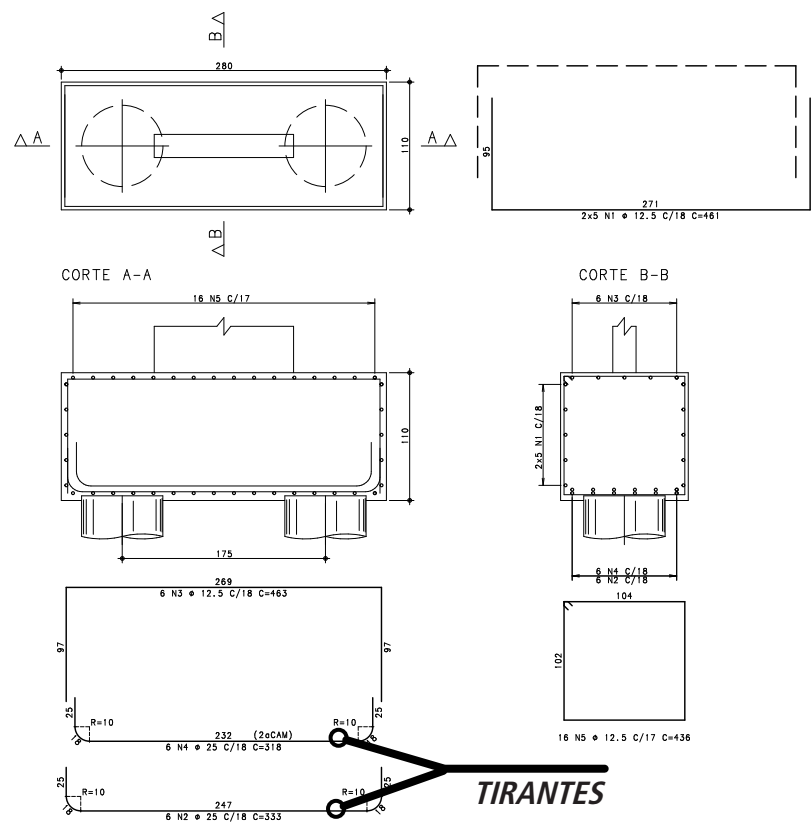
De acordo com o Capítulo 22 da *ABNT NBR 6118*, o dimensionamento por modelos biela-tirante tridimensionais é aceito tanto para blocos de coroamento sobre duas estacas quanto para blocos sobre três, quatro ou mais estacas. A norma indica que são necessários o cálculo das áreas de aço (tirantes) e a verificação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

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.

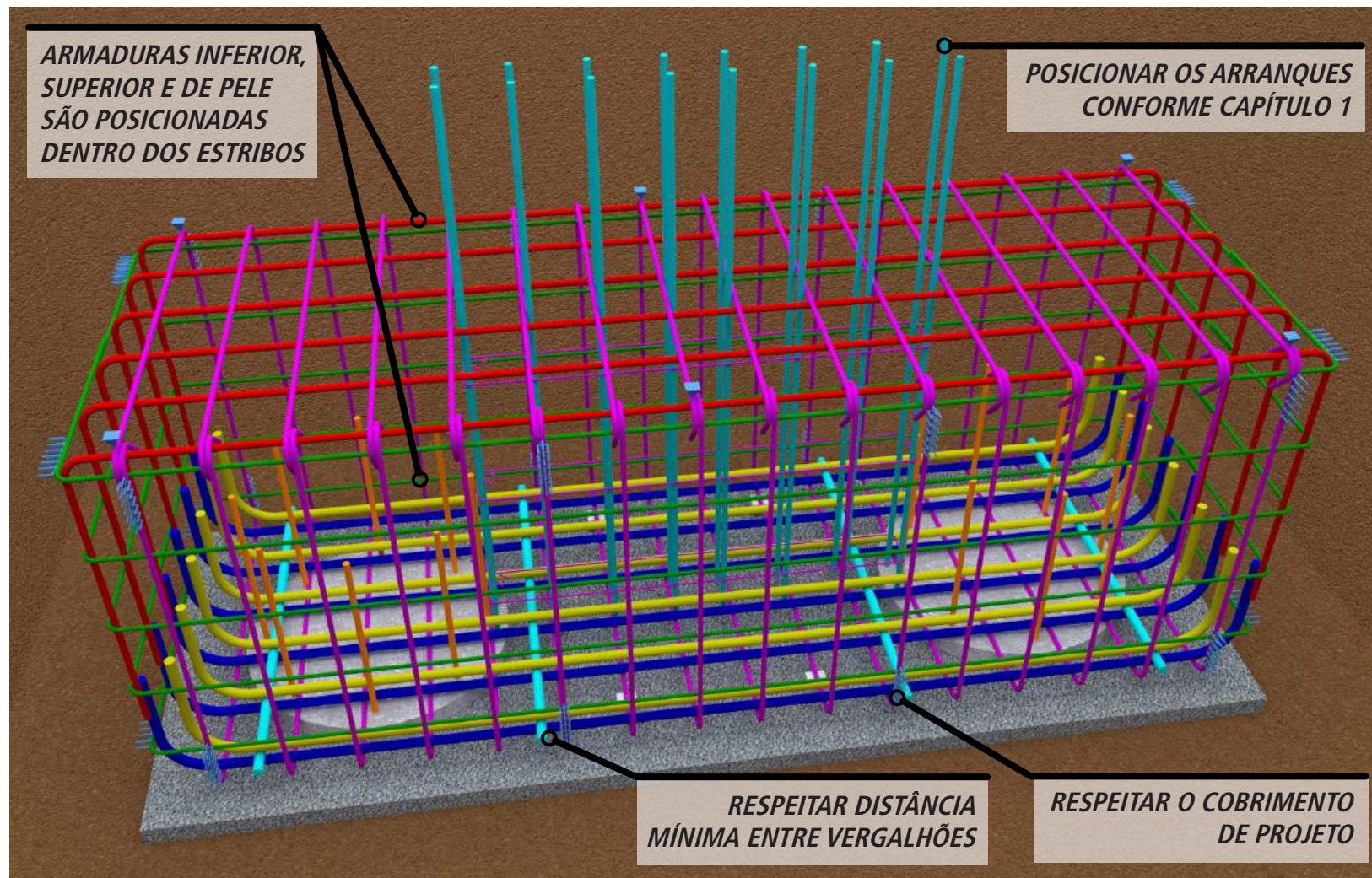
Os tirantes também podem ser posicionados na face superior do bloco. Este detalhamento é indicado nos casos em que uma ou mais estacas estão tracionadas devido aos esforços do pilar, ou em situações em que os pilares (ou trecho de pilares) estão posicionados fora da área projetada das estacas.

As **Figuras 3.15 e 3.16** 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 3.15**  
Exemplo de armadura em blocos de coroamento sobre duas estacas



**Figura 3.16**  
Posicionamento da armadura em blocos de coroamento sobre duas estacas

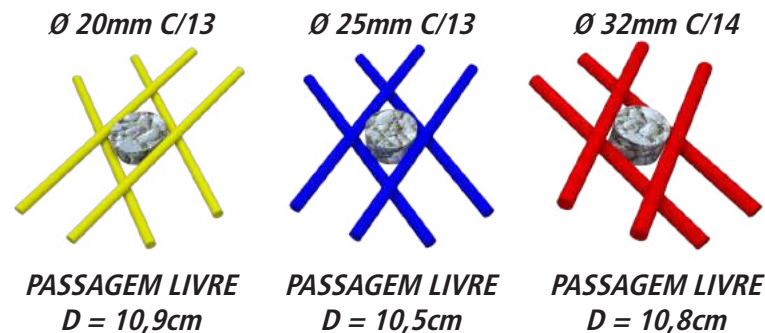
### BLOCO DE COROAMENTO SOBRE TRÊS ESTACAS

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 3.17**.

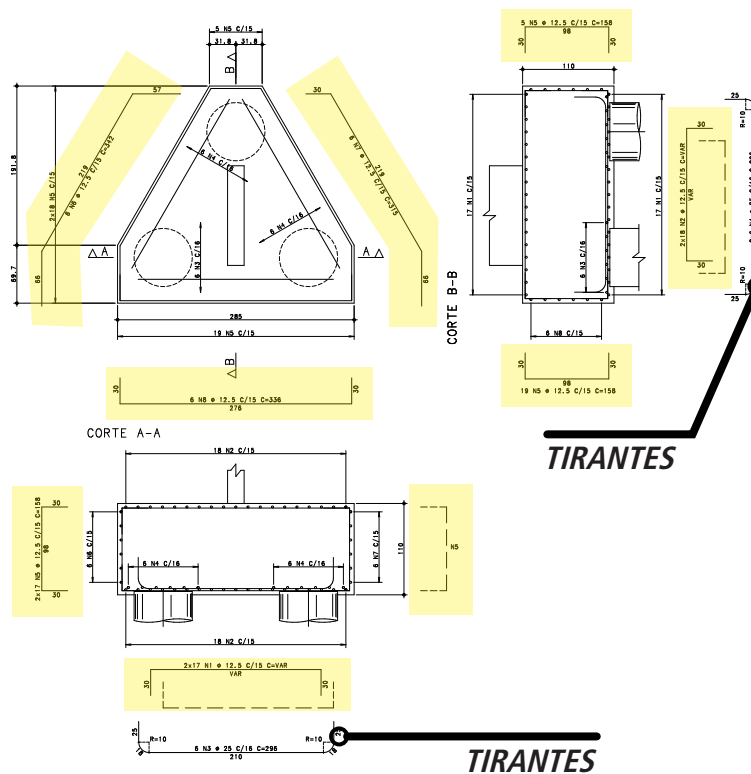
Problemas recorrentes de concretagem podem ocorrer caso o espaçamento entre as barras do tirante seja pequeno, especialmente quando o posicionamento das armaduras diverge do previsto em projeto. A **Figura 3.17** ilustra este estrangulamento da passagem do concreto e a passagem livre para vergalhões 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).

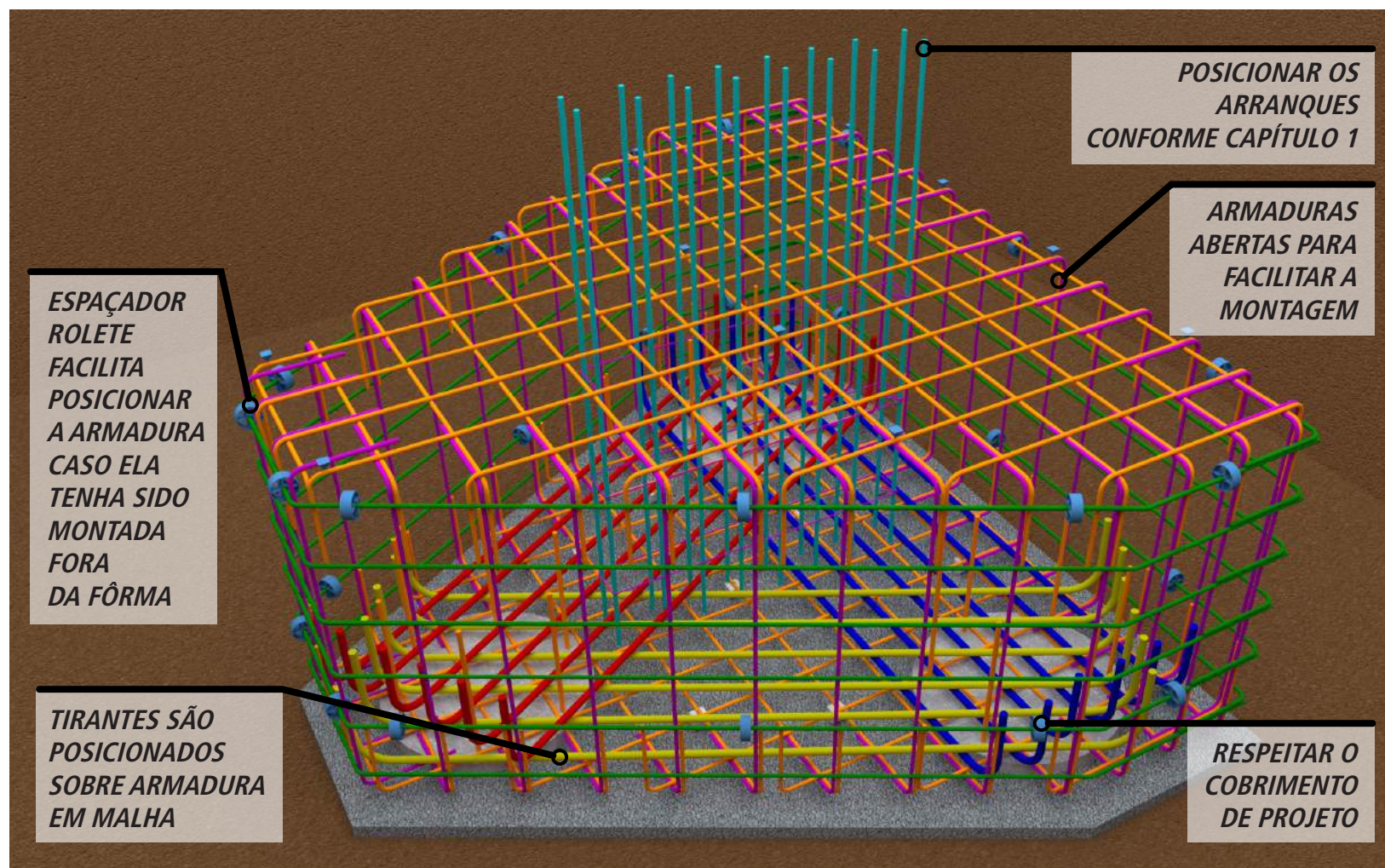
Nas **Figuras 3.18 e 3.19**, o detalhamento das armaduras de bloco de coroamento sobre três estacas é exemplificado.



**Figura 3.17**  
Estrangulamento da passagem do concreto ( $D$  = diâmetro)



**Figura 3.18**  
Exemplo de armadura em blocos de coroamento sobre três estacas  
Destacadas em amarelo: armaduras segmentadas para facilitar a montagem



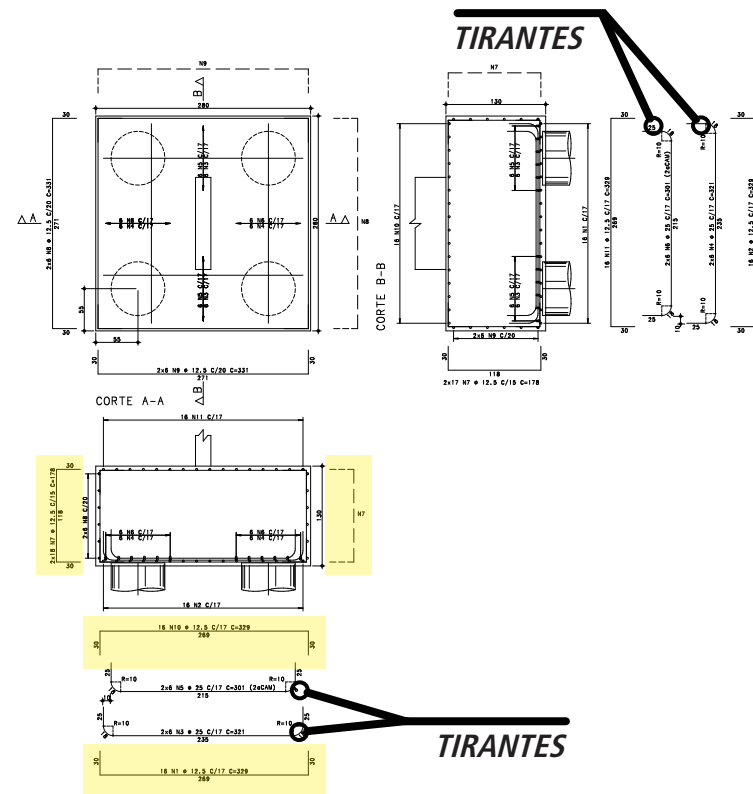
**Figura 3.19**

Posicionamento da armadura em blocos de coroamento sobre três estacas

**BLOCO DE COROAMENTO SOBRE QUATRO ESTACAS**

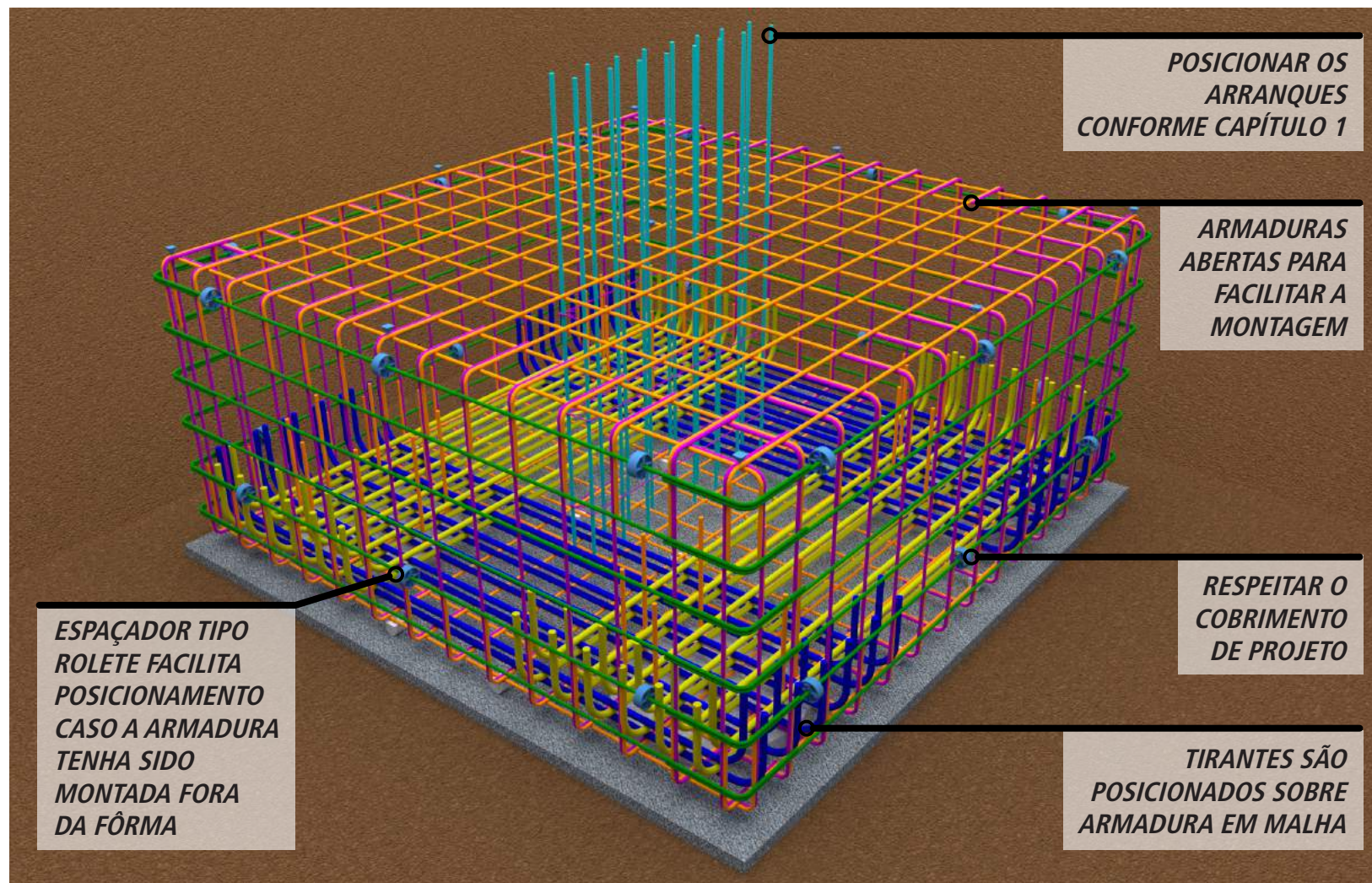
Em blocos de coroamento simétricos nas duas direções (ou seja, quadrados em planta) é recomendada a utilização da mesma armadura nas duas direções. Caso os valores de dimensionamento dos tirantes sejam diferentes devido à disposição do pilar e/ou das estacas, recomendamos o detalhamento em projeto com 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.

A seguir, as **Figuras 3.20 e 3.21** 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 3.20**

*Exemplo de armadura em blocos de coroamento sobre quatro estacas  
Destacadas em amarelo: armaduras segmentadas para facilitar a montagem*



**Figura 3.21**  
Exemplo de armadura em blocos de coroamento sobre quatro estacas

# MANUAL DE BOAS PRÁTICAS

## *CAPÍTULO 4*

### *ARMADURAS DE VIGAS NA FUNDAÇÃO*



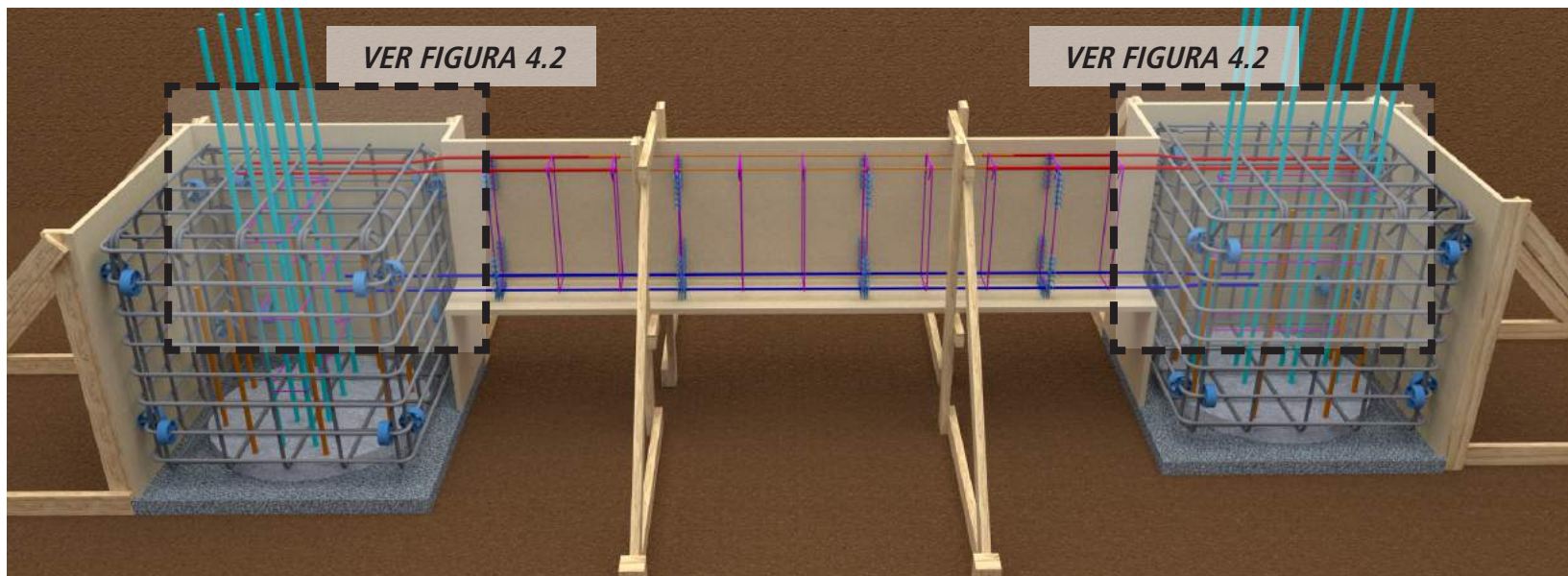


Neste capítulo, três tipos de vigas utilizadas comumente nas fundações serão apresentadas: as vigas baldrame, as vigas de travamento e as vigas alavanca.

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.

Serão abordados os seguintes encontros:

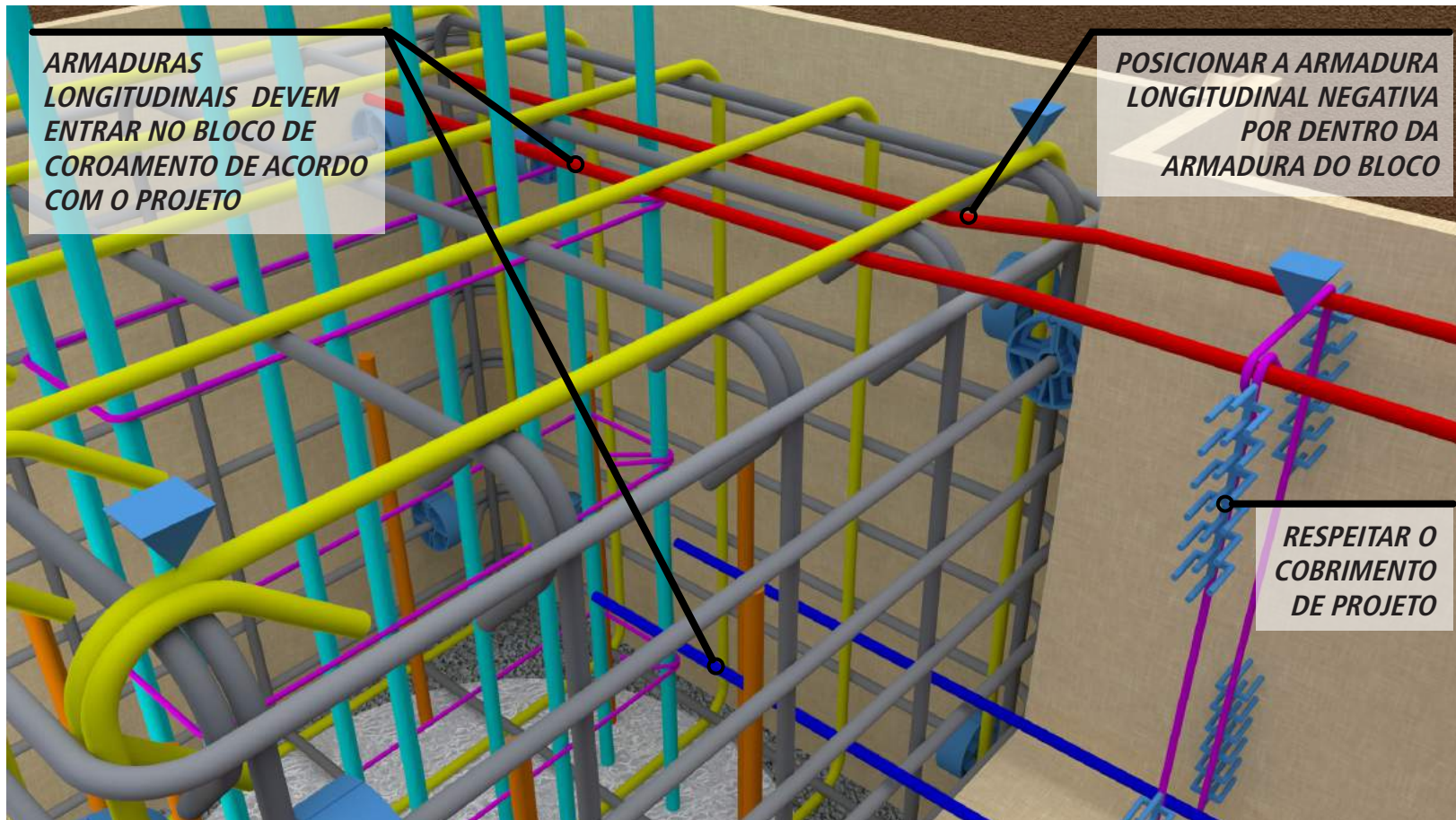
- Viga baldrame apoiada em blocos de coroamento;
- Viga baldrame apoiada em sapatas;
- Viga de travamento apoiada em blocos de coroamento;
- Viga alavanca apoiada em blocos de coroamento;
- Viga alavanca apoiada em sapatas.



**Figura 4.1**  
*Exemplo de uma viga baldrame apoiada em blocos*

## VIGA BALDRAME

Embora esta viga seja a mais simples entre as vigas presentes em fundações, mantém-se necessário cuidado em seu detalhamento (**Figuras 4.1 e 4.2**). 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.

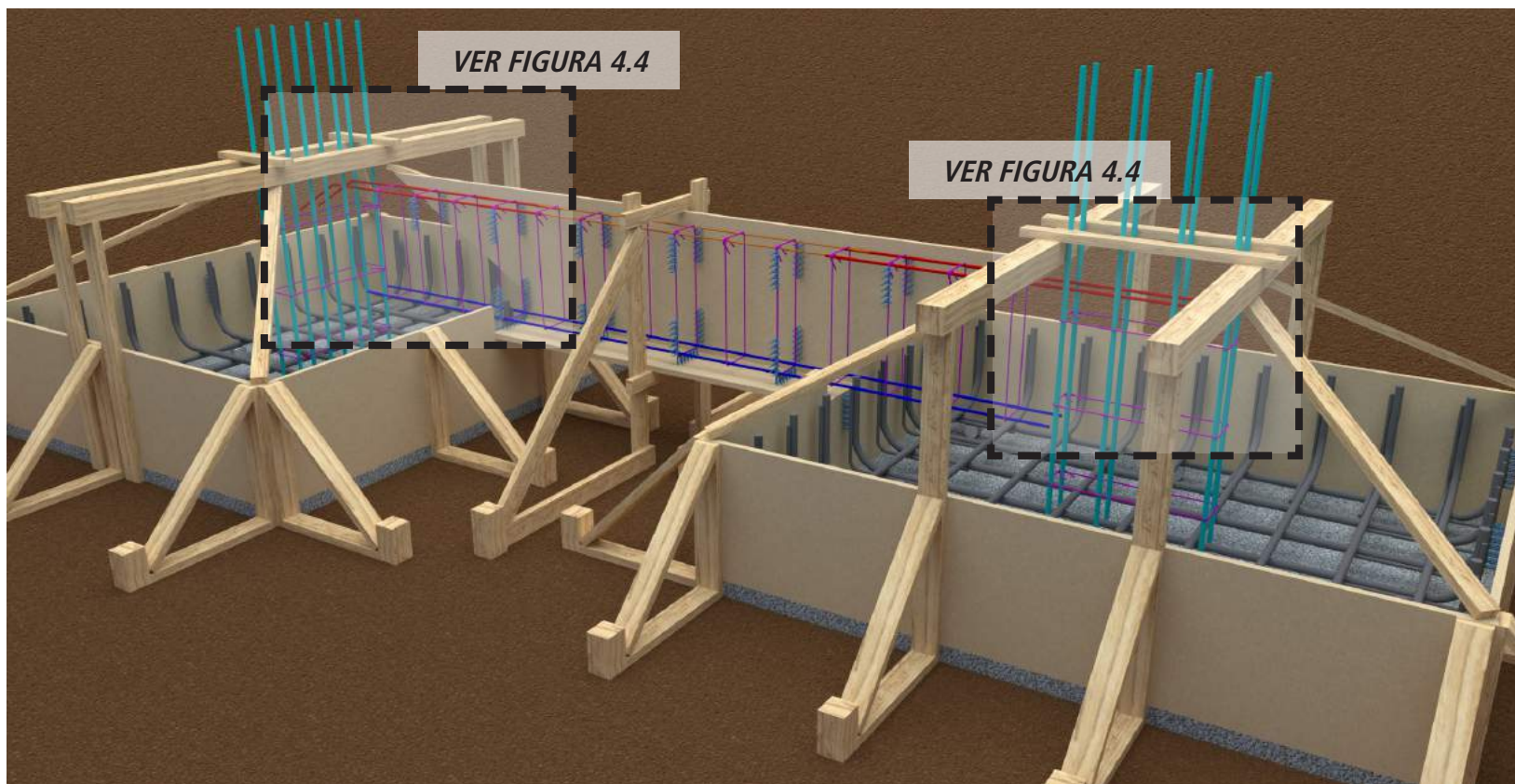


**Figura 4.2**  
Detalhe do posicionamento das armaduras da viga baldrame em bloco de coroamento

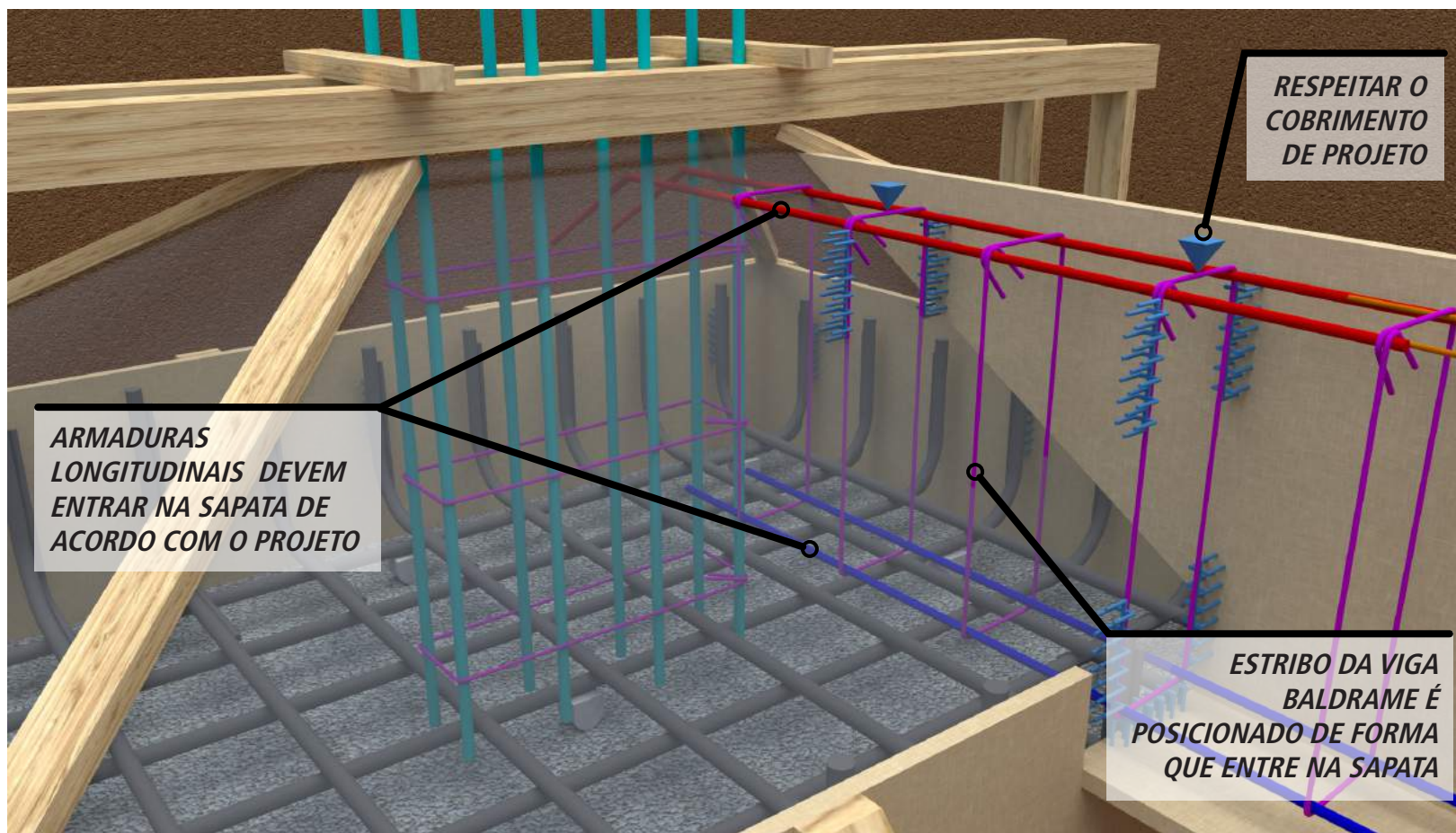
A viga baldrame pode apoiar-se em blocos de coroamento, como mostra a **Figura 4.1**, ou em sapatas, como apresentado na **Figura 4.3**.

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.



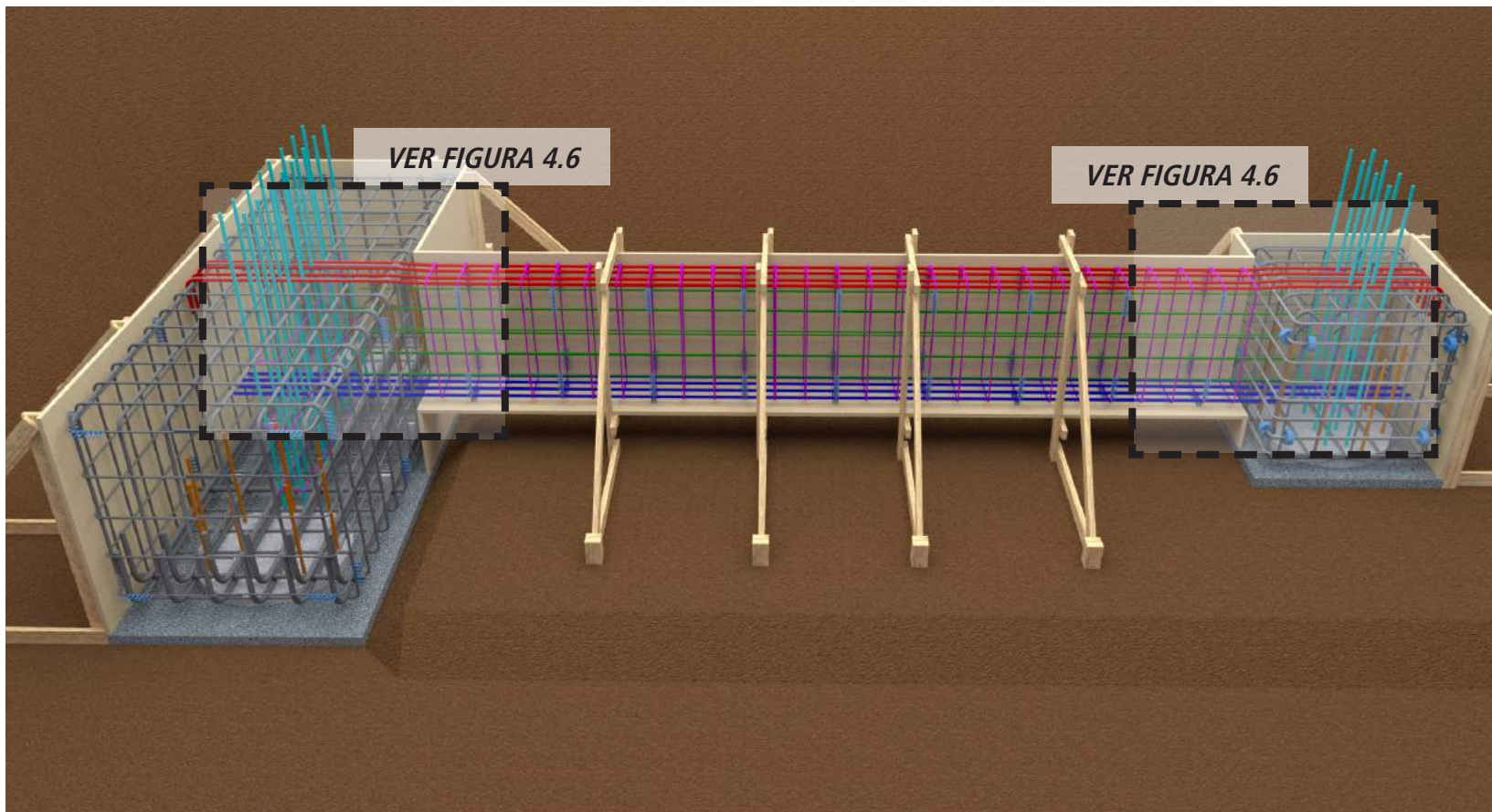
**Figura 4.3**  
*Exemplo de uma viga baldrame apoiada em sapatas*



**Figura 4.4**  
Detalhe do posicionamento das armaduras da viga baldrame em sapata

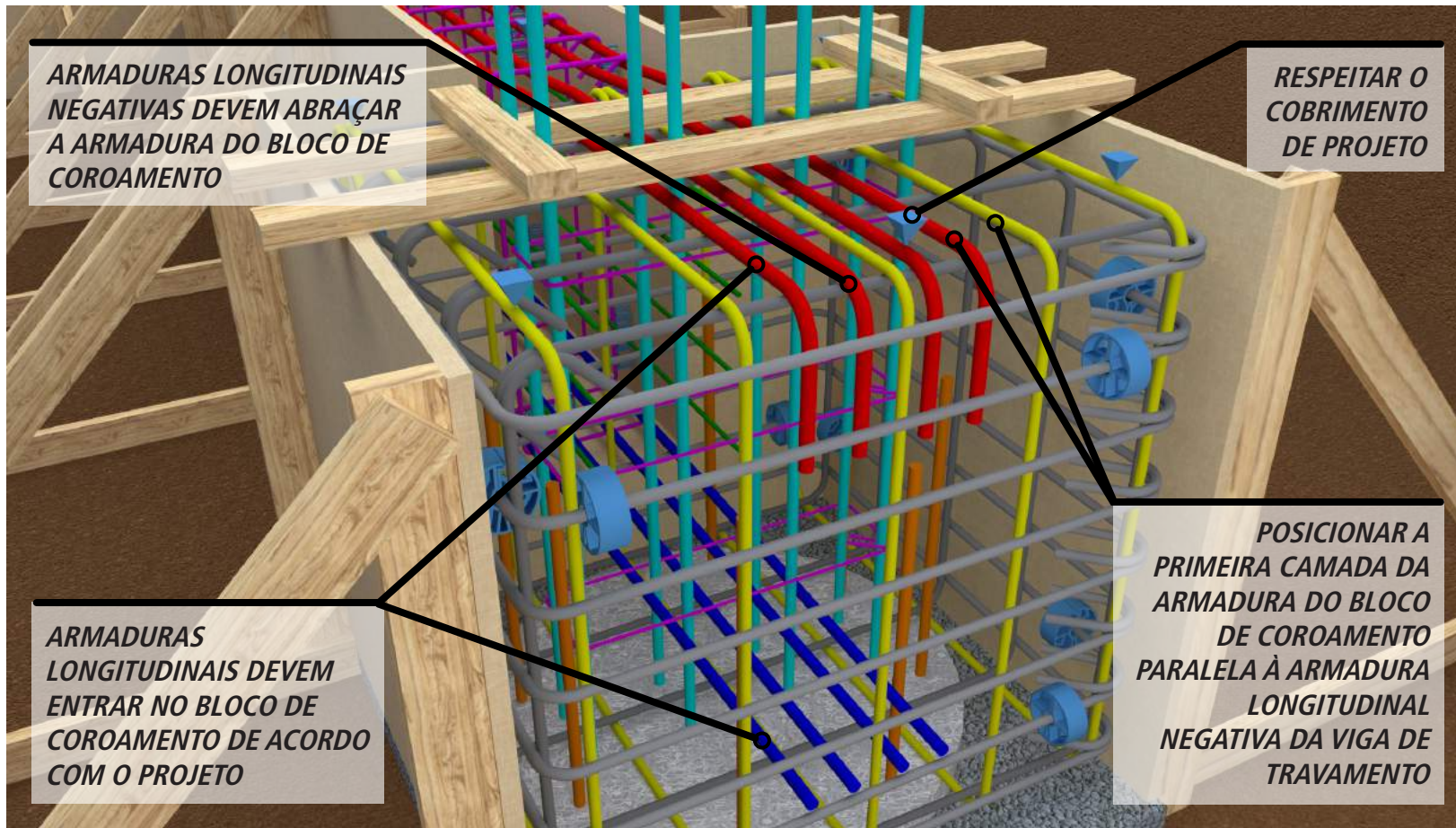
### VIGA DE TRAVAMENTO

A viga de travamento (**Figura 4.5**) é solicitada pelo consultor 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 4.5**  
*Exemplo de blocos travados por uma viga de travamento*

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 4.6** ressalta este detalhe.

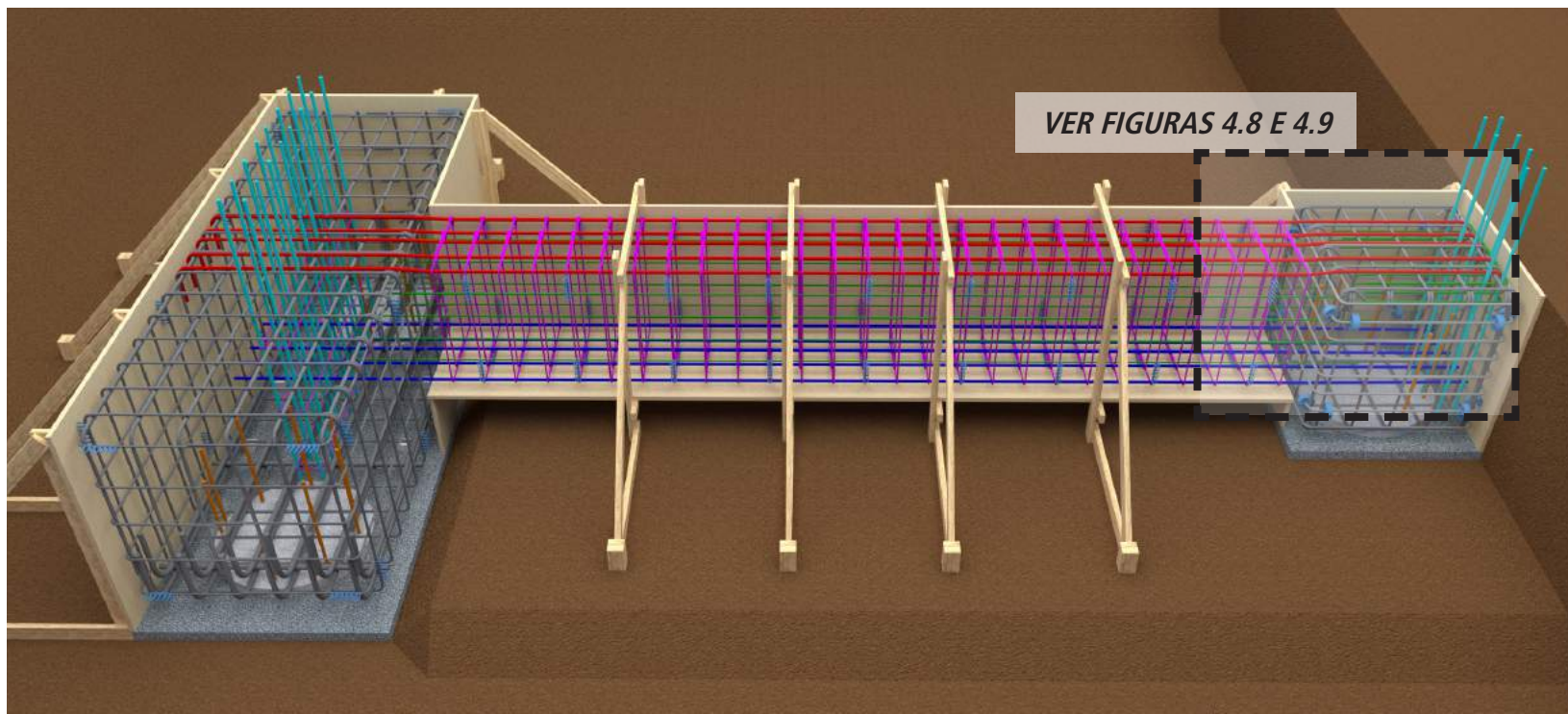


**Figura 4.6**  
Detalhe do posicionamento das armaduras da viga de travamento no bloco de coroamento

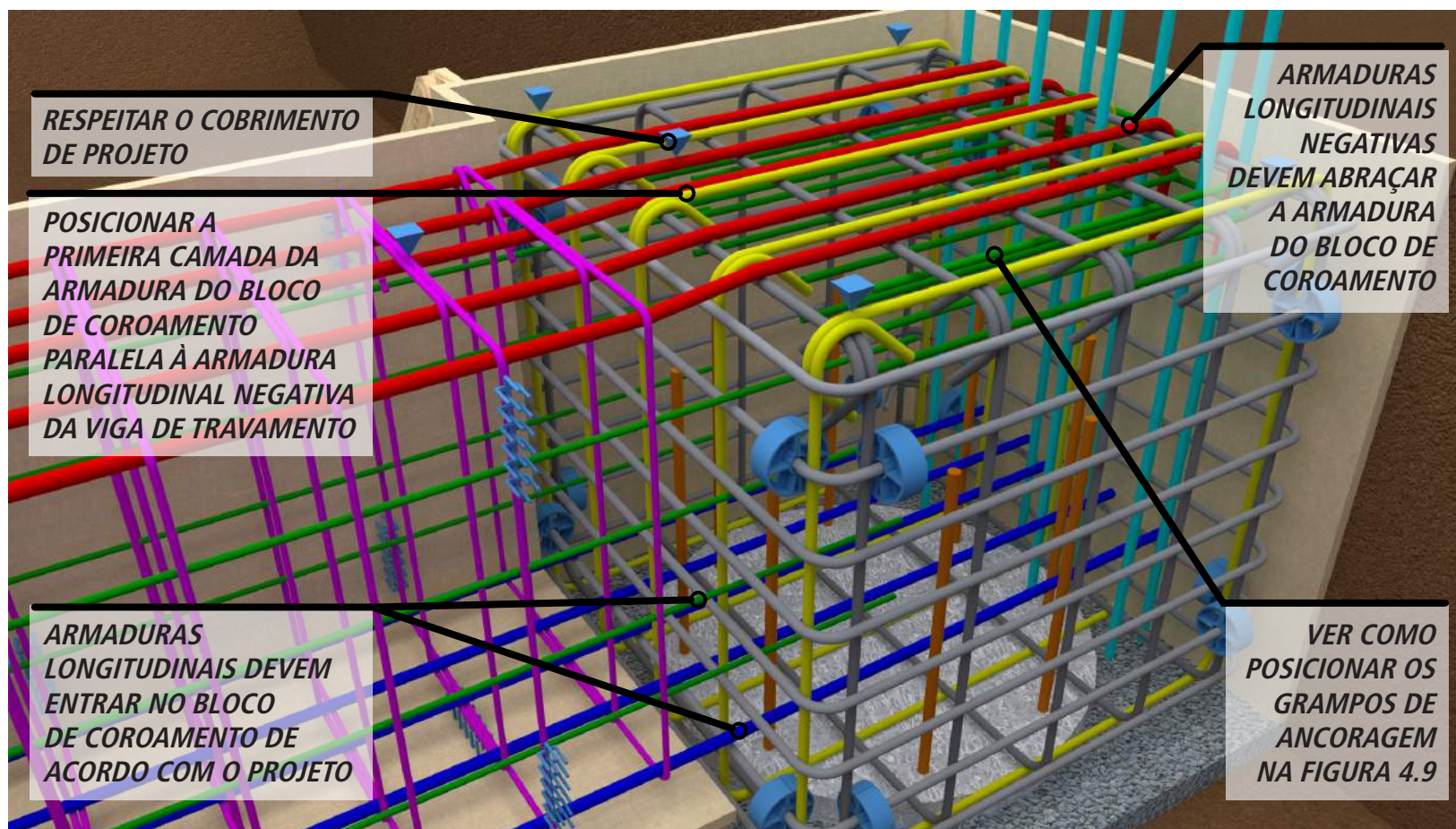
### VIGA ALAVANCA

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. 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.



**Figura 4.7**  
*Exemplo de viga alavanca em bloco de coroamento*

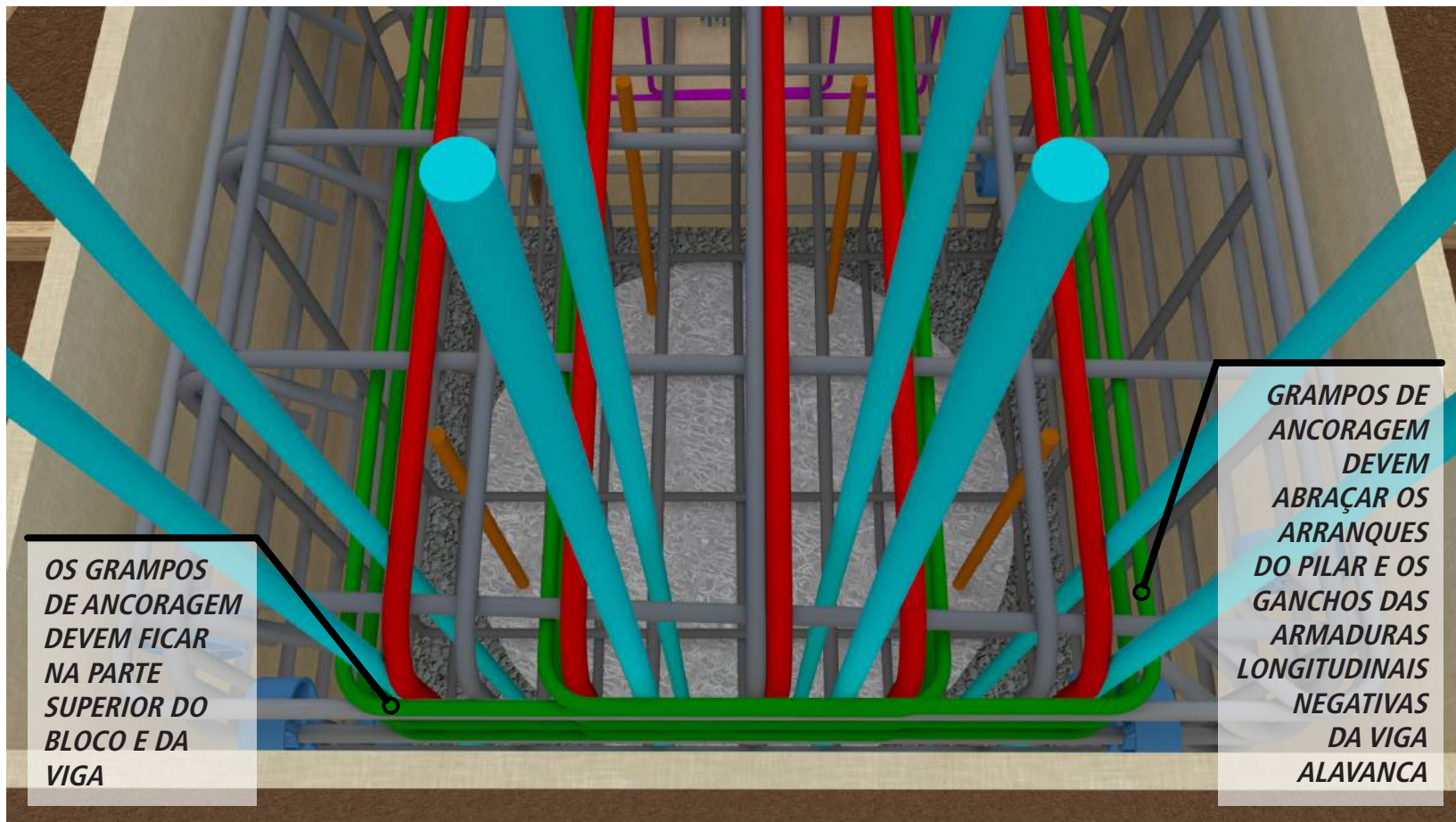


**Figura 4.8**

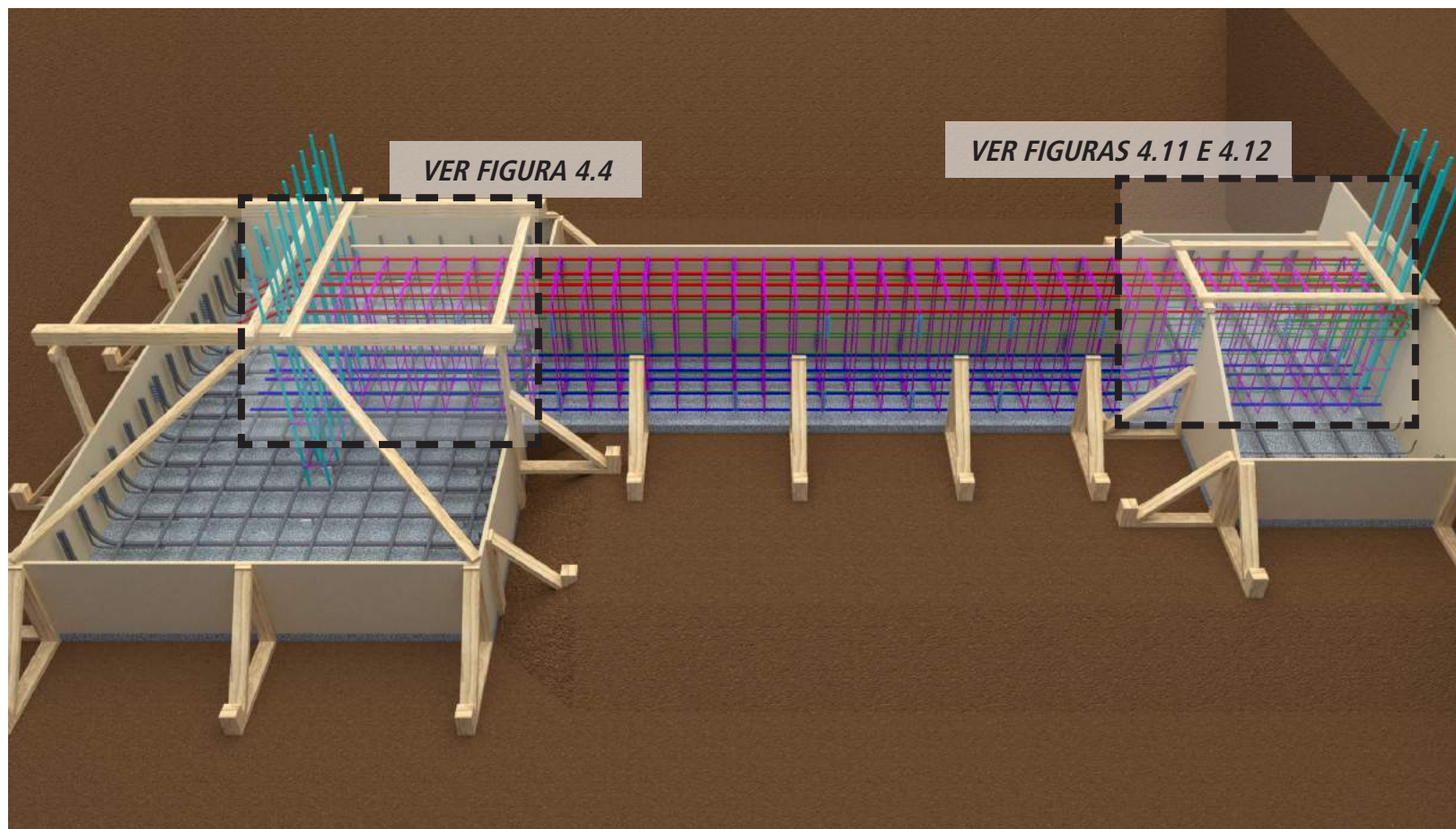
Detalhe do posicionamento das armaduras da viga alavanca no bloco de coroamento, onde o pilar está posicionado próximo à divisa do terreno



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 4.9** para o caso de apoio em bloco de coroamento e na **Figura 4.12** para o caso de apoio em sapatas.

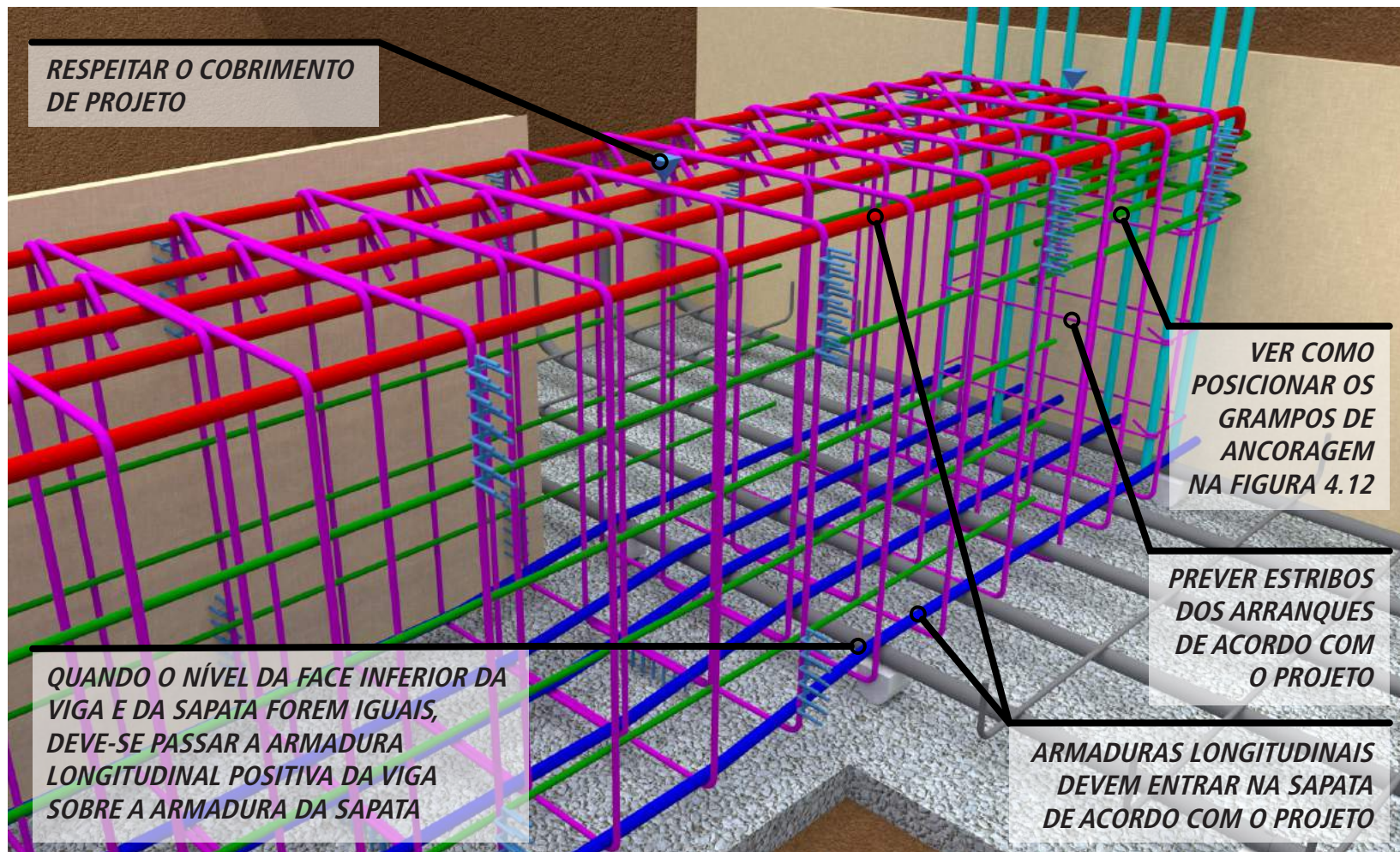


**Figura 4.9**  
Detalhe do posicionamento dos grampos de ancoragem na viga alavanca no bloco de coroamento



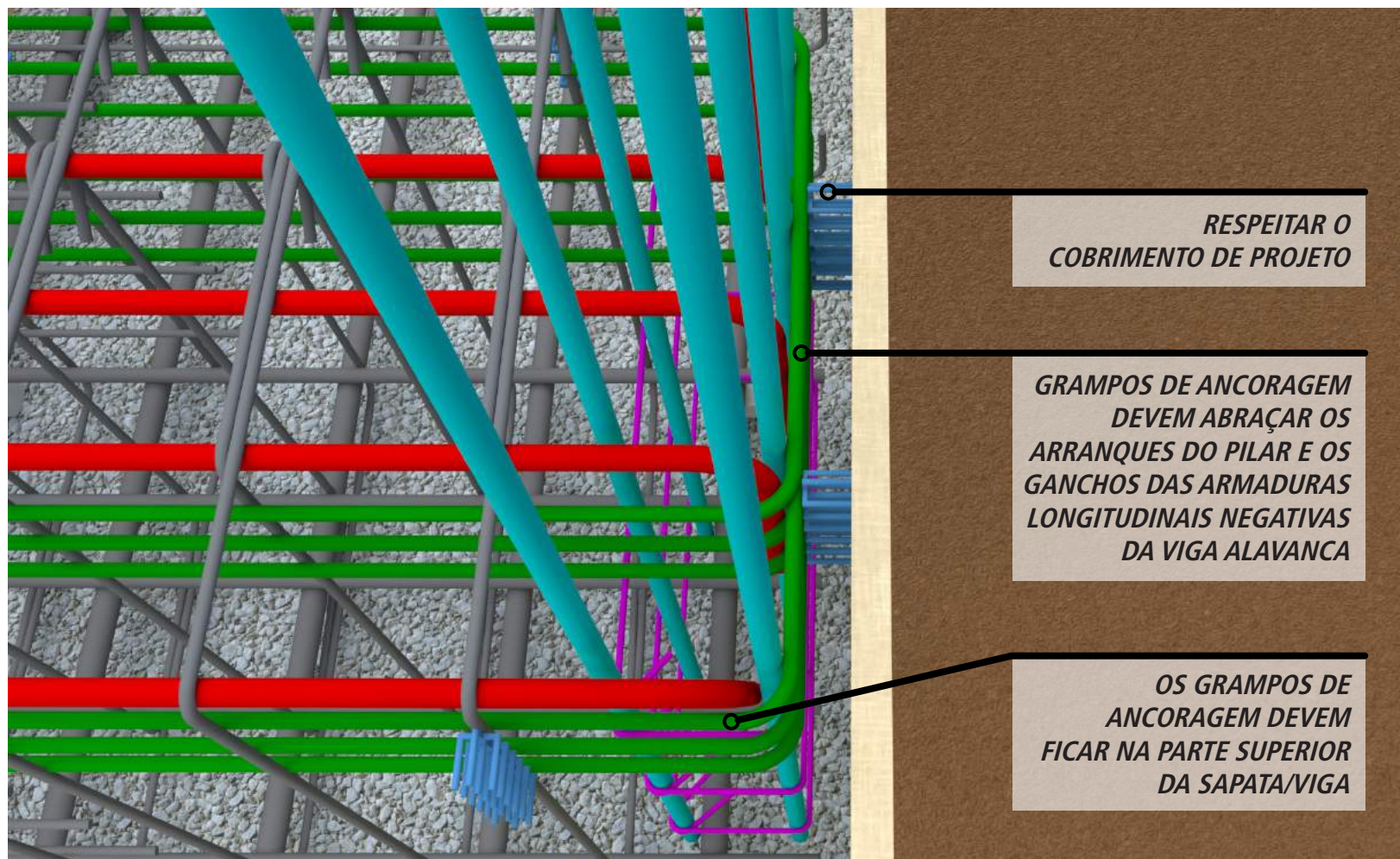
**Figura 4.10**  
*Exemplo de viga alavanca em sapata*

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 dos vergalhões pode ocorrer. Dessa forma, é conveniente prever estribos de pilar nestes arranques, principalmente em vigas alavanca de sapatas, como mostra a **Figura 4.11**.



**Figura 4.11**

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



**Figura 4.12**  
Detalhe do posicionamento dos grampos de ancoragem na viga alavanca na sapata

# MANUAL DE BOAS PRÁTICAS

## *CAPÍTULO 5*

### *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.

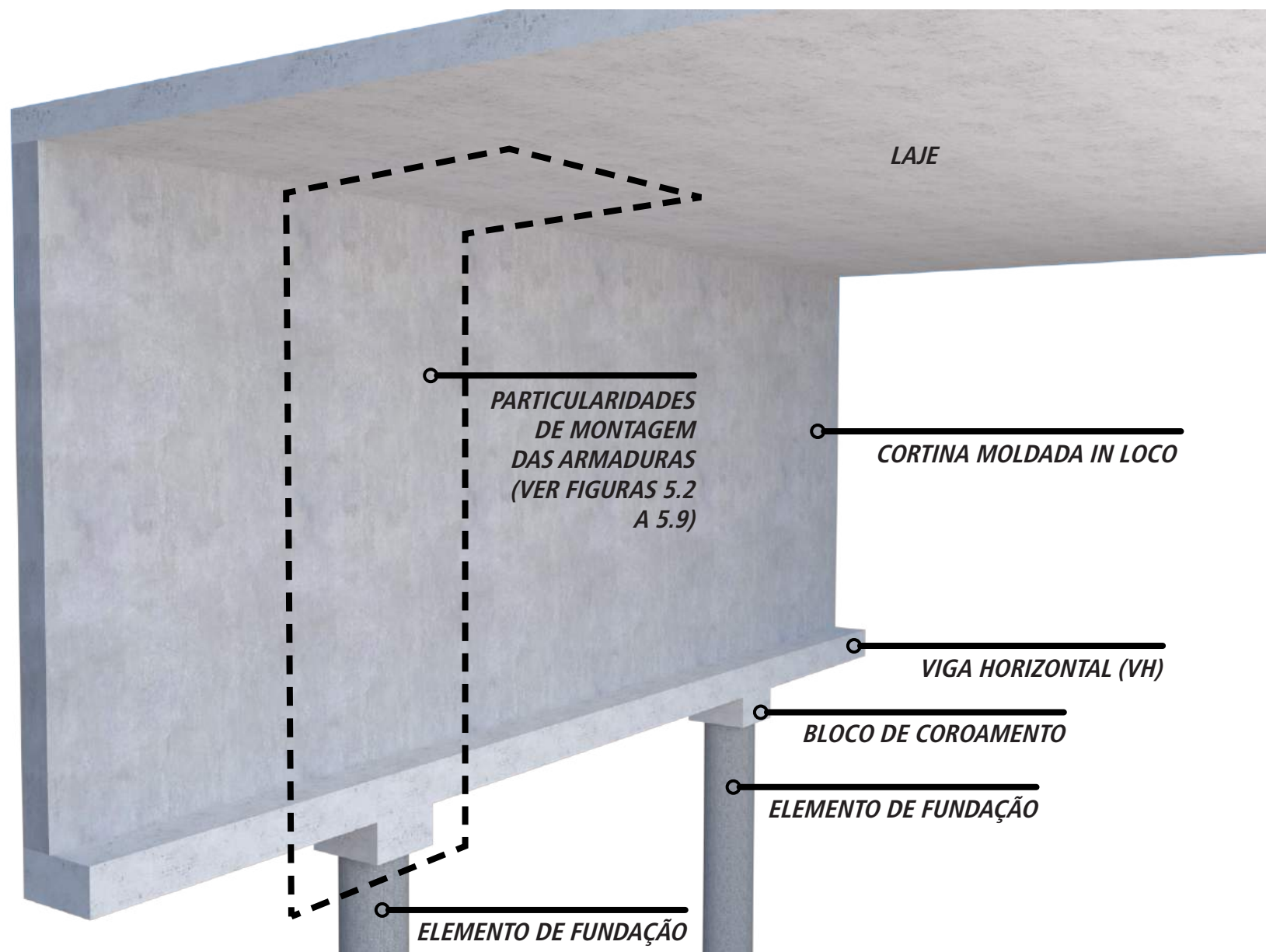
Estes elementos estruturais recebem o empuxo do solo, sofrendo, basicamente, esforços de flexão.

Neste capítulo, focamos 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.

Iremos demonstrar o detalhamento de uma cortina moldada *in loco* de um lance, travada por uma viga horizontal (VH) e pelo pavimento estruturado (**Figura 5.1**). As dimensões apresentadas na **Figura 5.1** 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).



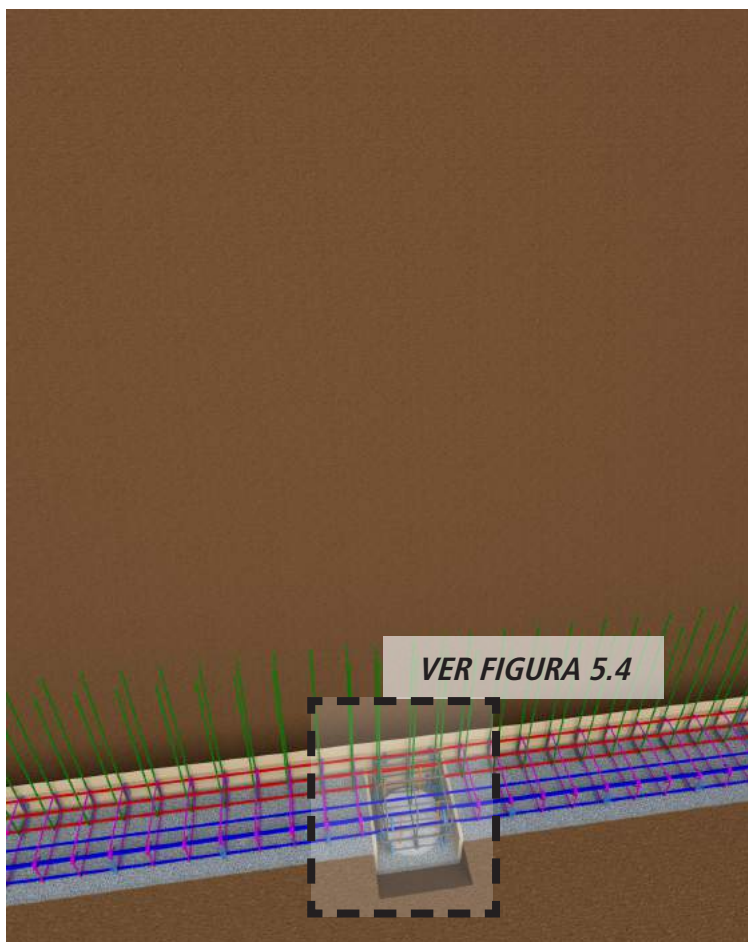
**Figura 5.1**  
*Cortina moldada in loco*



### 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.

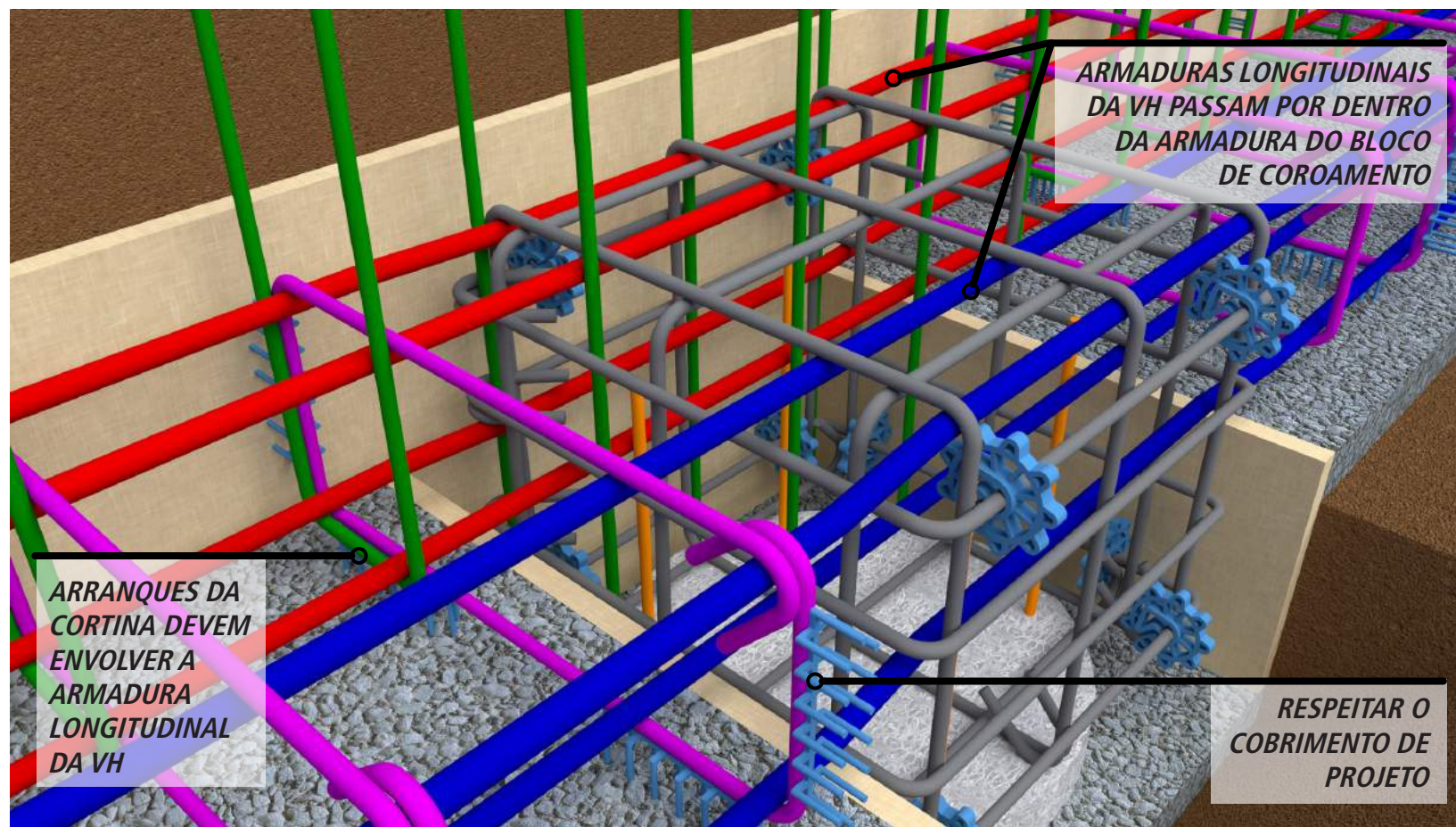
Veja, a seguir, a sequência executiva de posicionamento das armaduras deste tipo de cortina.



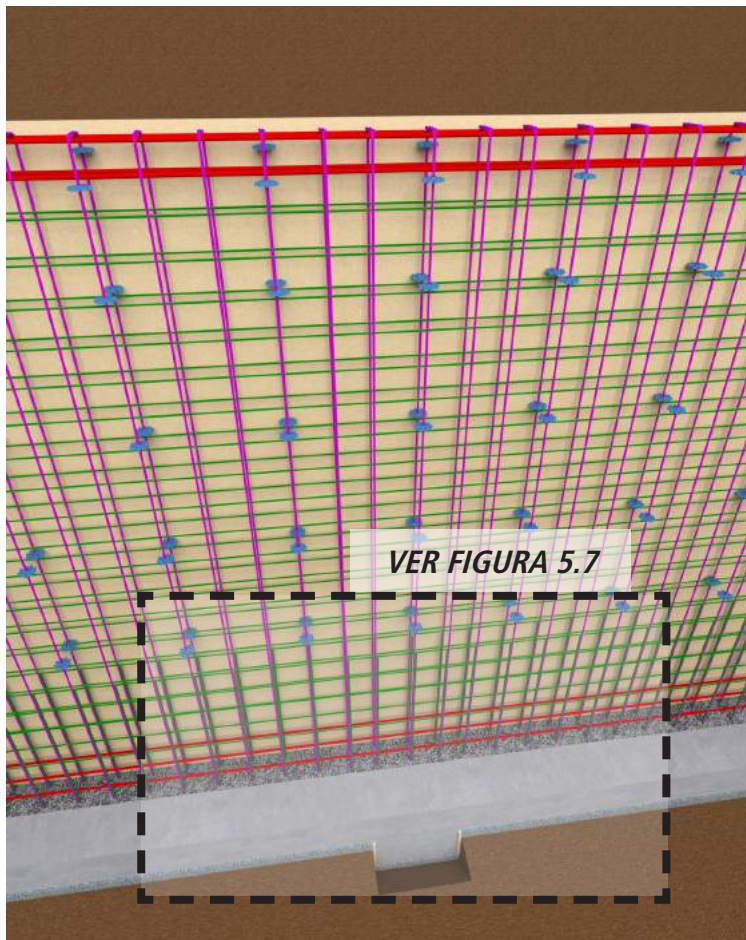
**Figura 5.2**  
ETAPA 1 | Posicionamento da armadura da VH e dos arranques



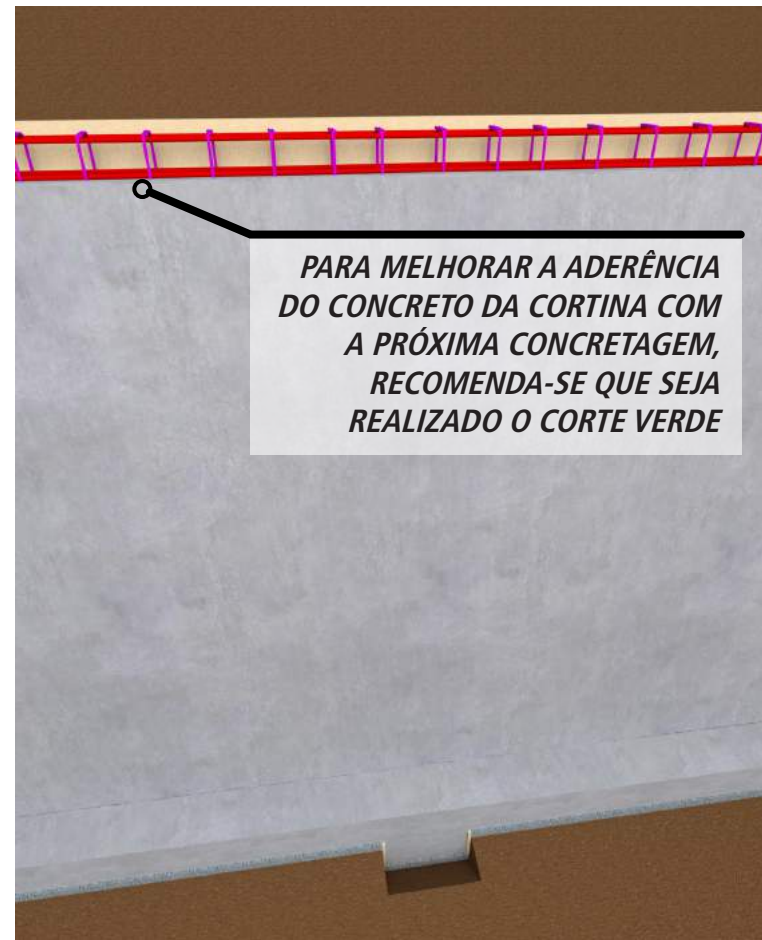
**Figura 5.3**  
ETAPA 2 | VH concretada com os arranques da cortina



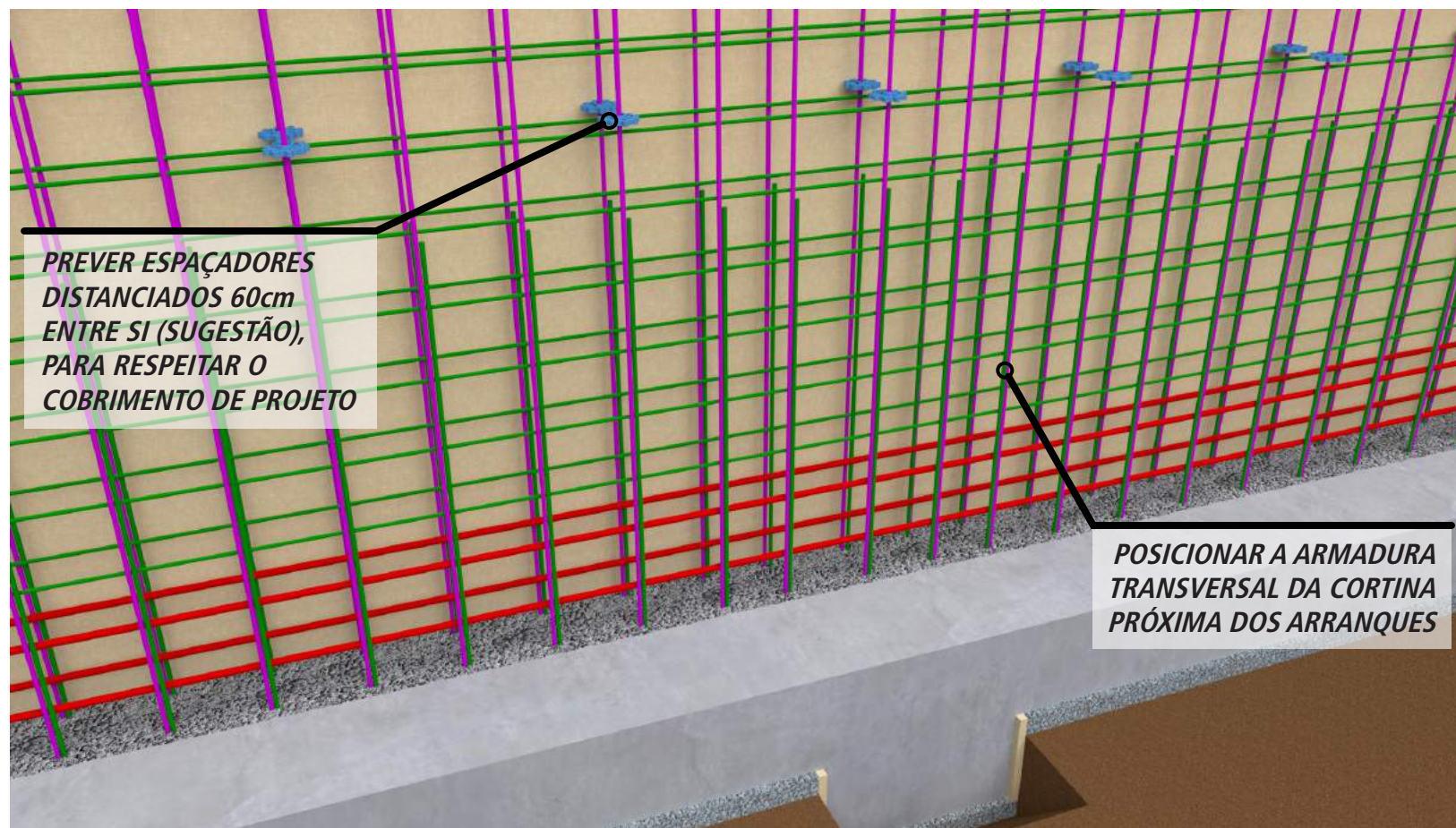
**Figura 5.4**  
Detalhes de montagem da interface bloco de coroamento x VH x arranque da cortina



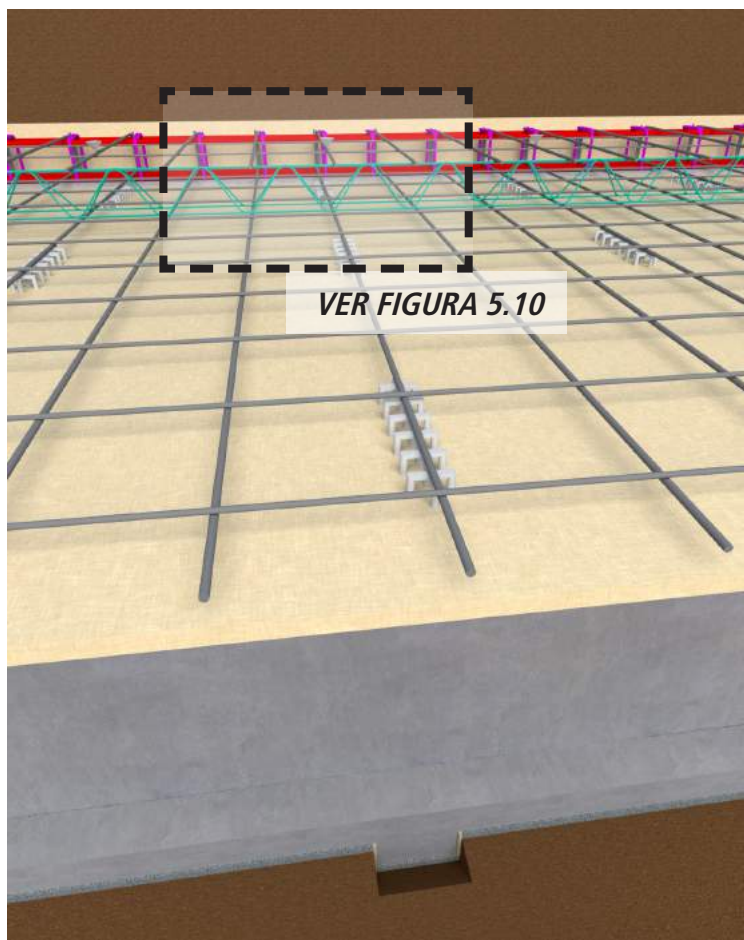
**Figura 5.5**  
ETAPA 3 | Posicionamento da armadura da cortina



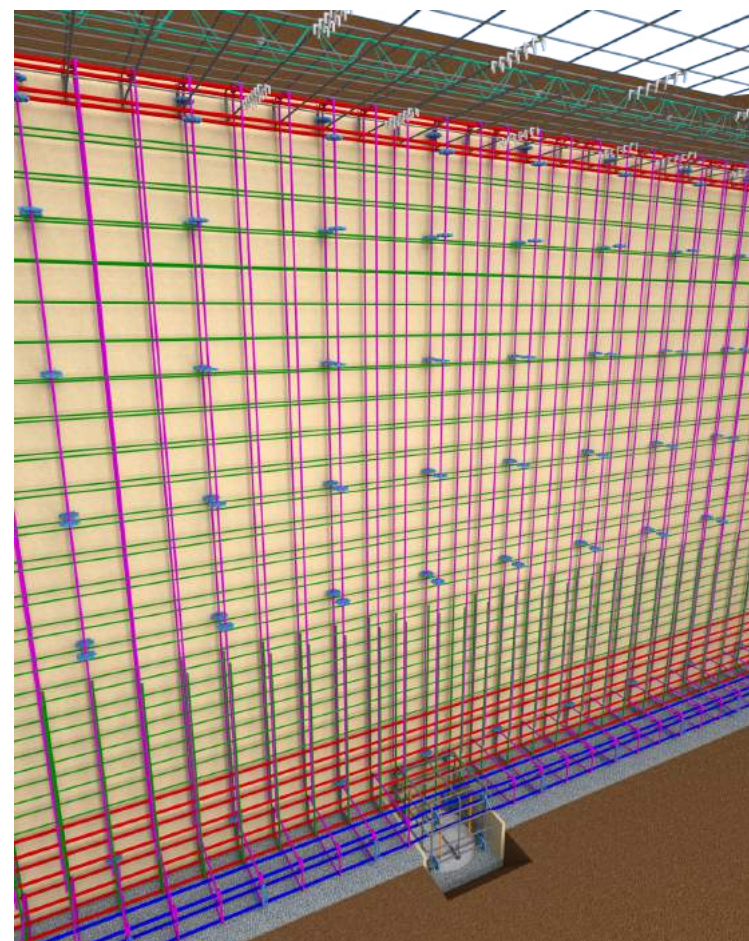
**Figura 5.6**  
ETAPA 4 | Cortina concretada até o fundo da laje (caso não existam vigas que se apoiem na cortina)



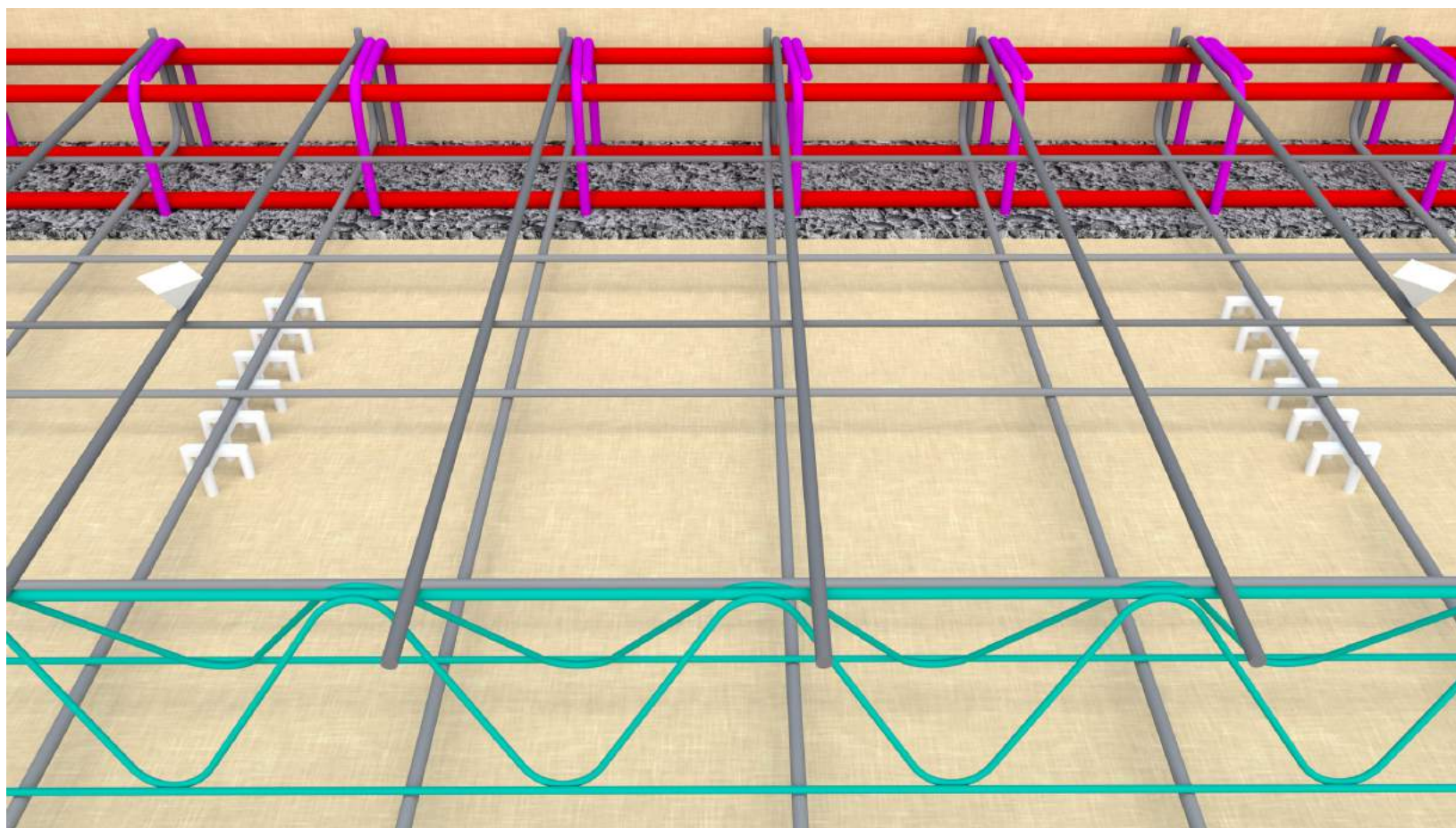
**Figura 5.7**  
Detalhe de montagem da armadura da cortina



**Figura 5.8**  
ETAPA 5 | Posicionamento da armadura da laje que irá travar a cortina



**Figura 5.9**  
ETAPA 6 | Vista geral das armaduras



**Figura 5.10**

*Detalhe do encontro da armadura da cortina com a armadura da laje. Para mais detalhes sobre as armaduras da laje, consultar o Volume 1 do Manual de Boas Práticas - Montagem das Armaduras de Estruturas de Concreto Armado*

# MANUAL DE BOAS PRÁTICAS

## *CAPÍTULO 6*

### *ARMADURAS DE RESERVATÓRIOS E PISCINAS*



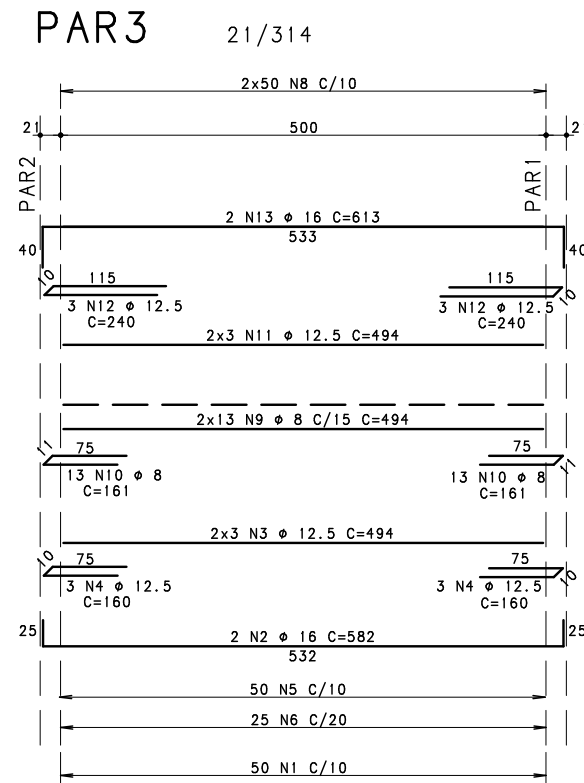


Os reservatórios e as piscinas de concreto armado merecem especial atenção e cuidado, não apenas em seu dimensionamento, mas também em seu detalhamento e execução.

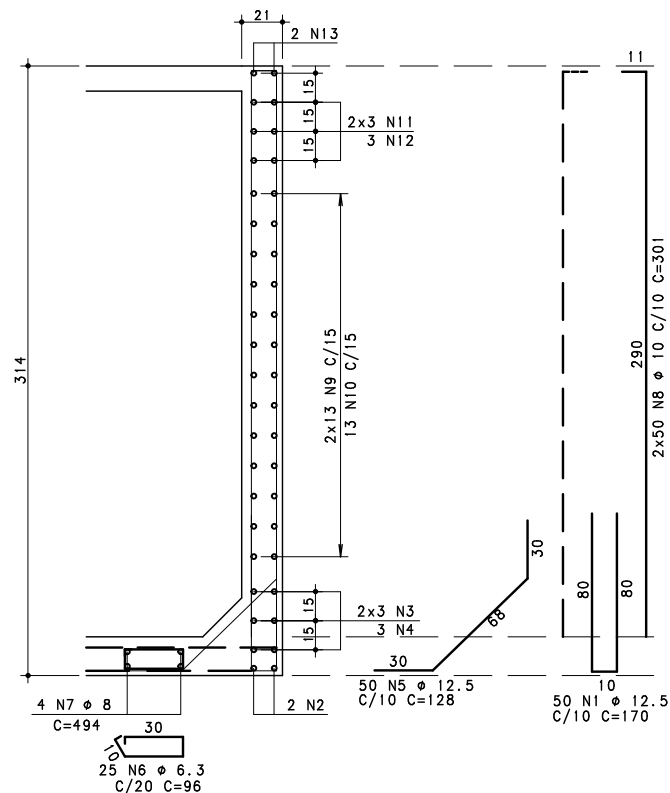
No detalhamento, as armaduras devem estar posicionadas adequadamente, principalmente nos pontos onde há concentrações de esforços de flexo-tração. Estes pontos se localizam nos encontros entre as paredes e entre as paredes e a laje de fundo. Nesses encontros, a continuidade estrutural deve ser mantida 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 junto 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, recomendamos 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.

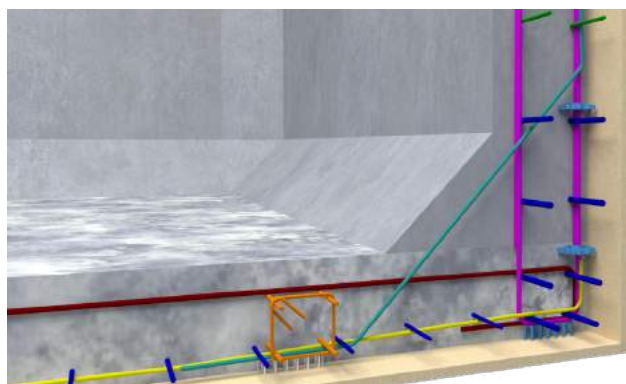
Nas próximas páginas, o posicionamento das armaduras de reservatórios e piscinas são apresentados em detalhes.



**Figura 6.1a**  
Exemplo de armadura da parede do reservatório de concreto armado



**Figura 6.1b**  
Exemplo de armadura da parede do reservatório de concreto armado



**Figura 6.1c**  
Detalhe do posicionamento das armaduras na ligação parede x laje de fundo

## ARMADURAS DE RESERVATÓRIOS

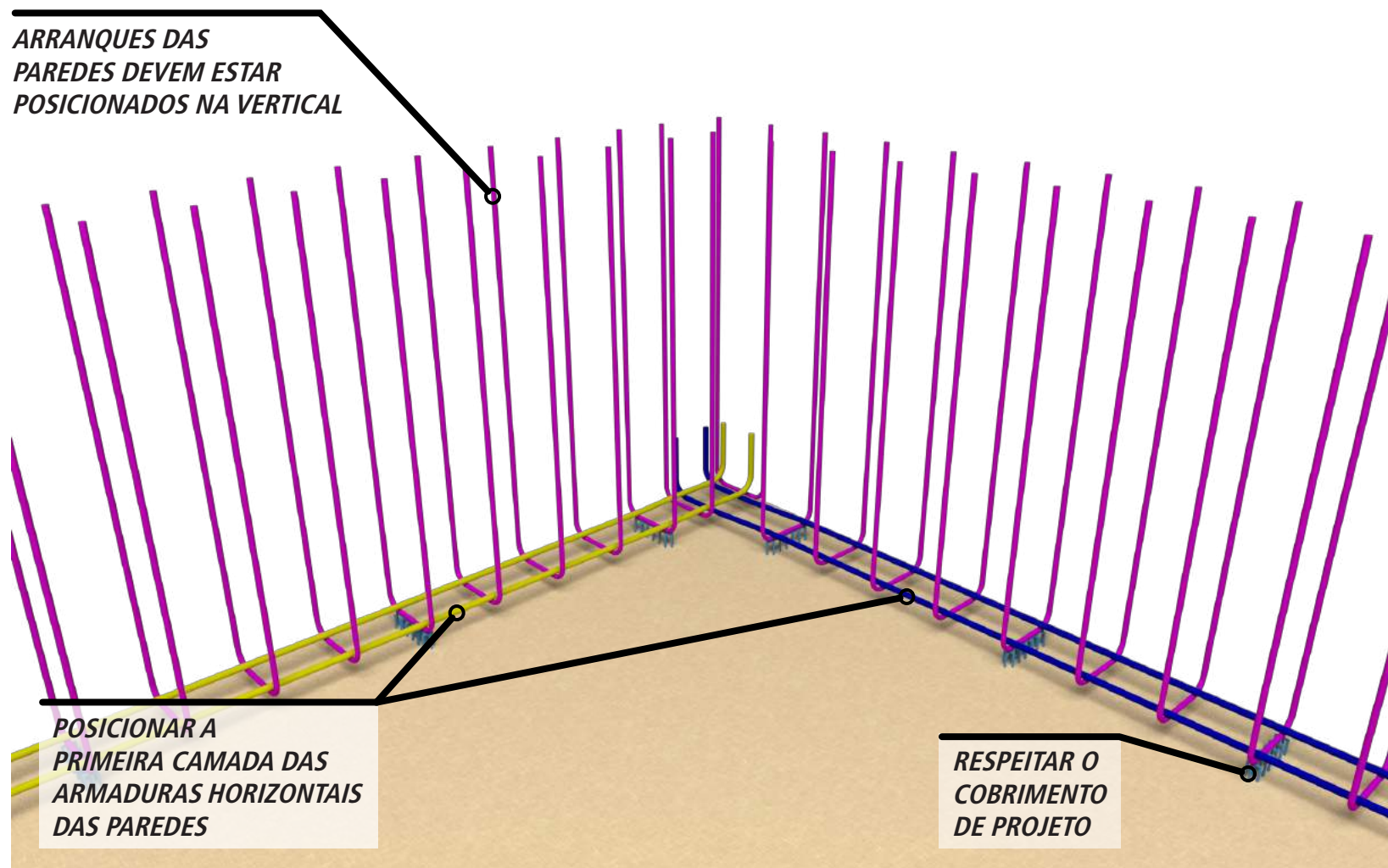
Os reservatórios possuem uma elevada carga de empuxo devido à coluna d'água, resultando em consideráveis espessuras de paredes e laje de fundo. Tais espessuras são calculadas de modo a atender ao Estado Limite de Serviço (controle da deformação e da abertura de fissuras na laje e/ou nas paredes). Além 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 6.1a e 6.1b**) devem ser posicionadas adequadamente. Embora correta, a representação bidimensional destas armaduras (**Figuras 6.1a e 6.1b**) pode carecer de clareza quanto às ligações entre parede e laje fundo. Dessa forma, detalhes como a **Figura 6.1c** são necessários, de modo a orientar o melhor posicionamento das armaduras nesta ligação.

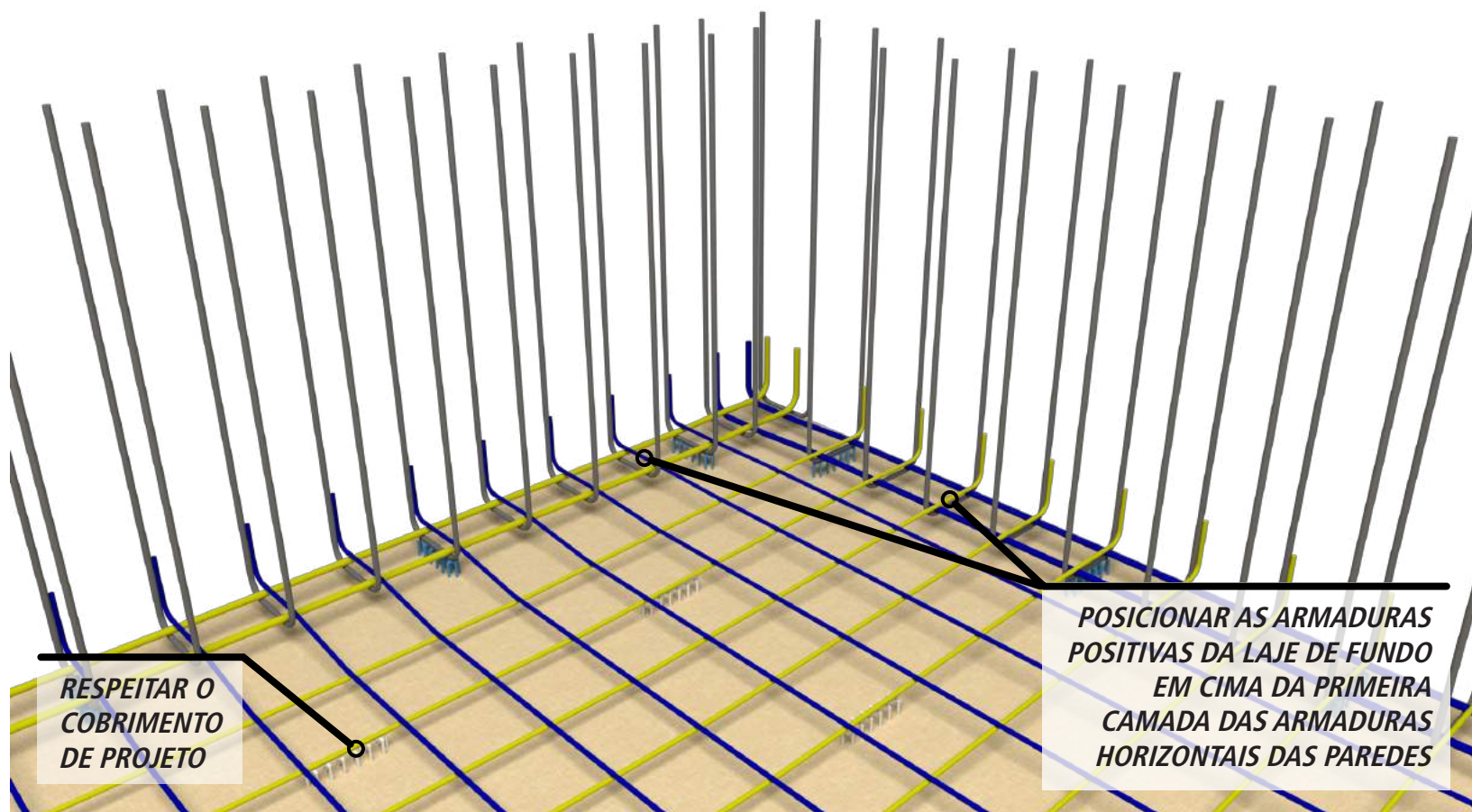
Nas **Figuras 6.2 a 6.12**, a seguir, sugerimos uma sequência de montagem das armaduras do reservatório baseada em melhores práticas utilizadas atualmente.

## CAPÍTULO 6

### ARMADURAS DE RESERVATÓRIOS E PISCINAS



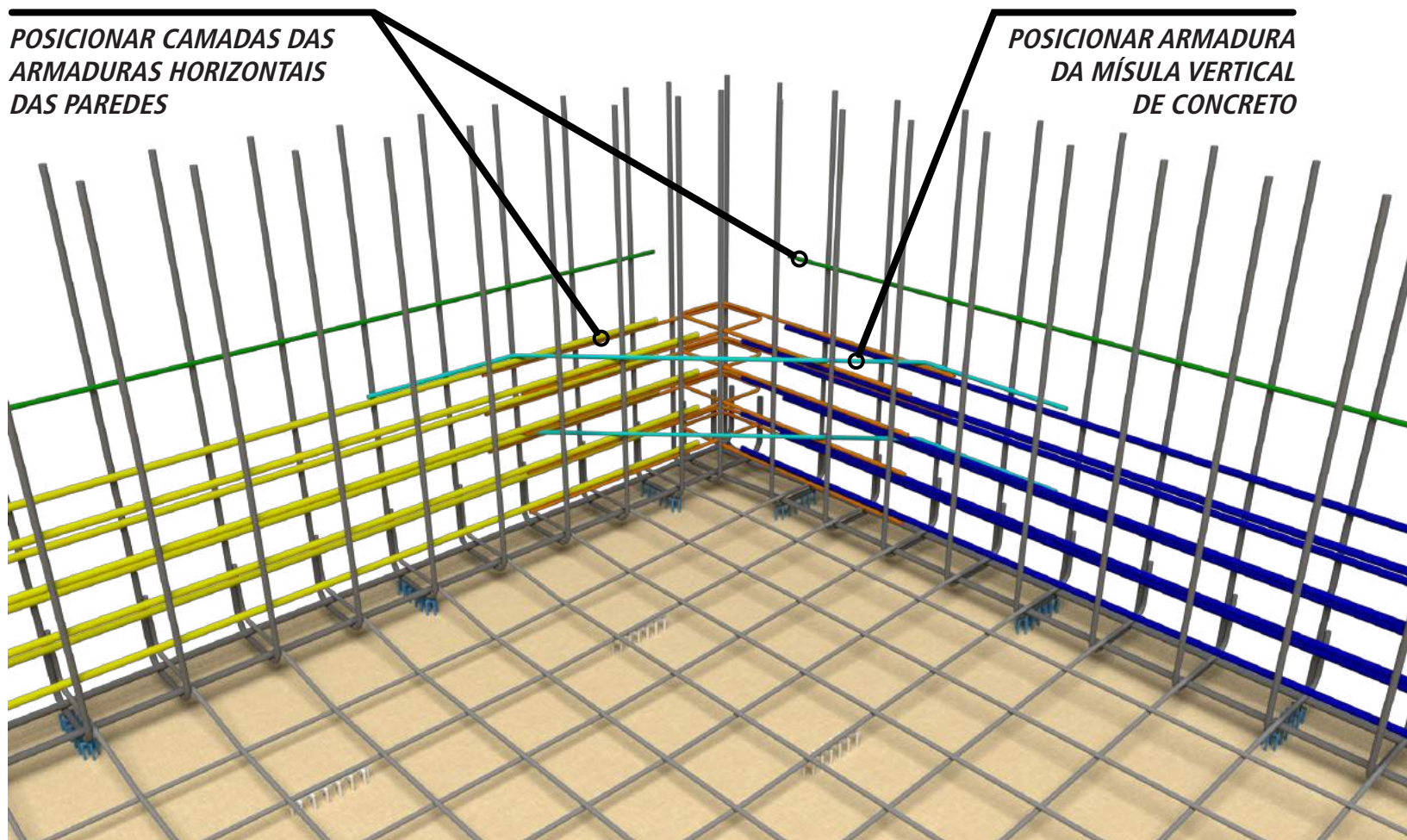
**Figura 6.2**  
ETAPA 1 | Posicionamento dos arranques das paredes



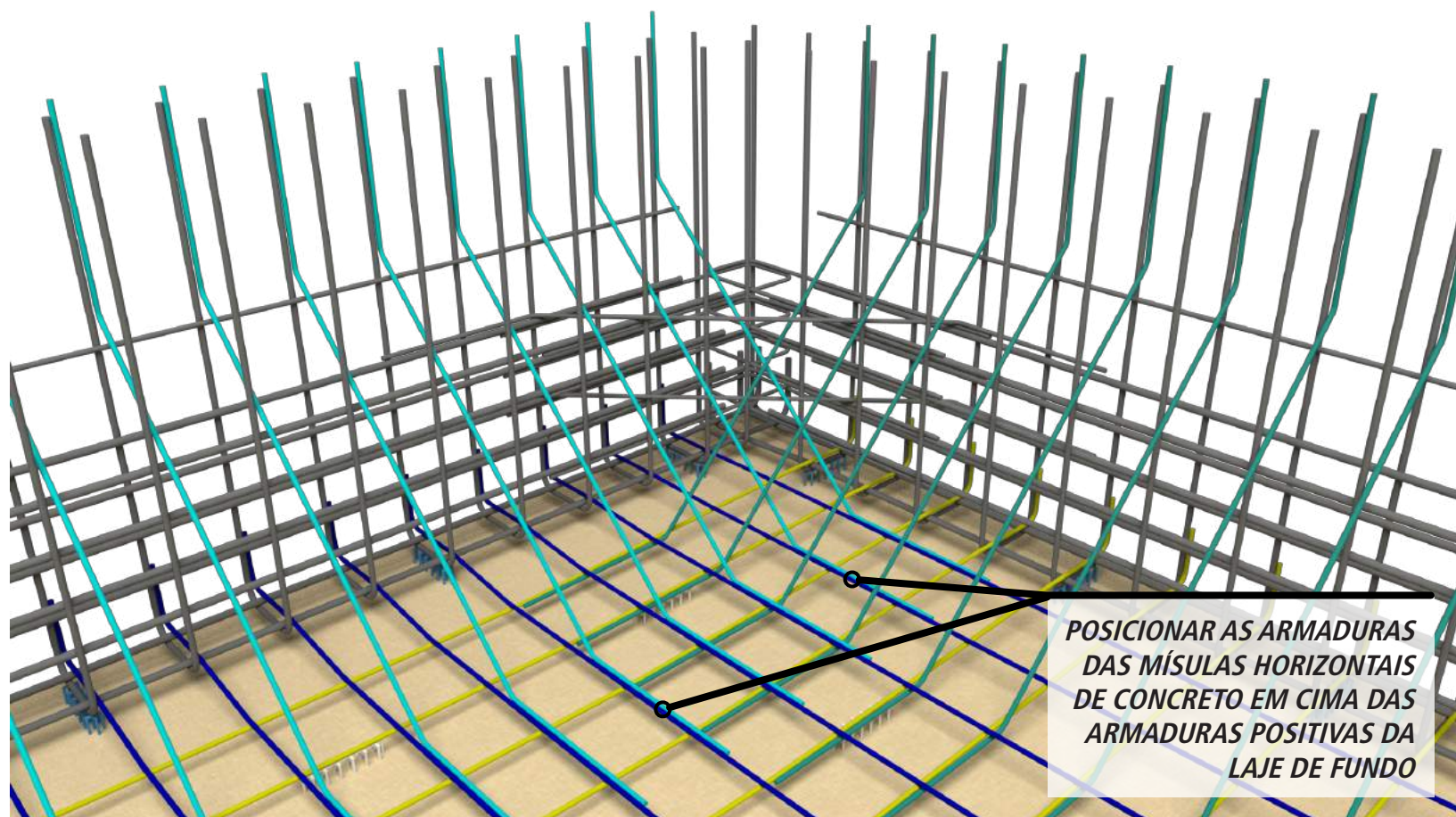
**Figura 6.3**  
ETAPA 2 | Posicionamento das armaduras positivas da laje de fundo

## CAPÍTULO 6

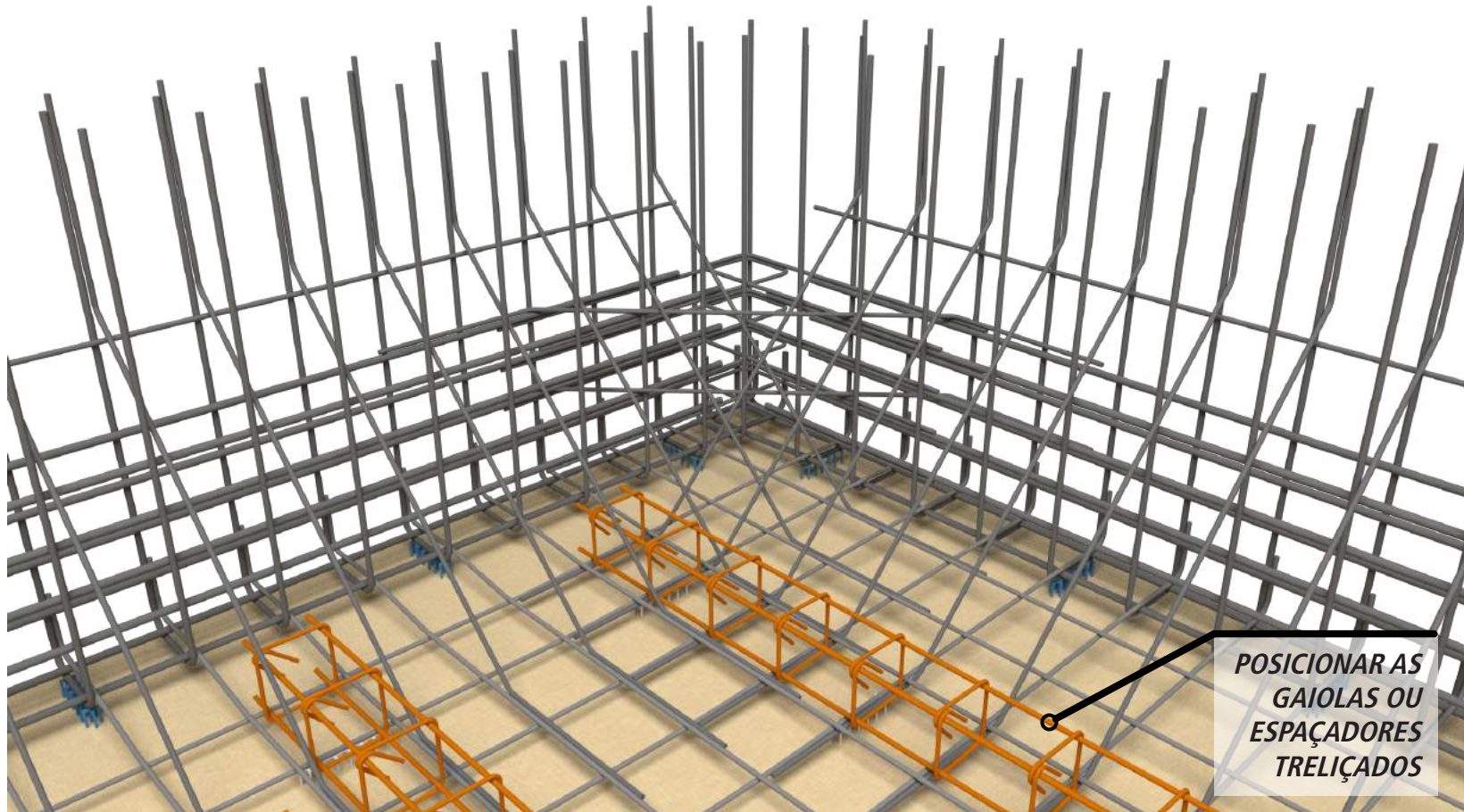
### ARMADURAS DE RESERVATÓRIOS E PISCINAS



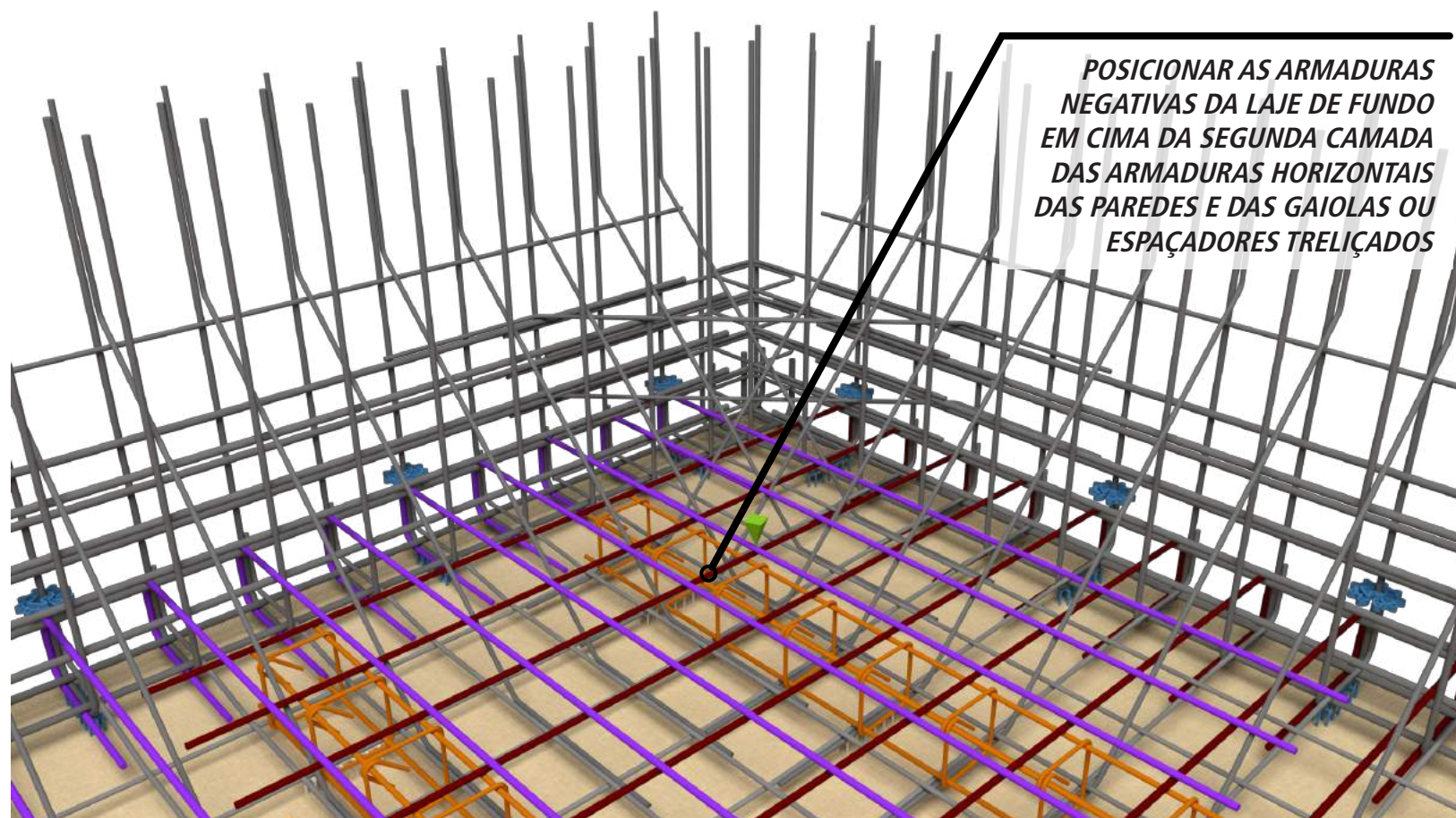
**Figura 6.4**  
ETAPA 3 | Posicionamento das armaduras horizontais das paredes do reservatório



**Figura 6.5**  
ETAPA 4 | Posicionamento das armaduras das mísulas horizontais de concreto (ligação parede X laje de fundo)

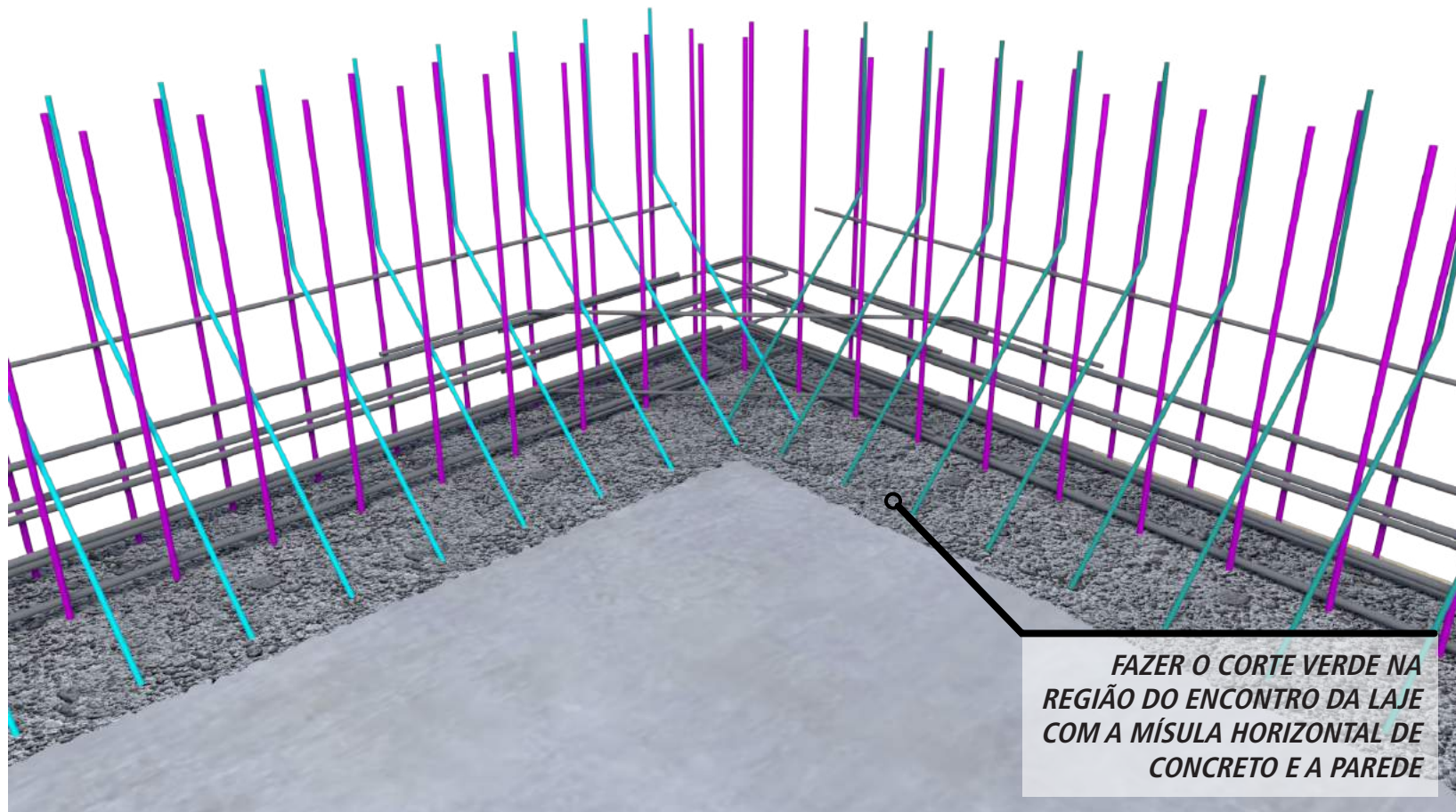


**Figura 6.6**  
ETAPA 5 | Posicionamento das armaduras que são a base das armaduras negativas da laje de fundo

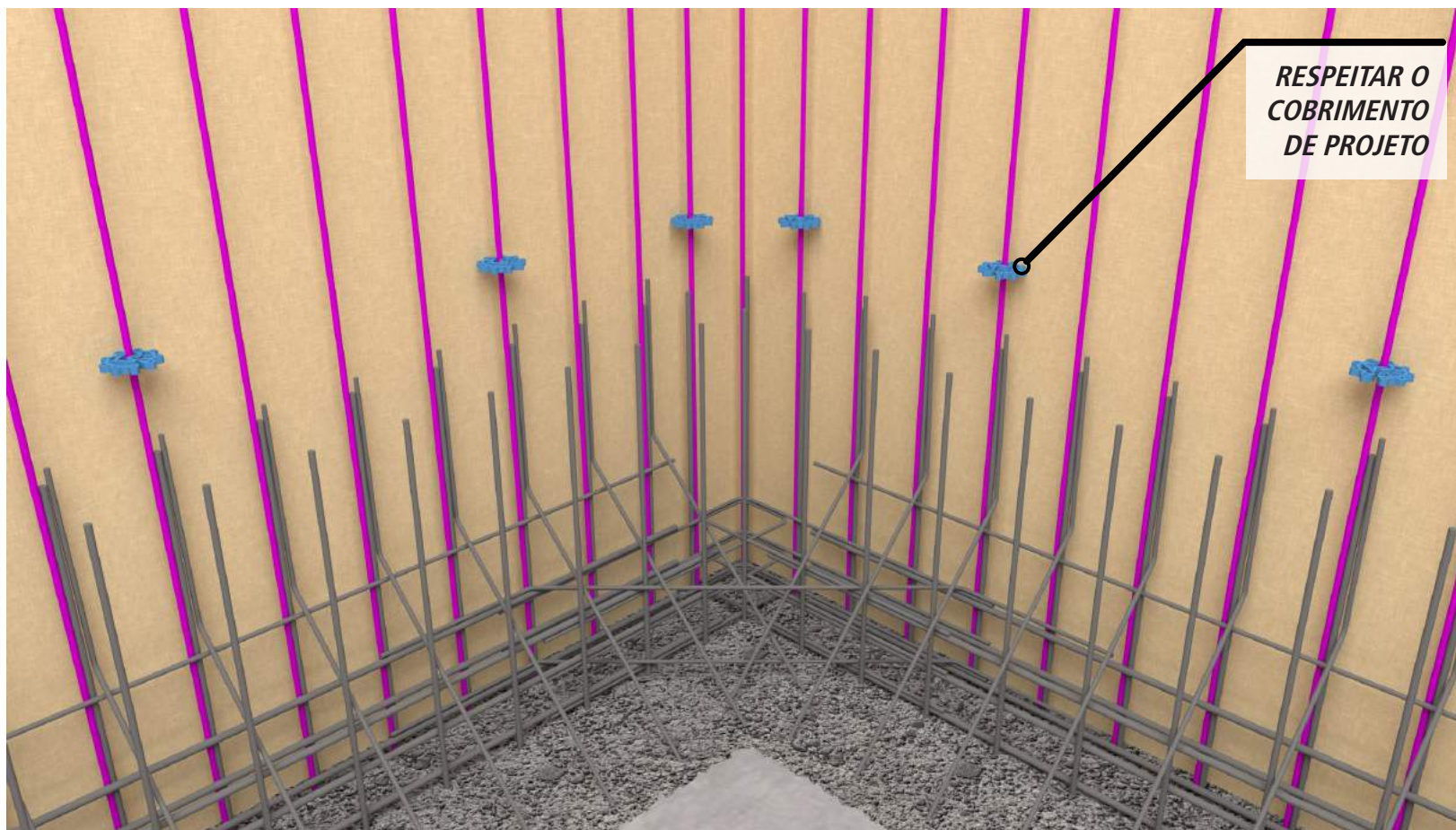


**Figura 6.7**  
ETAPA 6 | Posicionamento das armaduras negativas da laje de fundo





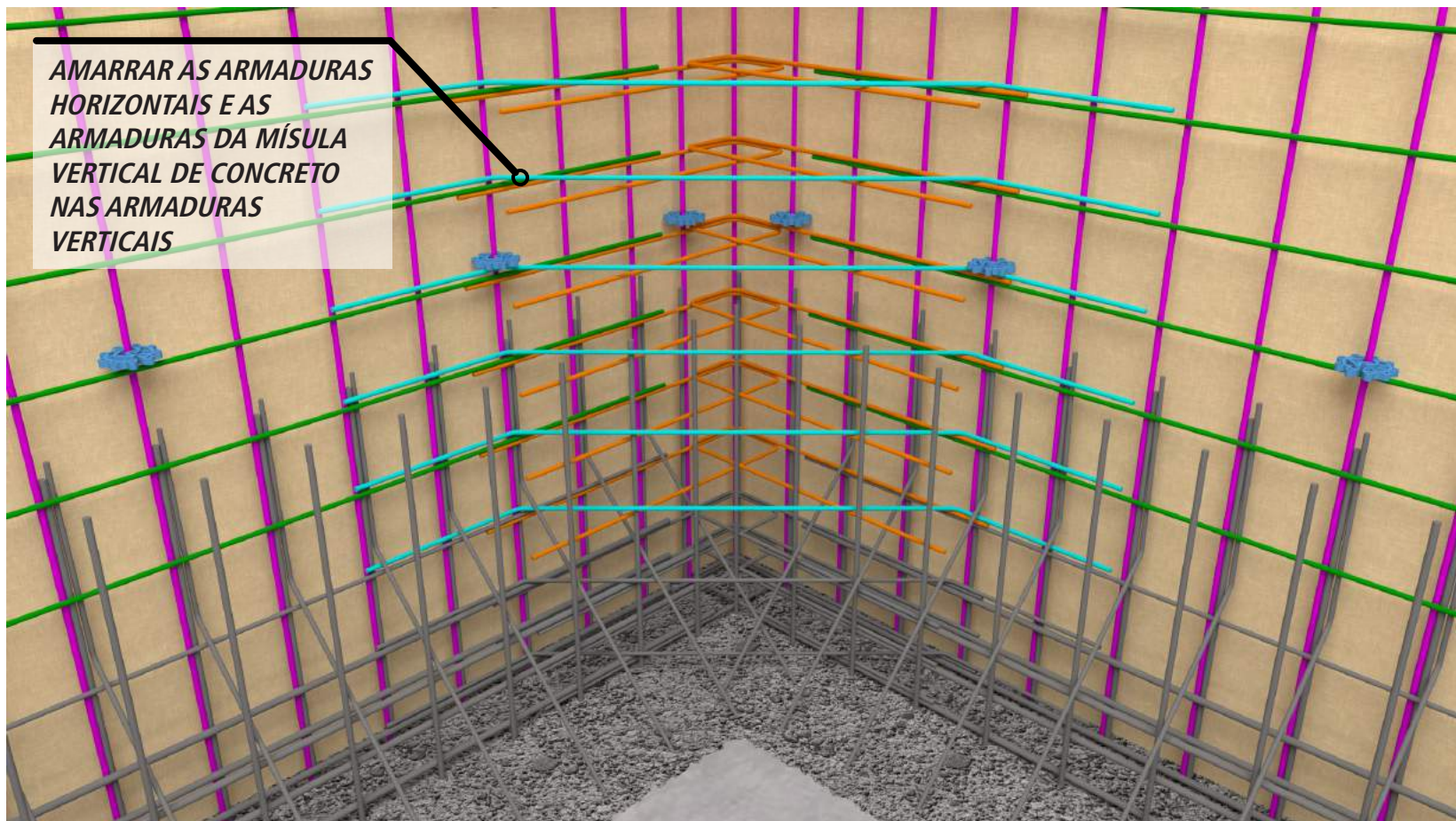
**Figura 6.8**  
ETAPA 7 | Concretagem da laje de fundo



**Figura 6.9**  
ETAPA 8 | Posicionamento das armaduras verticais que ficam do lado externo do reservatório

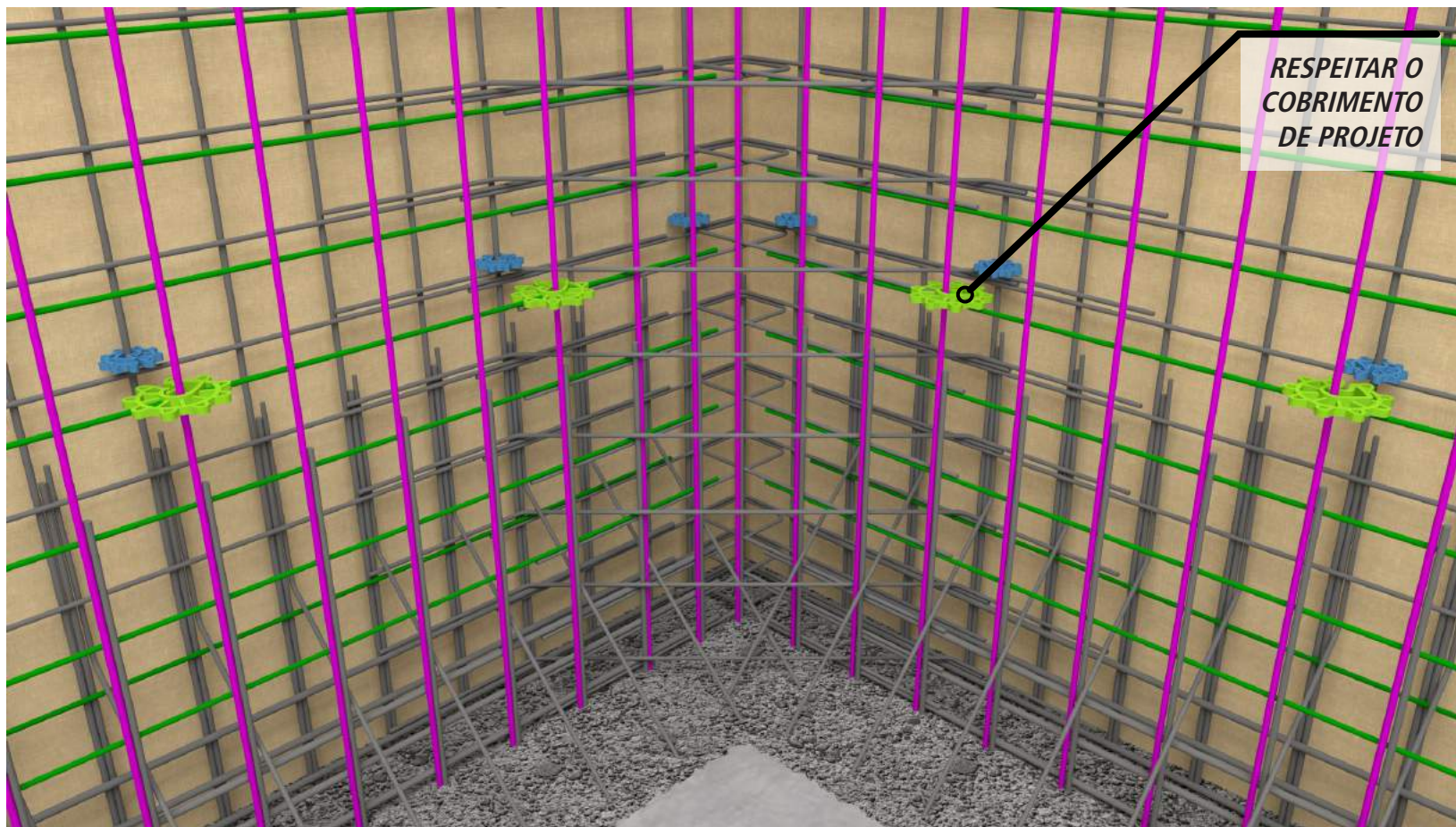
## CAPÍTULO 6

### ARMADURAS DE RESERVATÓRIOS E PISCINAS

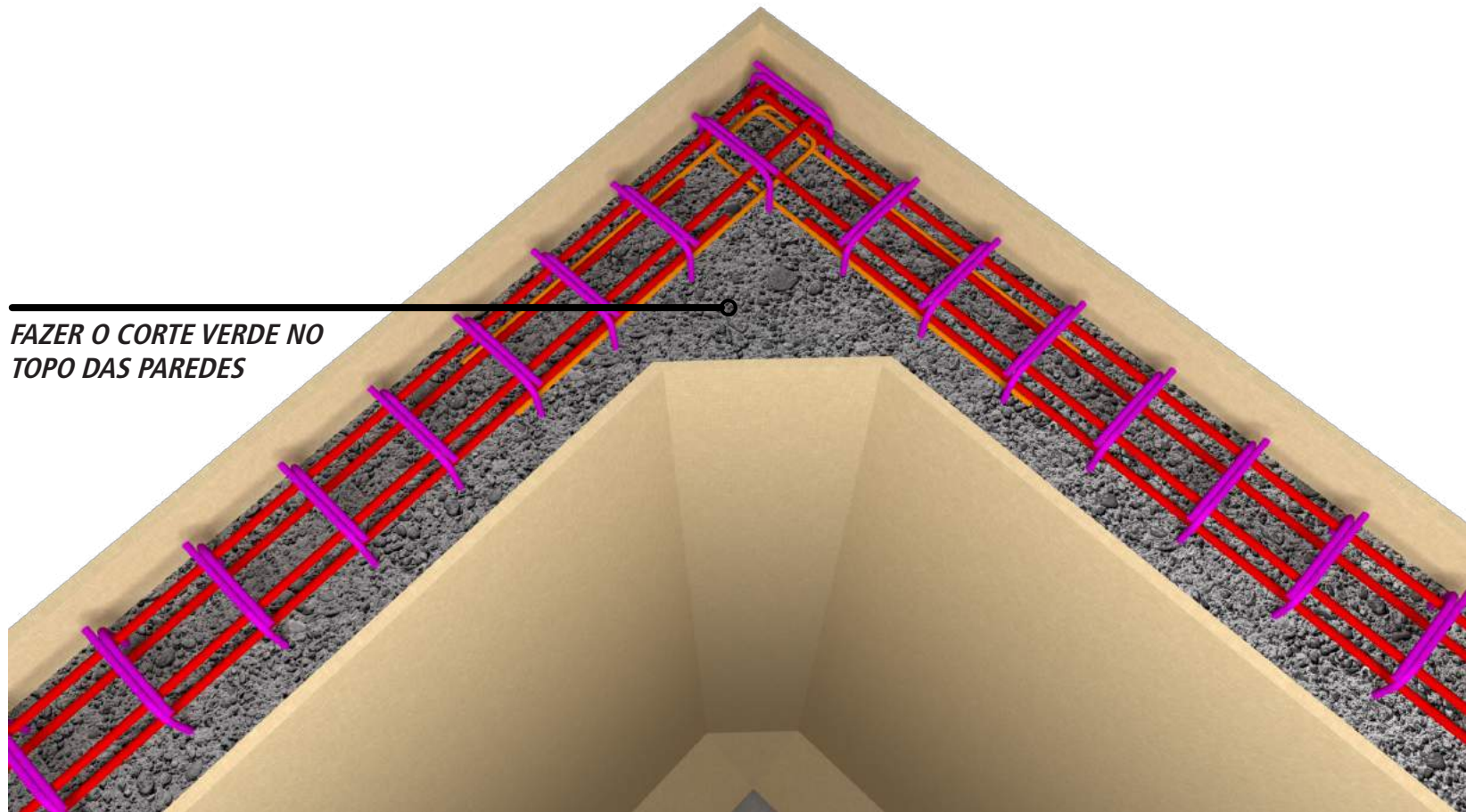


**Figura 6.10**

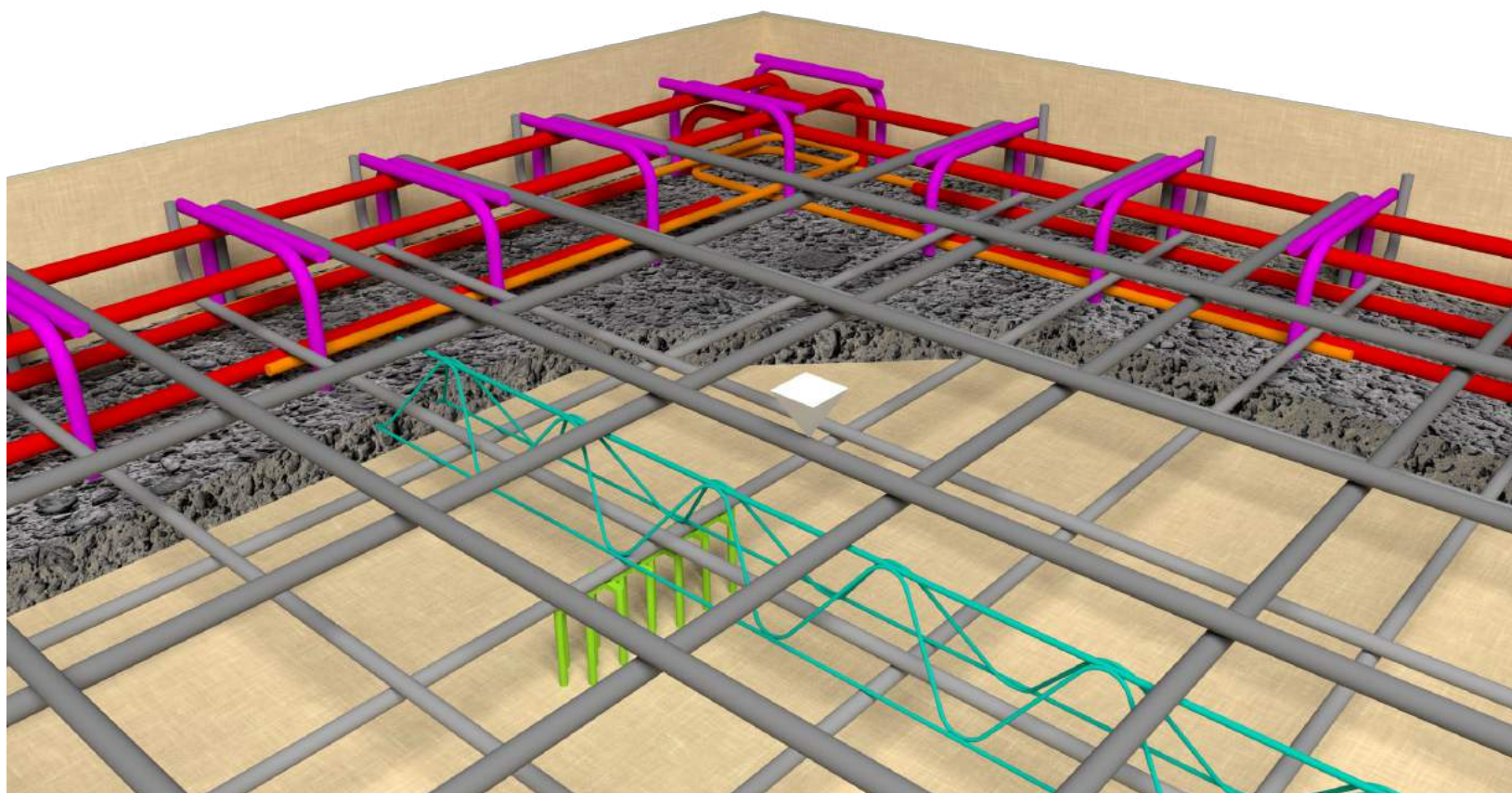
ETAPA 9 | Posicionamento das armaduras horizontais que ficam do lado externo do reservatório e posicionamento das armaduras da mística vertical de concreto



**Figura 6.11**  
ETAPA 10 | Posicionamento das armaduras horizontais e verticais que ficam do lado interno das paredes (do reservatório)



**Figura 6.12**  
ETAPA 11 | Concretagem das paredes



**Figura 6.13**

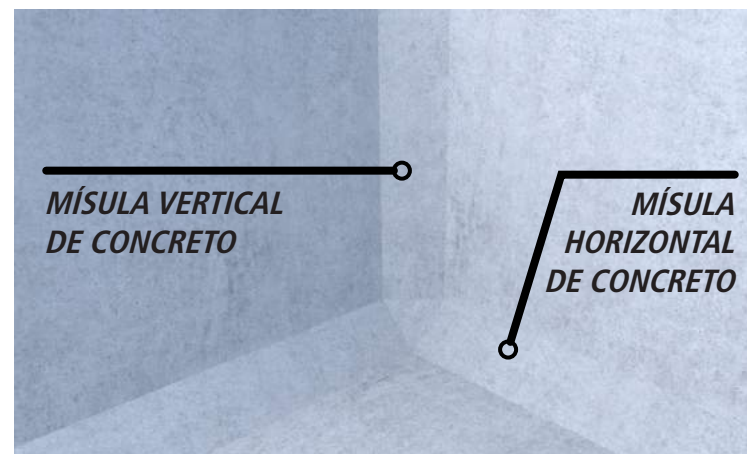
*ETAPA 12 | Posicionamento das armaduras da laje tampa. Para mais detalhes sobre as armaduras da laje, consultar o Volume 1 do Manual de Boas Práticas - Montagem das Armaduras de Estruturas de Concreto Armado*

## ARMADURAS DE PISCINAS

No caso das piscinas, diferentemente dos reservatórios (**Figura 6.14**), não são usualmente detalhadas mísulas de concreto nos encontros dos elementos estruturais (**Figura 6.15**). Isso se deve a questões estéticas.

Mesmo sem as mísulas de concreto, recomendamos o uso da armadura inclinada (**Figura 6.17**) para controlar a abertura de fissuras e aumentar a ductilidade da região, conforme estudado por Leonhardt e Mönnig (1978).

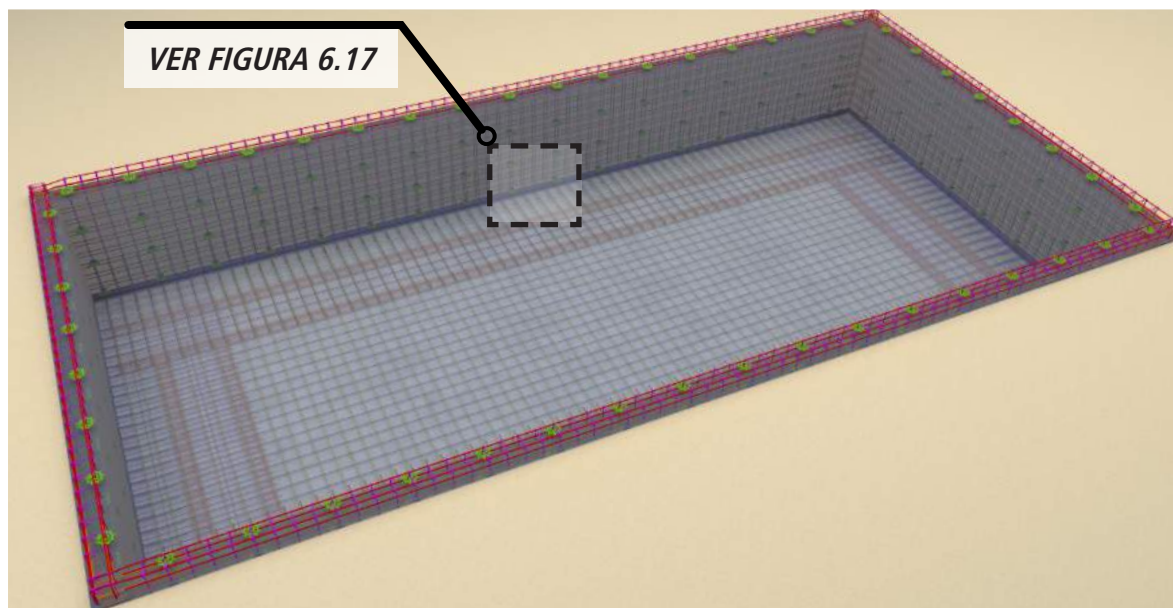
No entanto, assim como no reservatório, é necessário fazer o corte verde no encontro das paredes e a laje de fundo, caso esses elementos sejam concretados em etapas diferentes (**Figura 6.18**).



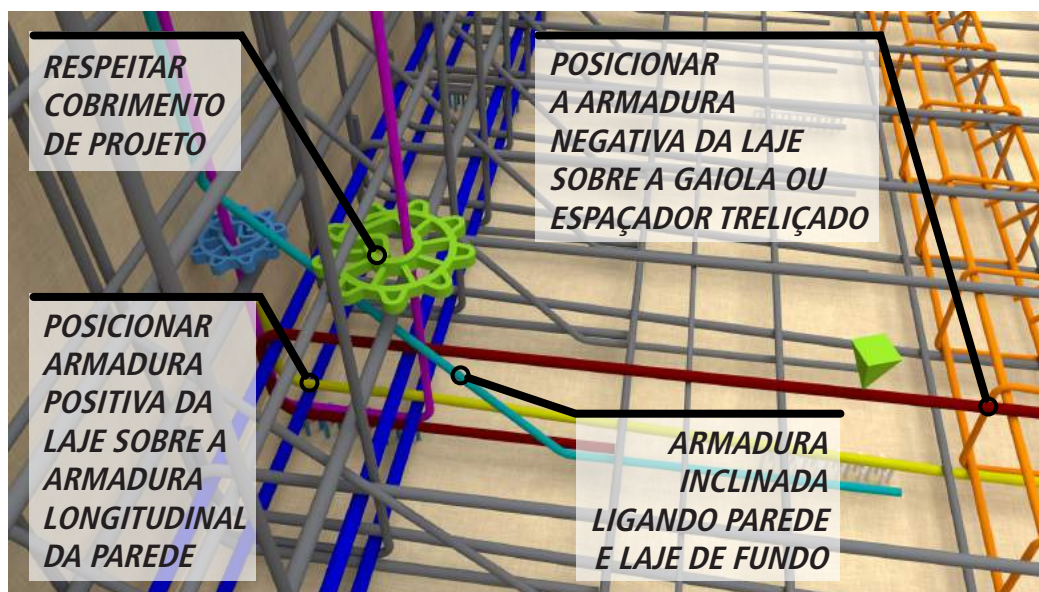
**Figura 6.14**  
Encontro dos elementos estruturais **COM** mísulas de concreto – recomendado em reservatórios



**Figura 6.15**  
Encontro dos elementos estruturais **SEM** mísulas de concreto – usual em piscinas



**Figura 6.16**  
Piscina sem mísulas de concreto entre parede e parede, e entre parede e laje de fundo



**Figura 6.17**  
Posicionamento da armadura da piscina



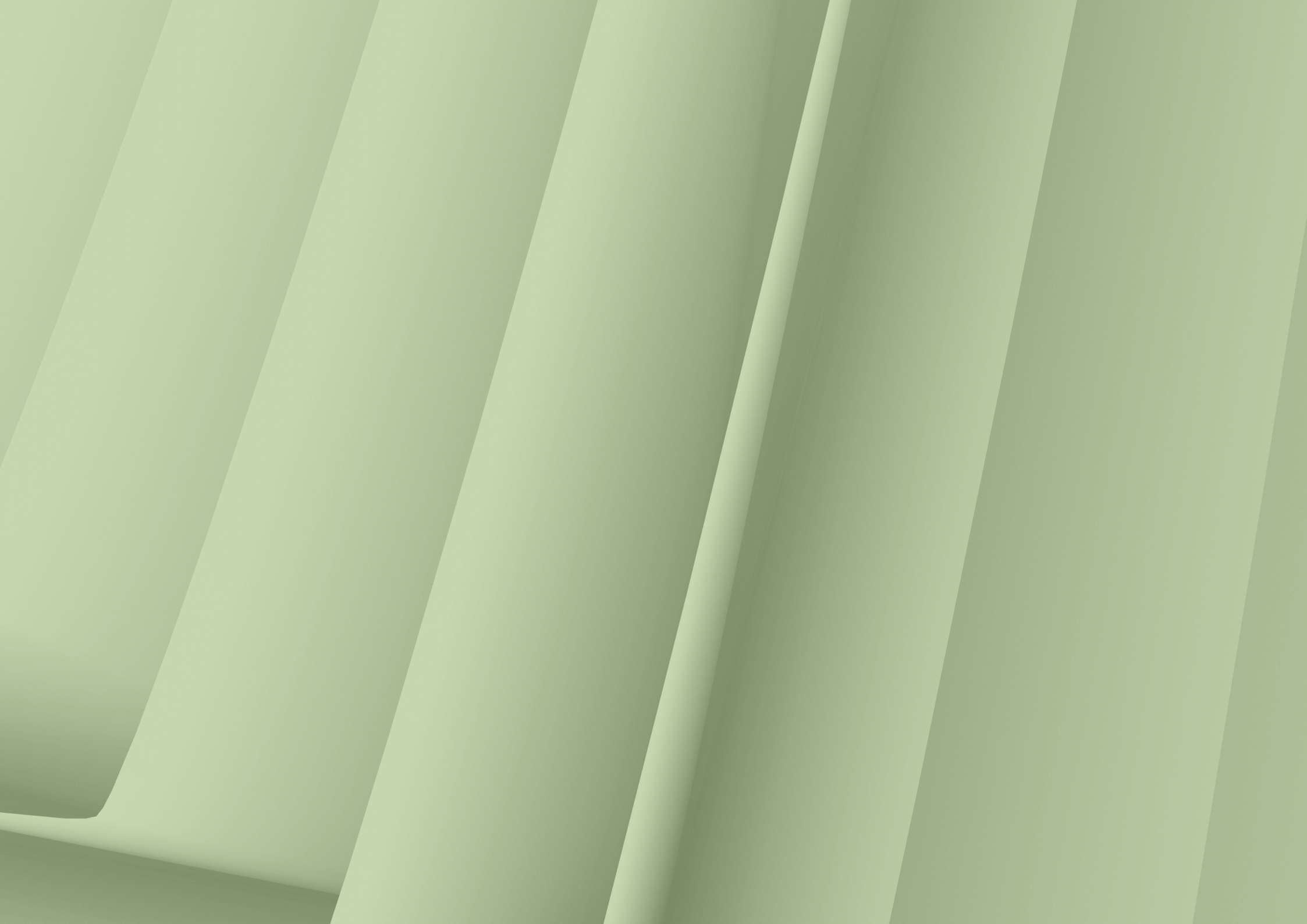
**Figura 6.18**  
Concretagem da laje de fundo



# MANUAL DE BOAS PRÁTICAS

*CAPÍTULO 7*

*ARMADURAS  
DE ESCADAS*



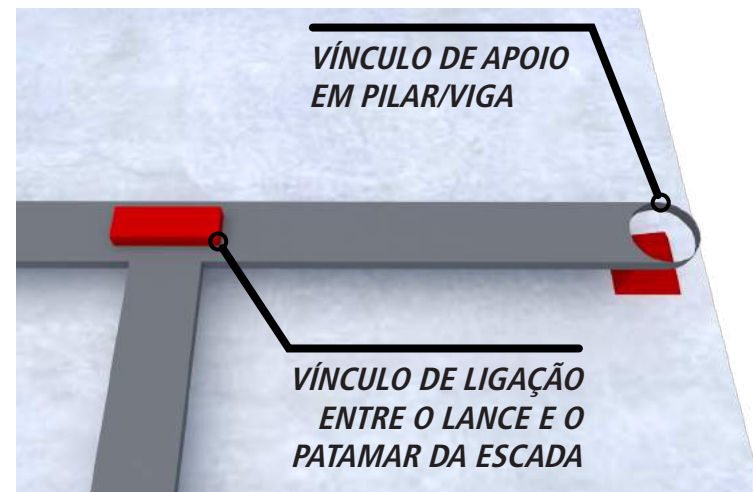
As escadas são elementos estruturais que podem ser construídos de diversos materiais, como, por exemplo, madeira, chapas metálicas, concreto armado, entre outros.

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, abordaremos 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 7.4**) possui ambos os lances apoiados em patamares – que, por sua vez, apoiam-se em pilares –, a segunda opção (**Figura 7.8**) apresenta um lance apoiando-se em um patamar e o outro lance apoiando-se diretamente em um pilar.

A **Figura 7.1** apresenta a representação esquemática dos dois tipos de vínculos estruturais presentes nas **Figuras 7.4 e 7.8**.

Recomendamos 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 7.2, 7.3, 7.6, 7.7, 7.10 e 7.11**.

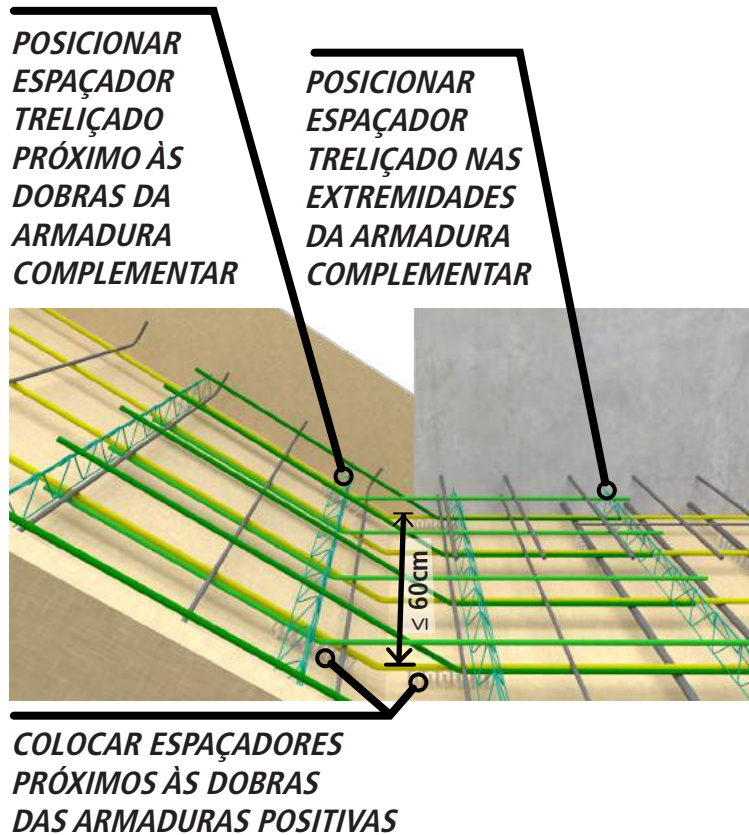


**Figura 7.1**  
*Legenda dos vínculos do esquema estrutural*

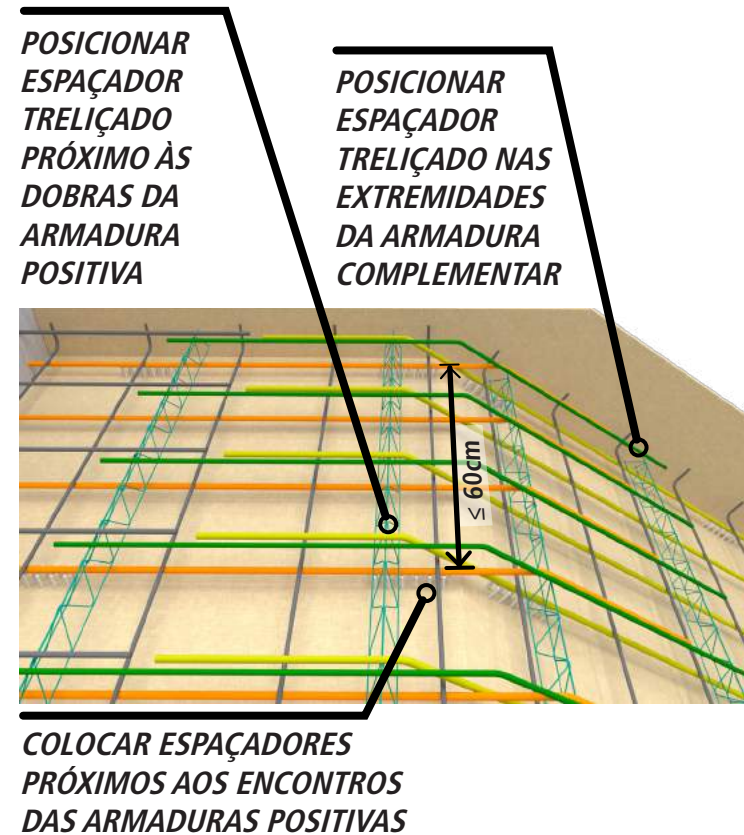
## DETALHES GERAIS SOBRE ESPAÇADORES

Antes de discutirmos 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 7.2 e 7.3**, assim, ilustram as melhores práticas para o posicionamento dos espaçadores nestas regiões.



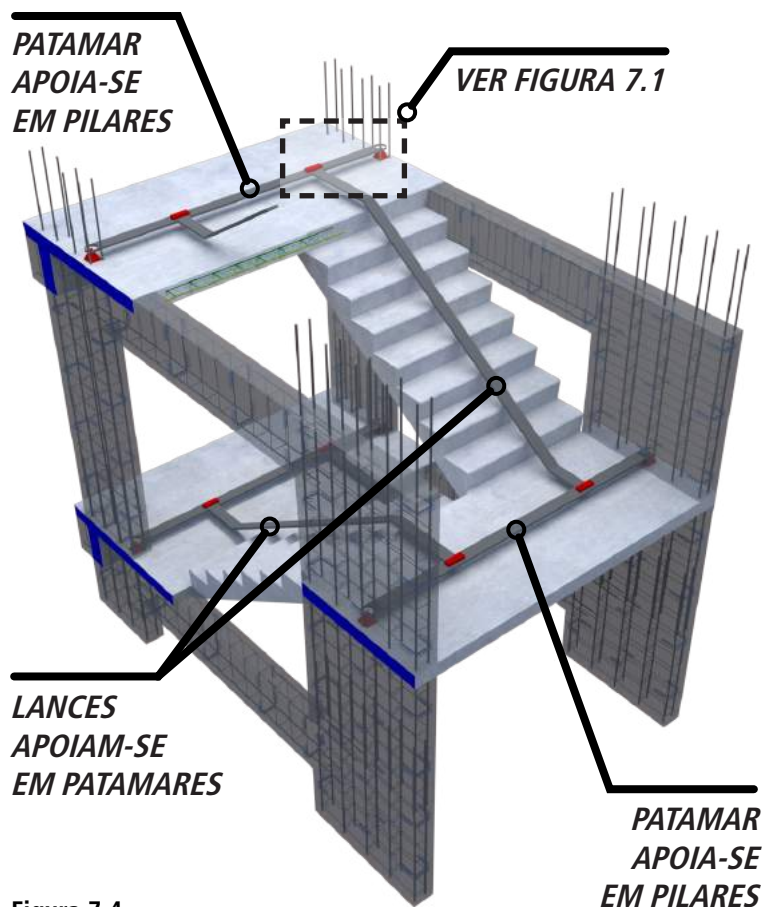
**Figura 7.2**  
Posicionamento dos espaçadores no encontro do patamar com o lance



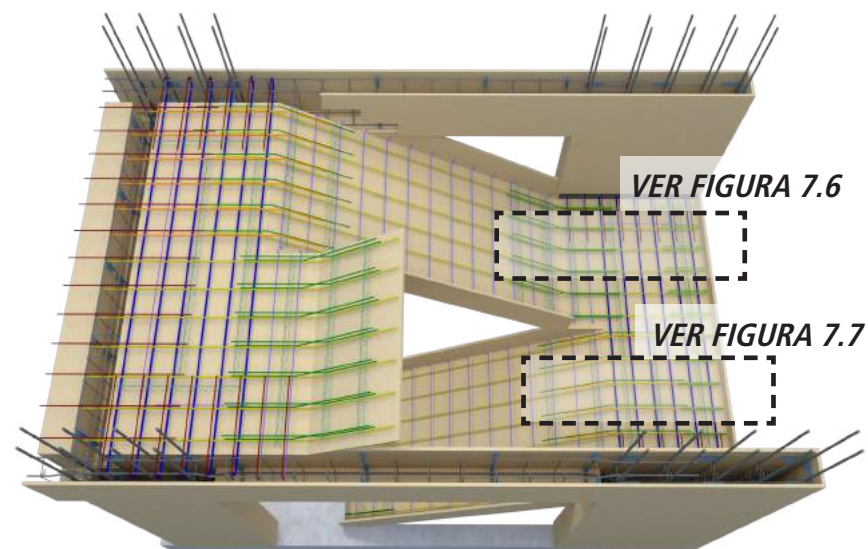
**Figura 7.3**  
Posicionamento dos espaçadores no encontro do lance com o patamar

### ESCADA APOIADA EM PATAMARES

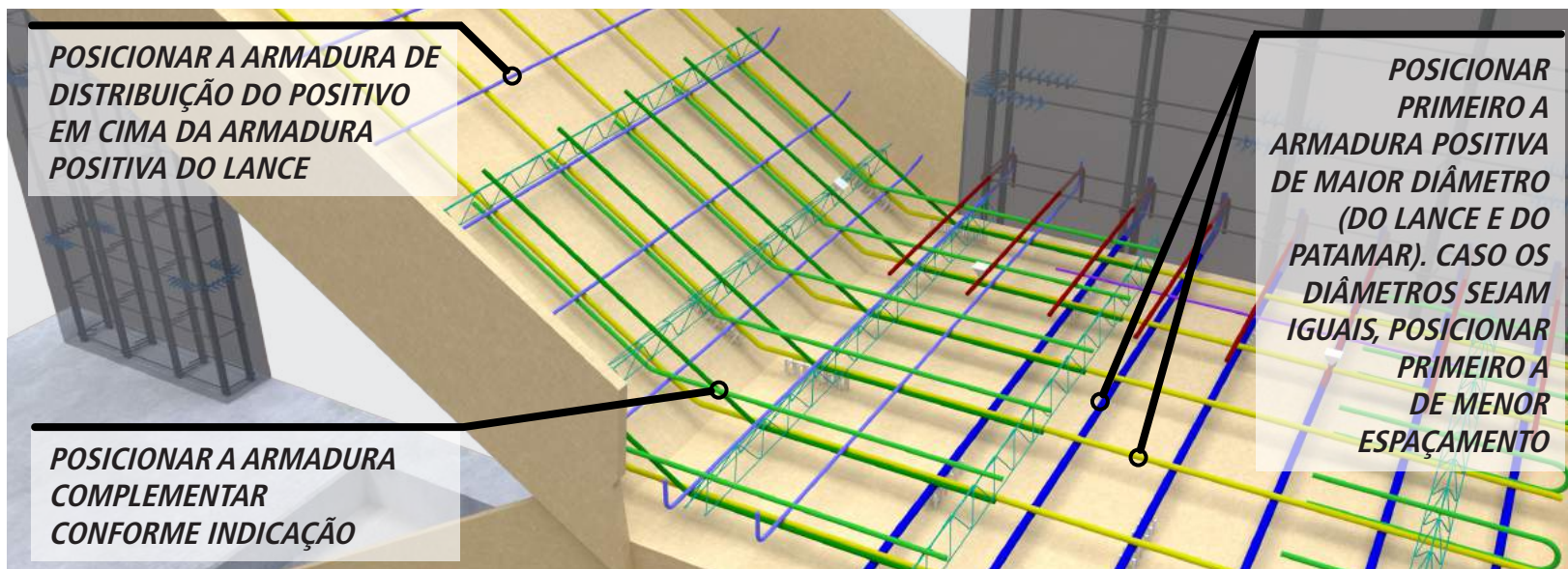
Entre os dois exemplos de escadas citados neste manual, a opção da escada apoiada em patamares (**Figuras 7.4 e 7.5**) possui a melhor solução estrutural, pois apresenta vãos de lances menores para dimensionamento. Isso resulta em esforços menores e, conseqüentemente, em armaduras inferiores comparadas às do segundo exemplo, onde a escada se apoia em um patamar e um pilar. As **Figuras 7.6 e 7.7** ilustram detalhes ampliados das armaduras deste tipo de escada.



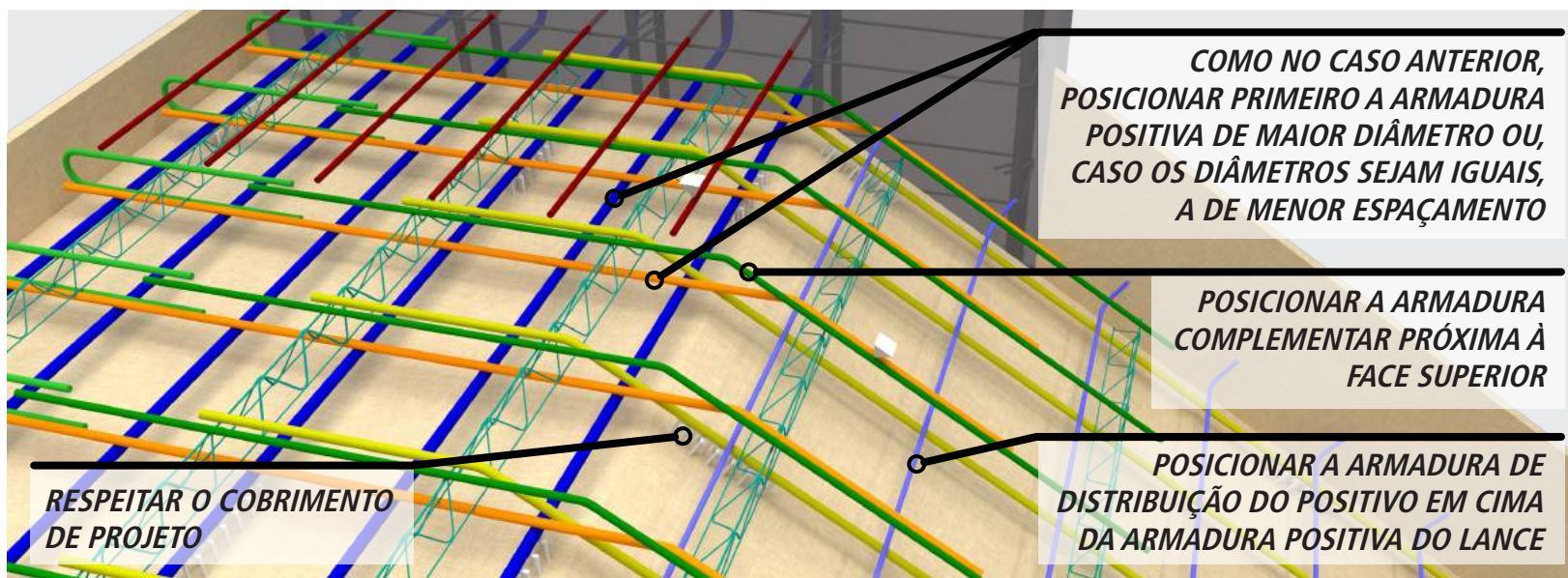
**Figura 7.4**  
Esquema estrutural de lances apoiados em patamares



**Figura 7.5**  
Exemplo da armadura dos lances apoiados em patamares



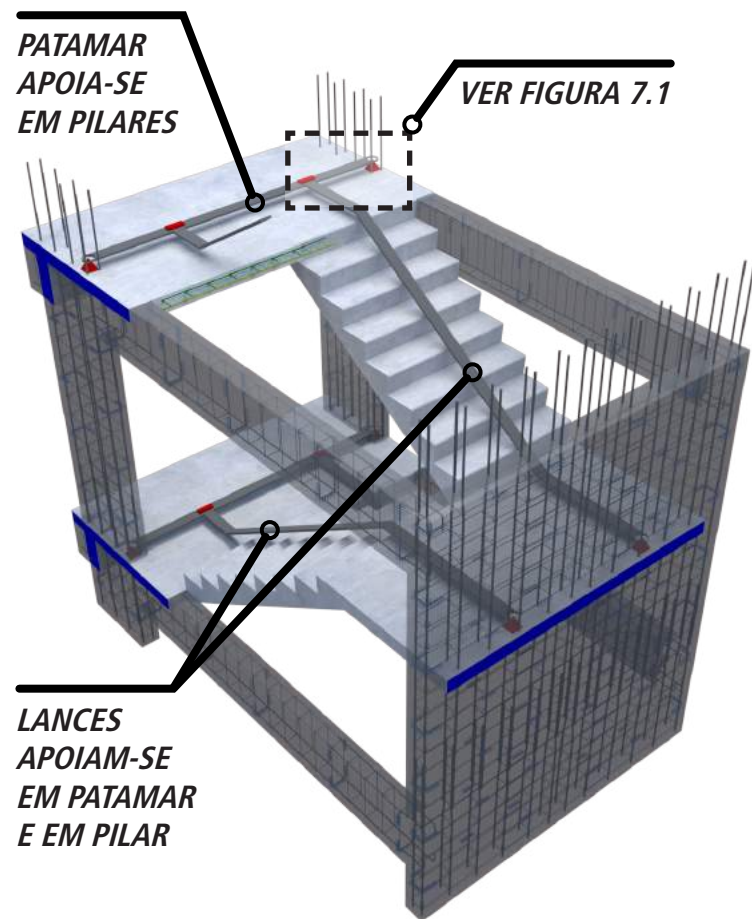
**Figura 7.6**  
 Detalhe do encontro do patamar com o lance (que se apoia em patamar)



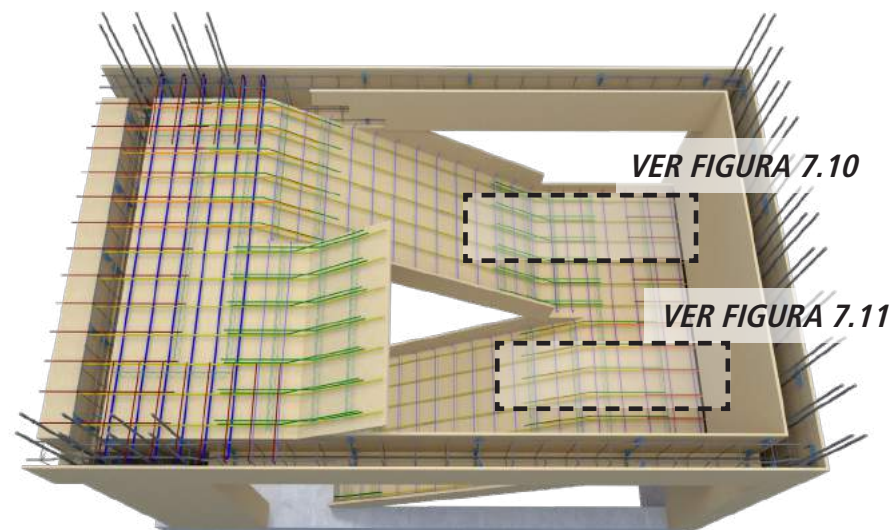
**Figura 7.7**  
 Detalhe do encontro do lance (que se apoia em patamar) com o patamar

### ESCALADA APOIADA EM PATAMAR E PILAR

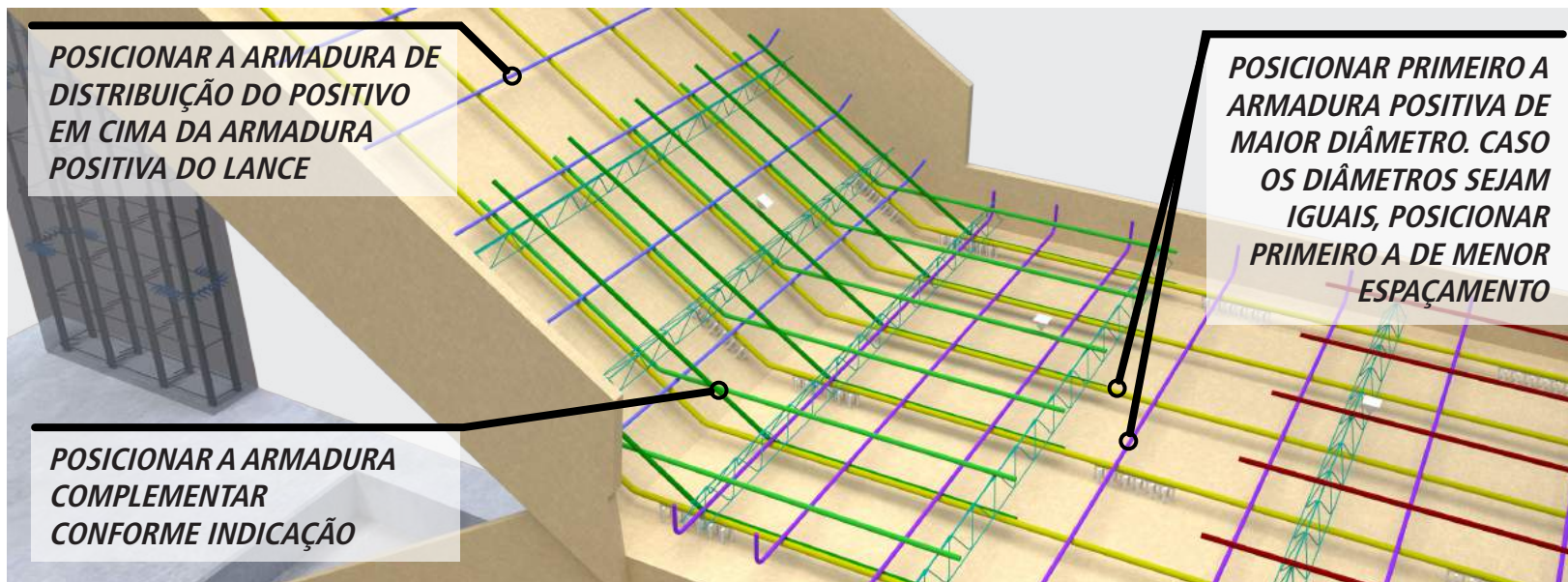
No entanto, nem sempre é possível ter uma disposição de pilares que favoreça a melhor solução estrutural para a escada. Dessa forma, o esquema estrutural onde a escada se apoia em um patamar e um pilar (Figuras 7.8 e 7.9) pode ser indicado, favorecendo o menor caminhamento das cargas dentro das limitantes de projeto. As Figuras 7.10 e 7.11 ilustram detalhes ampliados das armaduras deste tipo de escada.



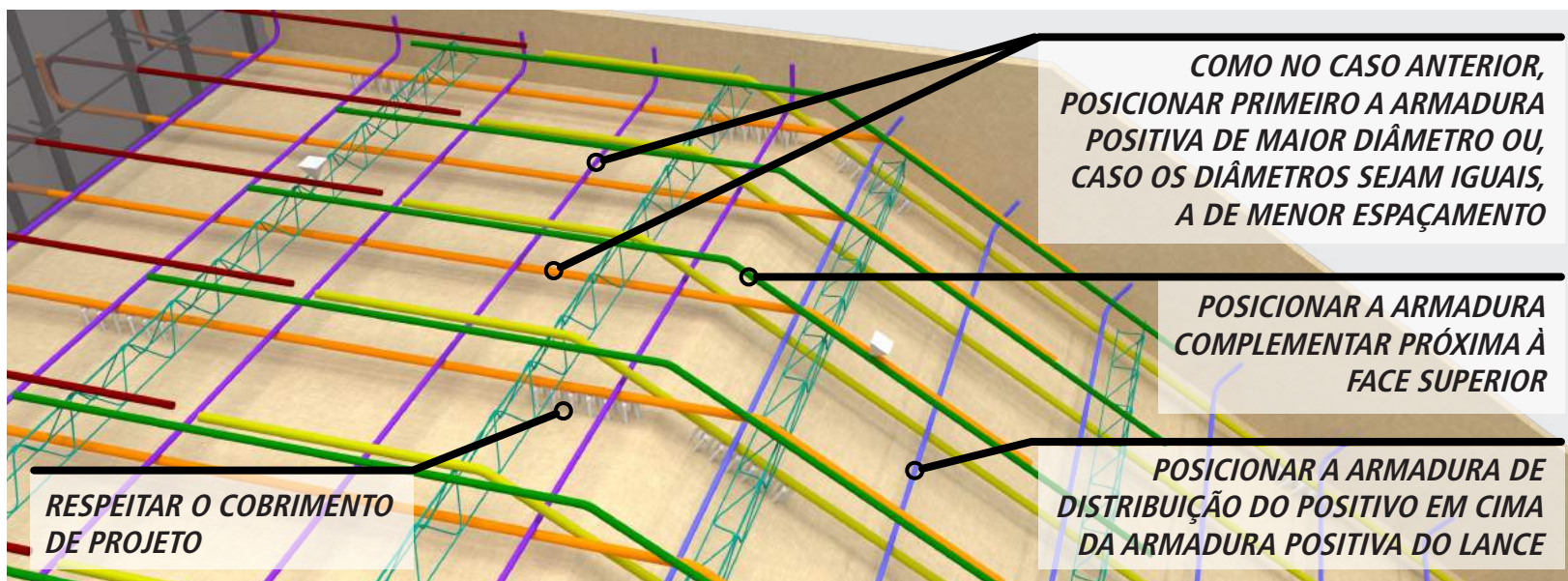
**Figura 7.8**  
Esquema estrutural de lances apoiados em patamar e pilar



**Figura 7.9**  
Exemplo da armadura dos lances apoiados em patamar e pilar



**Figura 7.10**  
 Detalhe do encontro do patamar com o lance (que se apoia em pilar)



**Figura 7.11**  
 Detalhe do encontro do lance (que se apoia em pilar) com o patamar



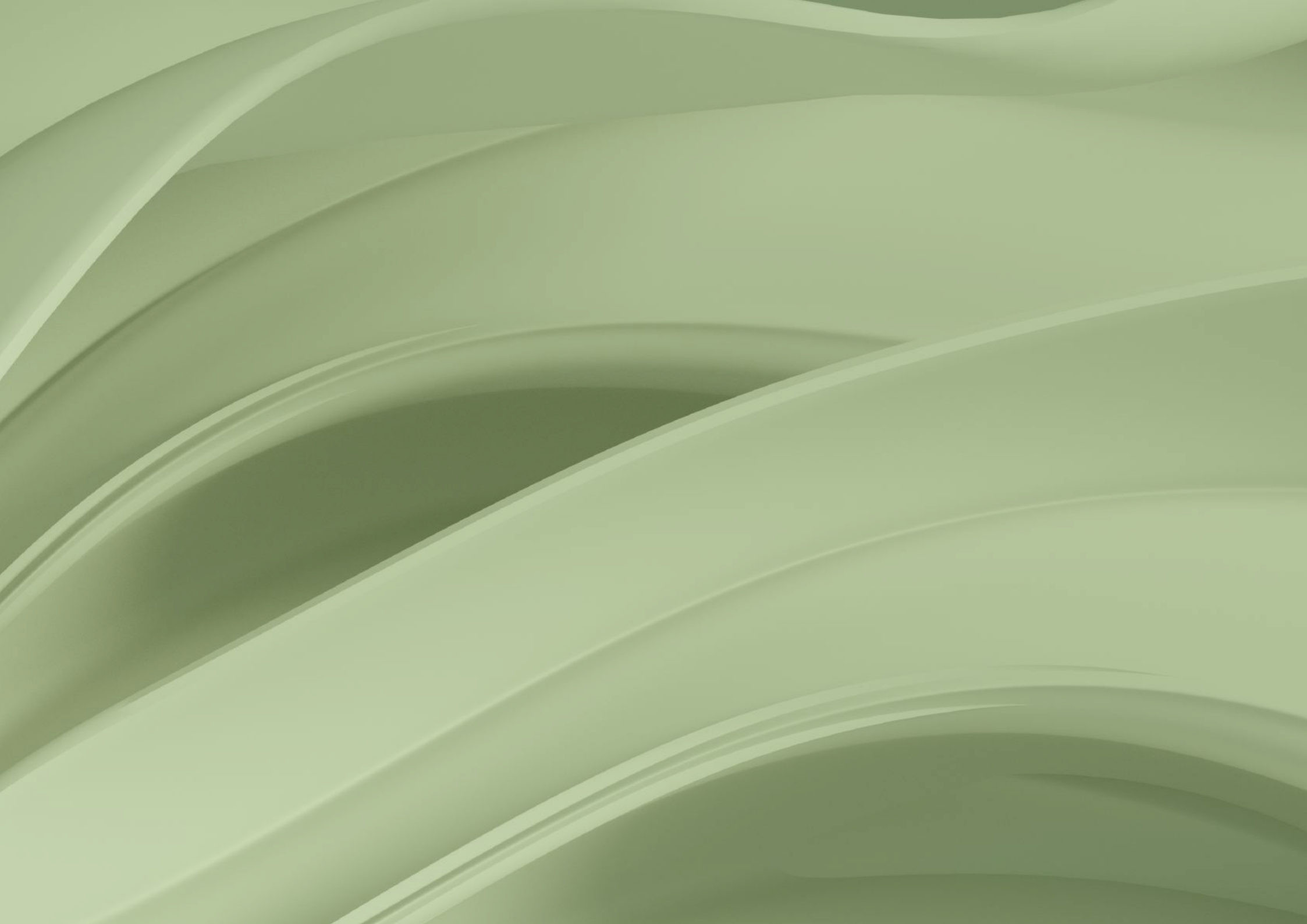
# MANUAL DE BOAS PRÁTICAS

## *CAPÍTULO 8*

### *INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS*

*Adriana de Araújo*  
*Instituto de Pesquisas Tecnológicas*

*Maurício Silveira Martins*  
*Gerdau*



Como vimos no Volume 1 do Manual, a corrosão das armaduras de aço-carbono é uma das causas principais da deterioração das estruturas de concreto expostas à atmosfera, devendo ser considerada nas atividades de inspeção e de manutenção das estruturas.

Frequentemente, a corrosão é decorrente do ingresso do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e de cloretos (íons Cl<sup>-</sup>), que alteram as características da água de poros<sup>1</sup> junto à armadura, desencadeando um processo corrosivo por quebra generalizada ou localizada do filme passivo<sup>2</sup>. Esse processo influencia diretamente na vida útil<sup>3</sup> das estruturas de concreto.

---

<sup>1</sup> Solução aquosa eletrolítica contida nos espaços vazios da matriz cimentícia e que está disponível para reagir com os grãos anidros do material, bem como com produtos hidratados e com espécies químicas que venham a penetrar no concreto. Também é chamada de fase líquida intersticial do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

<sup>2</sup> Filme formado na superfície do aço-carbono a partir da hidratação do cimento, que, quando compacto, uniforme e aderente, protege o aço contra a corrosão enquanto o concreto se mantém íntegro.

<sup>3</sup> Período de tempo, após a construção, em que a estrutura atende – ou excede – a certos requisitos de desempenho, no mínimo a sua capacidade de uso com segurança.

## 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.

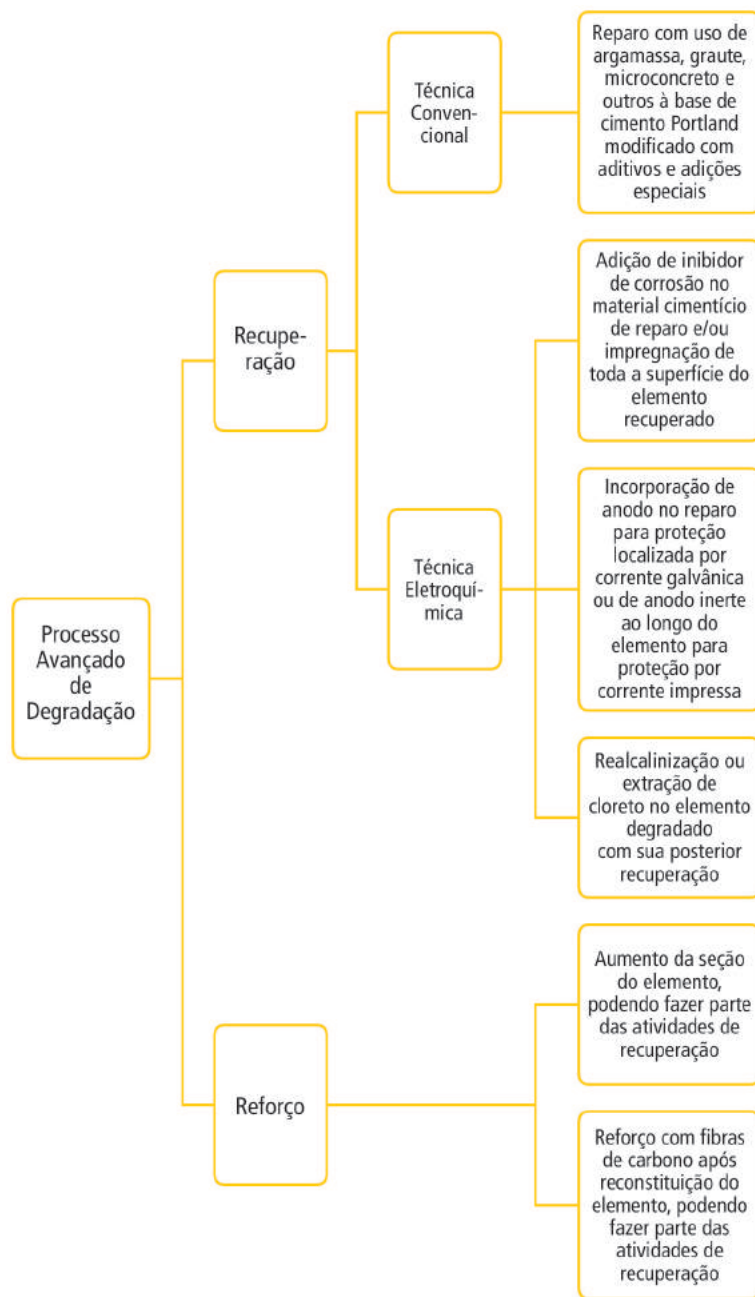
A inspeção contempla usualmente:

- 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, funcionalidade 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<sub>2</sub>). 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.

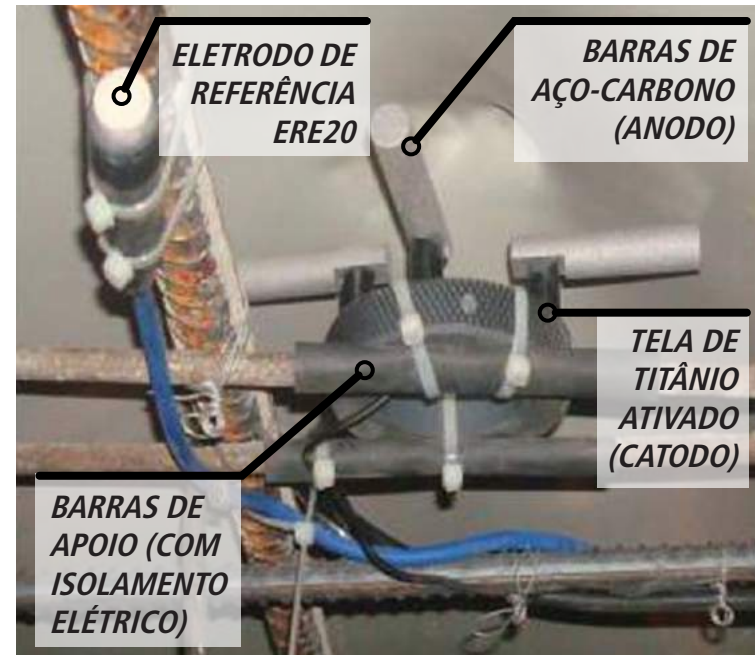


**Figura 8.1**  
Planejamento da manutenção em casos de degradação avançada da estrutura

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 8.1). 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.

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 cobertura da armadura (**Figura 8.2**) e de avaliação do comportamento eletroquímico da armadura (ARAÚJO 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, citam-se o uso de aço ao cromo de baixo carbono (conhecido como *low-carbon, 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.



**Figura 8.2**  
Sensor de múltiplos eletrodos (CorroWatch Multisensor) e eletrodo de referência ERE 20 (ARAÚJO et al., 2013). Fonte: Force Technology

## 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 são 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.

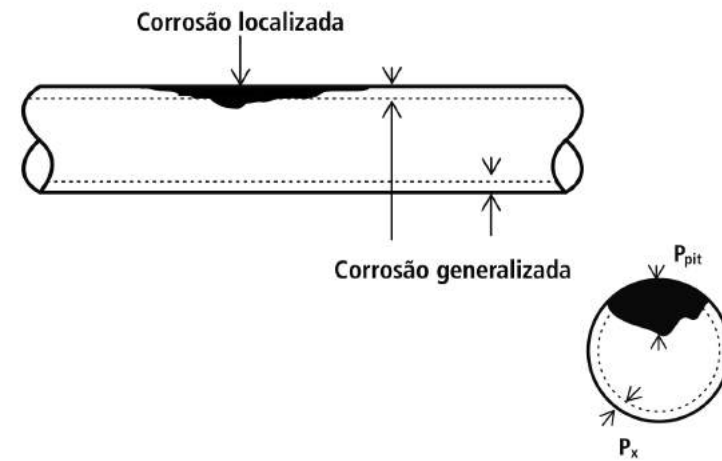
No caso de obras novas, destaca-se a importância de consulta a todas as normas de projeto de estruturas de concreto armado e fundações moldadas in loco e pré-fabricadas. Deve ser dada atenção especial aos critérios de durabilidade que hoje constam nas normas brasileiras e às questões relacionadas aos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

### 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 barras 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 8.3**. Por essa figura observa-se tanto a perda de espessura -  $P_x$ , por corrosão generalizada (formação de microcélulas) ao longo da barra, 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 ( $\Delta\emptyset_x$ , mm) entre o valor nominal dado em projeto, o original ( $\emptyset_o$ , mm) e o valor residual ( $\emptyset_r$ , mm).

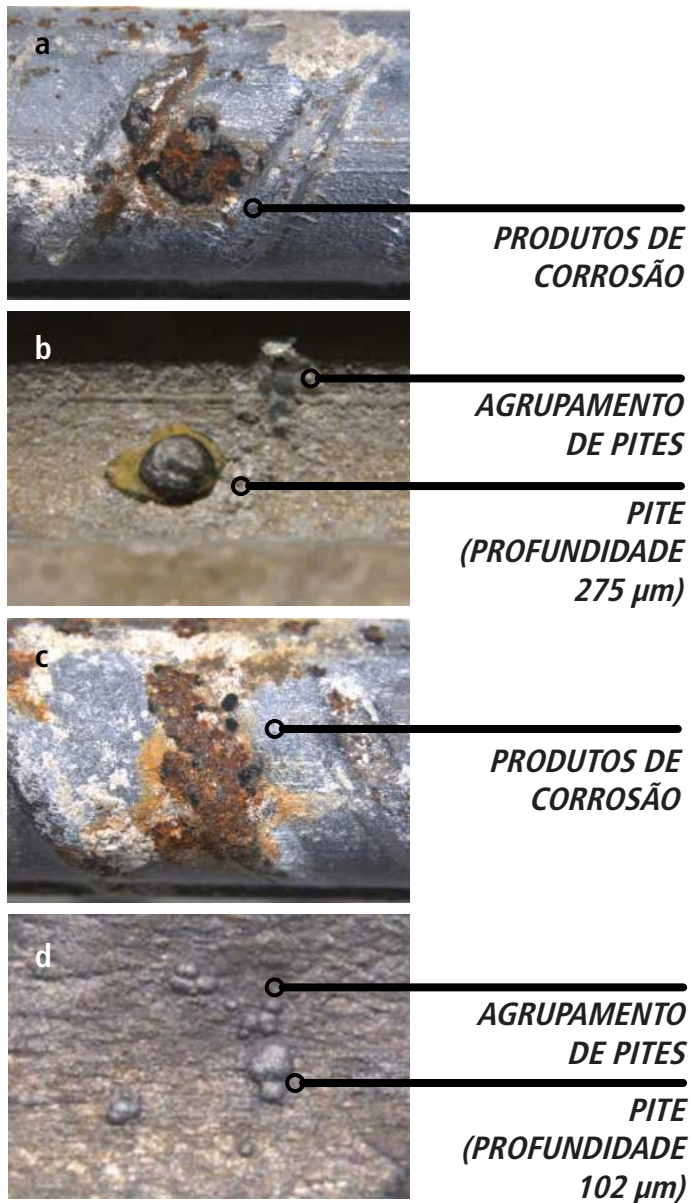
A **Figura 8.4** mostra a configuração dos pites, que são os locais da mencionada perda máxima de espessura ( $P_{pit}$ ), e, também, o acúmulo dos produtos de corrosão nas áreas de corrosão localizada. Em complemento, a **Figura 8.5** apresenta imagens ilustrativas da configuração de alvéolos de corrosão, locais também de máxima perda de espessura ( $P_{pit}$ ). Esses alvéolos foram resultantes da exposição de barras de aço-carbono diretamente à névoa salina por 20 dias (**Figura 8.5a**) e durante um ano na condição de embutimento em concreto (**Figura 8.5b**)<sup>4</sup>.

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.

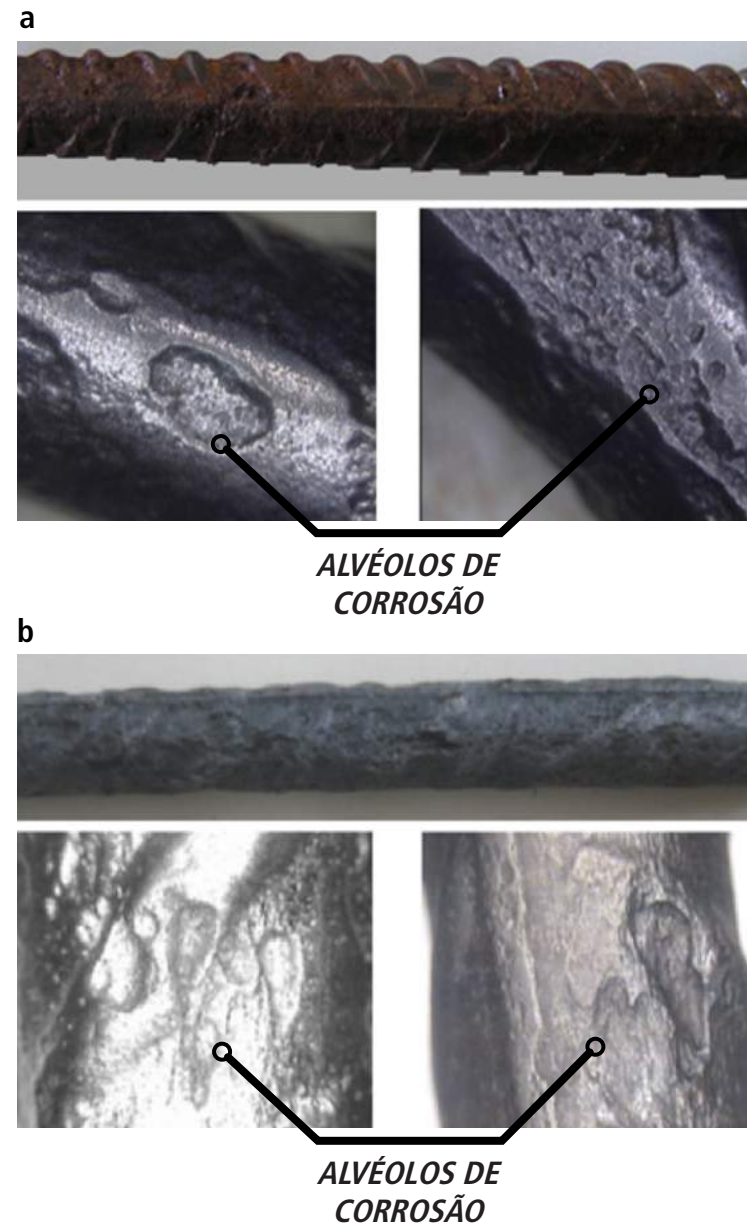


**Figura 8.3**  
Desenho esquemático de representação de penetração de corrosão localizada ( $P_{pit}$ ) e de corrosão generalizada ( $P_x$ ) em barra de armadura (adaptado de LIFECOM, 2003)

<sup>4</sup> 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 8.4**  
Detalhe de áreas corridas de barras 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 8.5**  
Formação de alvéolos de corrosão em barra de aço-carbono exposta diretamente à névoa salina (a) e embutida em concreto (b) (adaptado de APOSTOLOPOULOS et al., 2013)

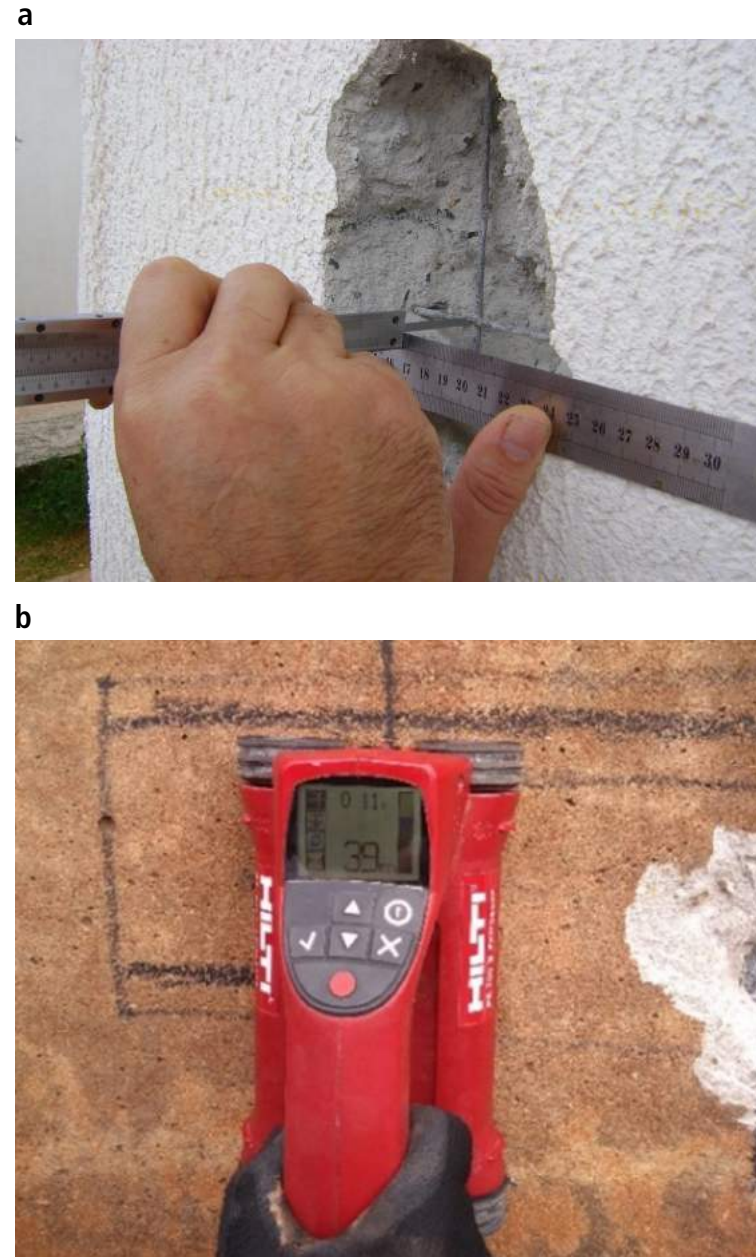


Muitas vezes, na ocasião dessa avaliação também é medida a espessura de cobertura do estribo (Figura 8.6a) e a distância entre estribos e entre barras. Os resultados obtidos podem ser confrontados com as de uso de Equipamento Não Destrutivo – END (Figura 8.6b). Os ENDs constam de sensor que, ao ser deslocado 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 barras e estribos e respectivos diâmetros<sup>5</sup>.

Cabe considerar que a precisão dos valores de perda de espessura de barras e estribos de armadura é maior com medições realizadas em ensaios laboratoriais, embora poucas vezes possam ser extraídas em campo amostras de barras 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 contempla 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.

<sup>5</sup> Precisão da leitura e da profundidade limite de localização da armadura depende do tipo de equipamento utilizado.



**Figura 8.6**  
Medida da espessura do concreto de cobertura de armadura recém-exposta (a) e localização da armadura com uso de equipamento END (b)



**Figura 8.7**  
 Alternativas para investigação do estado de conservação de estruturas de concreto armado.

Como parte da investigação da corrosão (**Figura 8.7**), 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 (ARAÚJO et al., 2014 e 2017; ARAÚJO; PANOSSIAN; ROSA, 2017).

De modo geral, admite-se que a mencionada perda de espessura decorrente de corrosão generalizada é pouco significativa para barras de grande diâmetro, enquanto a decorrente de corrosão localizada é relevante para barras de menor diâmetro (CONTECVET, 2001). De qualquer forma, na prática de campo adota-se, muitas vezes, a **suplementação de barras 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 9452:2019*<sup>6</sup> 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%<sup>7</sup> ou quando a perda compromete a estabilidade do elemento estrutural.

<sup>6</sup> Atualmente está em revisão.

<sup>7</sup> Não são referenciados na norma os critérios da definição dessa porcentagem.



# MANUAL DE BOAS PRÁTICAS

*CONCLUSÃO*





A evolução contínua da cadeia produtiva da construção civil não é uma tarefa que se deve deixar 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, abrangente, claro e totalmente exequível, acreditamos ser capazes de contribuir positivamente nesse movimento.

Com as ferramentas adequadas, métodos eficientes e uma visão sustentável sobre o uso de materiais e mão de obra, a França e Associados Projetos Estruturais aceita, em seu dia a dia, e neste Manual, o desafio de se manter sempre em movimento, aperfeiçoando-se e compartilhando o que aprendeu para que todos cresçamos juntos.

As recomendações presentes neste Volume sobre o posicionamento adequado das armaduras de elementos especiais, como escadas e reservatórios, 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.

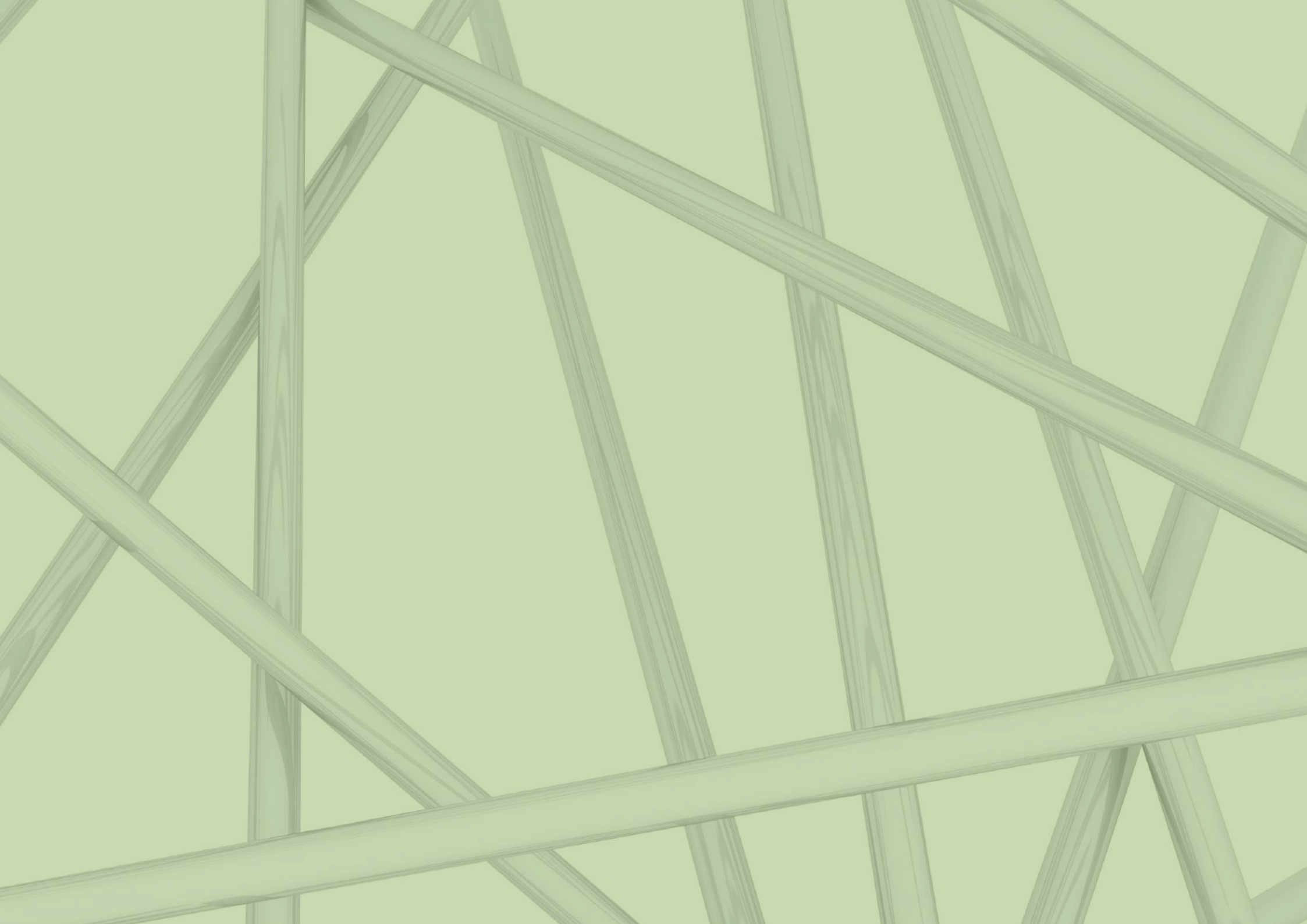
Vale lembrar que a divulgação deste material e aprendizado continua em formato animado nos canais de comunicação digital e nas redes sociais da França e Associados, por meio da *Série de Vídeos Boas Práticas na Montagem das Armaduras*. Por meio de um material cada vez mais acessível e dinâmico, esperamos,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

Da tríade pilar-viga-laje do Volume 1 aos elementos especiais do Volume 2, restam ainda muitos detalhes de armaduras de estruturas de concreto armado a ser explorados. De elementos especiais em regiões de descontinuidade até detalhes especiais, considerando a resistência ao fogo, nossa equipe segue estudando e preparando mais materiais de referência, com os quais poderemos colaborar e crescer juntos.



# MANUAL DE BOAS PRÁTICAS

*REFERÊNCIAS &  
AGRADECIMENTOS*







ARAÚJO, 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, 1, 2014, Salvador. Anais. 14 p.

ARAÚJO, 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.

ARAÚJO, A.; PANOSSIAN, Z.; PORTELLA, P. D.; BASSLER, R. Monitoramento da corrosão em estruturas de concreto: sensor galvânico. **Téchne**, v. 21, p. 62-66, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6118:2014 - **Projeto de estruturas de concreto.** Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6122:2019 - **Projeto e execução de fundações.** Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9452:2019 - **Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto** - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2019. 48 p.

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.

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.

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.

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.

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

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.

LEONHARDT, F.; MÖNNIG, E. **Construções de concreto.** Princípios básicos sobre a armação de estruturas de concreto armado. Vol. 3. 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.

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



Agradecemos à Gerdau pelo apoio a este projeto e pela sua expertise de mais de 120 anos no mercado da construção civil, compartilhada conosco durante todo o desenvolvimento deste material. Em especial, agradecemos a Maurício Silveira Martins, por acreditar em nosso trabalho e nos dar a oportunidade de contribuir, de maneira tão enriquecedora, nesta parceria.

Também não podemos deixar de agradecer à Bárbara Marta Albuquerque Oda e à Bianca Marques Meo pelo suporte durante o desenvolvimento deste material. Agradecemos a Adriana de Araújo, pela autoria, com Maurício Silveira Martins, do Capítulo 8 deste Volume.

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 Ricardo Leopoldo e Silva França, que não apenas validou os conceitos presentes neste Manual, como também vem sendo nossa maior inspiração nesses mais de 40 anos liderando a equipe da França e Associados Projetos Estruturais.

Agradecemos à equipe da França e Associados Projetos Estruturais, por contribuir, de maneira direta e indireta, no conteúdo deste Manual. Agradecemos ao nosso diretor Reinaldo Hideyuki Kaizuka pela fonte constante de conhecimento e generosidade.

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 ricas 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 apresentados neste Manual.

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

*Primeira Edição*

*Tiragem*

*Impressão*

*Papel*

*Tipografia*

**Outubro, 2022**

**600 exemplares**

**Pigma Gráfica Editora Ltda, São Paulo, SP**

**Couché 115 g/m<sup>2</sup> e Couché 250 g/m<sup>2</sup>**

**Família Frutiger**

O Volume 1 do *Manual de Boas Práticas - Montagem das Armaduras de Estruturas de Concreto Armado*, lançado em 2021 pela França e Associados Projeto Estruturais, com o apoio da Gerdau, detalha os três principais elementos estruturais de um projeto convencional em concreto armado: os pilares, as vigas e as lajes. Este primeiro livro veio definir as bases para o Volume 2 e preencher a lacuna que encontramos de materiais nacionais que facilitassem, de maneira primordialmente gráfica, o entendimento dos diferentes detalhes estruturais construídos hoje no setor da construção de edifícios em concreto armado.

A ideia se expandiu para elementos que, embora importantes, ainda possuem pouca representatividade na literatura atual sobre o assunto. Assim, nasce o Volume 2 do *Manual de Boas Práticas*, contemplando detalhes dos elementos de fundação, reservatórios, piscinas e escadas.

Democratizando os conhecimentos e a prática que nós e nossos colegas da França e Associados Projetos Estruturais cultivamos há mais de 40 anos, almejamos encorajar, por meio das ilustrações presentes neste novo Manual, um olhar mais atento sobre os procedimentos utilizados hoje na cadeia produtiva da construção de edifícios.

ISBN: 978-65-00-52315-7



9 786500 523157