

MANUAL DE BOAS PRÁTICAS

*MONTAGEM DAS
ARMADURAS DE
ESTRUTURAS DE
CONCRETO ARMADO*

1ª Edição

*Jorge Nakajima (Satoro)
Larissa Arakawa Martins*

Realização



FRANÇA & ASSOCIADOS
PROJETOS ESTRUTURAIS

Colaboração



O futuro se molda

MANUAL DE BOAS PRÁTICAS

*MONTAGEM DAS
ARMADURAS DE
ESTRUTURAS DE
CONCRETO ARMADO*

1ª Edição

Conteúdo e edição

Jorge Nakajima (Satoro)
Larissa Arakawa Martins

Colaboração

Gerdau

Realização



Colaboração



Copyright © 2021 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: 2021.

ISBN 978-65-00-21242-6

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

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

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

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

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

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

Outro cuidado de Satoro em suas visitas foi se atentar a falhas de

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

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

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

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

Na editoração e na parte visual do manual, cumpre destacar a fundamental participação de Larissa Arakawa Martins. Larissa tem dupla formação – é arquiteta e engenheira civil – pela FAU-POLI-USP e pela UMC, respectivamente, e também integra a equipe do escritório de projetos.

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

Antonio Carlos Zorzi

Consultor em Engenharia e Ex-Diretor Corporativo de Engenharia da Cyrela Brazil Realty

O escritório França e Associados, ao longo de quase 42 anos de atividade, está em constante transformação, na busca de praticar a boa engenharia em projetos e incentivar seus colaboradores a se manterem sempre atualizados.

A promoção de práticas que levam ao desenvolvimento do mercado da construção faz parte, ao longo desses anos, do DNA da empresa, e acontece tanto no dia a dia do escritório quanto em participações em palestras, feiras, congressos e artigos.

Graças aos mais de 15 anos de experiência trabalhando com excelência no escritório França e Associados, adquiridos em todas as etapas de elaboração do projeto estrutural, Satoro aceitou o desafio para desenvolver uma área específica para Projeto de Produção de Armações dentro do novo organograma do escritório.

Engenheiro civil diplomado pela FESP, com especialização em "Gestão de Projetos de Sistemas Estruturais", além de cursos na área de Liderança para Supervisores e Gerenciamento Diário, Jorge Nakajima incorporou o apelido Satoro profissionalmente.

Alguns dos significados do ideograma japonês "Satoro" são: ser uma pessoa iluminada, disciplinada, construtora e confiante. Com todos estes predicados, não havia dúvidas de que Satoro desempenharia com competência este novo segmento.

Paralelamente, um setor de Assistência à Obra (AO) foi criado para ser o facilitador entre os projetos desenvolvidos pelo escritório e a obra. Teve como um dos pilares o atendimento de maneira ágil às dinâmicas e às necessidades da obra.

Outro pilar importante, vindo das dificuldades e sugestões relatadas pela equipe de campo, foi a incorporação do processo de melhoria contínua do detalhamento das armaduras, tendo como objetivo sua correta compreensão e aplicação do projeto em obra. Embora o ciclo de informações entre os setores de AO e Projeto

de Produção de Armações ocorresse adequadamente, faltava algo. O sentimento era que seria possível melhorar em muito esta abordagem.

Satoro, com sua sensibilidade e paciência oriental, captou com maestria este “faltar algo”. Entre o gerenciamento do Setor de Projetos de Produção das Armações, suas visitas em campo aos protótipos das obras e informações colhidas por nosso AO, foi registrando as inconformidades entre projeto e sua aplicação em obra, junto com as muitas dúvidas levantadas em campo, notadamente pelos profissionais responsáveis pela montagem das armaduras.

A tradução disso era a ponte entre a compreensão do projeto das armações com suas particularidades e a sua correta aplicação no canteiro de obras.

O conhecimento adquirido no desenvolvimento de todas as fases da elaboração de projetos estruturais, somado à rica experiência em campo, bem como palestras para profissionais das construtoras, resultou neste importante Manual de Boas Práticas – Montagem das Armaduras de Estruturas de Concreto Armado.

Vale destacar o dedicado trabalho de Larissa Arakawa Martins, arquiteta e engenheira civil de formação pela USP e UMC, na ilustração e editoração deste manual. Responsável pela equipe de comunicação do escritório desde 2015, divide o seu tempo com o doutorado na University of Adelaide, na Austrália.

Ao ilustrar a montagem correta das armaduras, este manual contribui enormemente para que a segurança e a durabilidade das estruturas de concreto armado previstas em projeto sejam alcançadas.

Com uma linguagem simples, objetiva e com apurado material gráfico, este manual vem preencher uma lacuna importante na

Construção Civil. É voltado aos profissionais ligados ao segmento de produção de estrutura, como engenheiros de produção, encarregados, armadores, gestores, empreiteiros, projetistas e estudantes, que terão um rico material à disposição para consulta.

Conhecendo os protagonistas deste trabalho – Satoro, há mais de 20 anos, e Larissa, há 6 anos –, tenho certeza de que este manual é somente o primeiro passo. Novos materiais estão sendo coletados no dia a dia com muita paciência e dedicação e certamente serão disponibilizados futuramente em forma de manual ou mesmo em plataformas digitais.

Boa leitura.

Reinaldo Hideyuki Kaizuka

Sócio-diretor | França e Associados Projetos Estruturais

Nesta publicação, os autores apresentam de forma prática e didática um compilado essencial de boas práticas na armação de estruturas de concreto armado. Contamos com toda a experiência teórica e prática da empresa França e Associados Projetos Estruturais, bem como com o apoio e a colaboração da Gerdau no capítulo de durabilidade, tema crucial para o desenvolvimento sustentável da Construção Civil no Brasil.

Maior empresa brasileira produtora de aço e uma das principais fornecedoras de aços longos nas Américas e de aços especiais no mundo, a Gerdau iniciou suas atividades em 1901 com a fábrica de pregos Pontas de Paris, em Porto Alegre, RS, Brasil. Hoje, os produtos Gerdau podem ser encontrados como matéria-prima de diversos setores, como construção civil, naval, indústria automobilística, agricultura, entre outros.

A Gerdau é a maior recicladora da América Latina, transformando, anualmente, milhões de toneladas de sucata em aço, reforçando seu compromisso com o desenvolvimento sustentável das regiões onde atua.

Um dos temas mais tratados na atualidade, a durabilidade, está muito ligado a um dos principais comprometermentos da empresa, a sustentabilidade.

Apesar de ser um setor bastante tradicional, a construção civil também carrega o desejo da população de ser mais sustentável, consumindo produtos com maior durabilidade, com menor impacto ambiental em sua produção e que necessitam manutenção reduzida durante a vida útil da edificação.

A contínua inovação tecnológica traz desafios na execução das estruturas: edificações mais altas, mais esbeltas, resistências elevadas de materiais. Dessa forma, atualizar os times de campo com as melhores práticas de armação se torna tarefa primordial na garantia da qualidade das nossas edificações.

Essa publicação conta com seis capítulos, que abrangem a importância dos espaçadores para a garantia do correto cobrimento das peças; a exemplificação gráfica detalhada do posicionamento e montagem das armaduras de pilares, vigas, lajes, lajes-cogumelo e lajes lisas, destacando as melhores práticas de posicionamento dos espaçadores e as orientações muito ricas para o processo de armação; e, por fim, a durabilidade de estruturas e principais pontos a serem considerados ao projetar e executar uma edificação.

Certamente este manual contribuirá para expandir ainda mais as fronteiras do conhecimento sobre o tema, assim como incentivará a boa prática na execução das armaduras, assegurando o correto desempenho de um projeto estrutural na construção civil. Além de apoiar o desenvolvimento técnico do setor e estimular a discussão e a conscientização sobre um assunto tão relevante.

Maurício Silveira Martins

Marketing Construção Civil | Gerdau

10

**COMO USAR ESTE MANUAL
& GLOSSÁRIO**

16

INTRODUÇÃO
Como a ideia surgiu

20

CAPÍTULO 1
A importância dos espaçadores

28

CAPÍTULO 2
Armaduras de pilares

30

Espaçadores em pilares

31

Estribo suplementar (grampo)

32

Estribos

33

Engarrafamento

34

Recomposição de estribos e grampos

40

CAPÍTULO 3
Armaduras de vigas

42

Espaçadores em vigas

44

Posicionamento das armaduras de vigas

46

Posicionamento das armaduras no encontro viga x pilar

47

Ganchos dos estribos

48

Reforço de furos

50

52

54

58

60

63

65

72

74

76

77

78

90

98

102

CAPÍTULO 4

Armaduras de lajes

Espaçadores em lajes

Armaduras positivas

Armaduras positivas apoiando em uma viga invertida

Armaduras negativas

Armaduras contra força cortante

Armaduras negativas em tela soldada

CAPÍTULO 5

Armaduras de lajes-cogumelo e lajes lisas

Conectores / studs

Armaduras contra colapso progressivo

Gaiolas para posicionamento da armadura negativa

Sequência de montagem de lajes-cogumelo

CAPÍTULO 6

Durabilidade das armaduras

CONCLUSÃO

Quais são os próximos passos?

REFERÊNCIAS & AGRADECIMENTOS



MANUAL DE BOAS PRÁTICAS

*COMO USAR
ESTE MANUAL
& GLOSSÁRIO*



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

Elementos como espaçadores, por exemplo, sempre aparecerão representados da seguinte forma: o multiapoio, ou também chamado de centopeia, comumente utilizado na construção civil, estará representado na cor azul quando usado em vigas e na cor branca quando usado em lajes. Outros tipos de espaçadores, como o circular ou o treliçado, também terão suas formas e cores próprias. As **imagens nesta página (CONVENÇÕES PARA ESPAÇADORES)** mostram essas convenções. Lembramos que os tipos de espaçadores apresentados nesta página foram escolhidos para todas as imagens do manual, pois são comumente utilizados em elementos de concreto armado. Ver o **capítulo 1** para outras opções possíveis de espaçadores.

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

É importante lembrar que, em alguns capítulos, apresentamos imagens consecutivas de modo a explicar uma sequência de construção específica. Nestas imagens, apenas os elementos 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.

Por fim, os cobrimentos em laje, viga e pilar também serão representados graficamente, como mostrados ao lado, de modo a enfatizar sua importância nas imagens.

CONVENÇÕES PARA ESPAÇADORES



COBRIMENTO EM LAJE



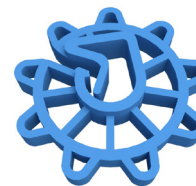
COBRIMENTO EM VIGA OU PILAR



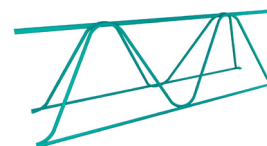
ESPAÇADOR CENTOPEIA EM LAJE



ESPAÇADOR CENTOPEIA EM VIGA OU PILAR



ESPAÇADOR CIRCULAR EM VIGA OU PILAR



ESPAÇADOR TRELIÇADO EM LAJE

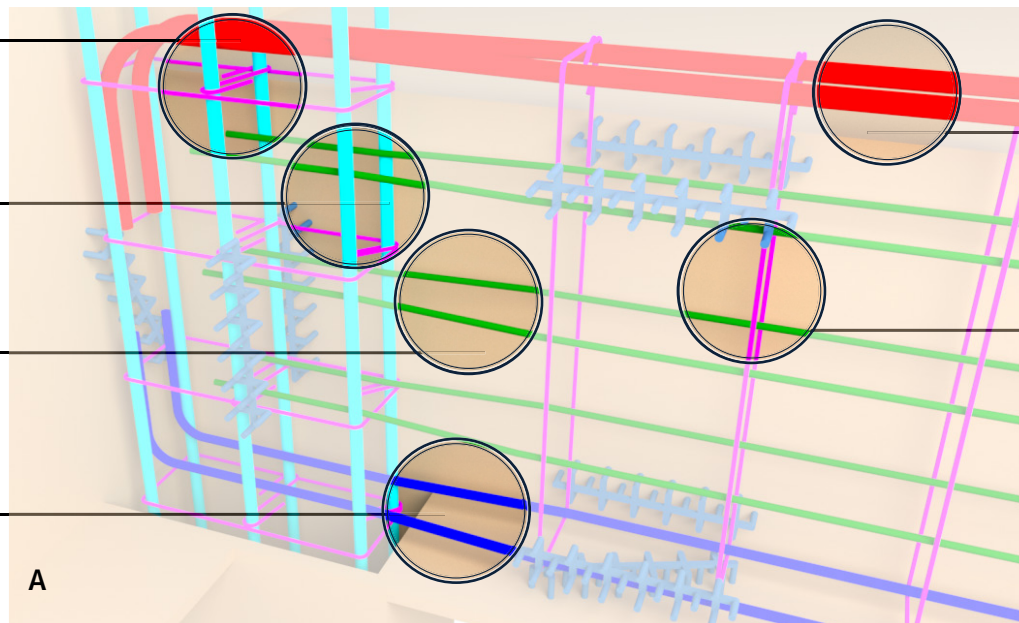
CONVENÇÕES PARA ARMADURAS

ESTRIBO SUPLEMENTAR DE PILAR
Magenta

ARMADURA LONGITUDINAL DE PILAR
Ciano

ARMADURA DE PELE DE VIGA
Verde

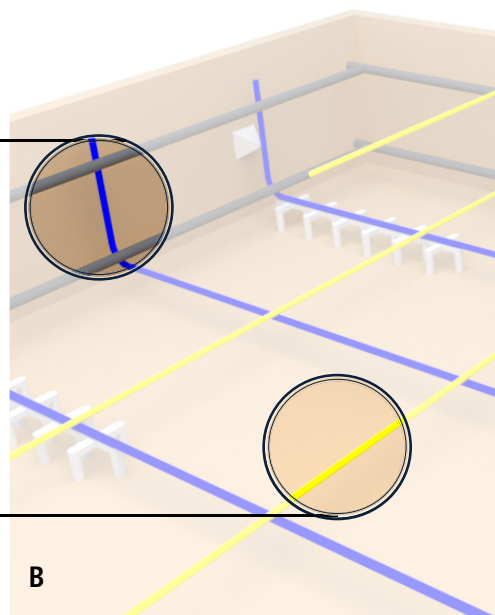
ARMADURA POSITIVA DE VIGA
Azul



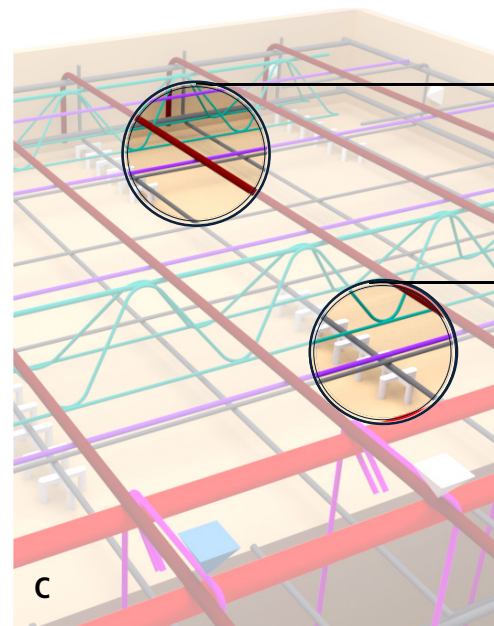
ARMADURA NEGATIVA DE VIGA
Vermelho

ESTRIBOS DE VIGA OU PILAR
Magenta

ARMADURA POSITIVA DE LAJE - DIREÇÃO 1
Azul



ARMADURA POSITIVA DE LAJE - DIREÇÃO 2
Amarelo



ARMADURA NEGATIVA DE LAJE
Vinho

ARMADURA NEGATIVA DE DISTRIBUIÇÃO DE LAJE
Lilás

Figuras A, B e C
Elementos e padrões de cores

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

ARAME RECOZIDO

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

ARMADURA POSITIVA

Armadura dimensionada de acordo com os momentos fletores positivos.

ARMADURA NEGATIVA

Armadura dimensionada de acordo com os momentos fletores negativos.

CAPITEL

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

COLAPSO PROGRESSIVO

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

ENGARRAFAMENTO

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

ESPAÇADOR

Elemento de material plástico ou de concreto/argamassa que mantém as armaduras na posição que respeita o cobrimento nominal de projeto. Ver mais detalhes no **capítulo 1**.

ESTRIBO

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

fck

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

GANCHO

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

GRAMPO EM PILAR

É mencionado desta forma no meio técnico ou nas obras, porém na *ABNT NBR 6118* é descrito como estribo suplementar. A função desta armadura será mencionada no **capítulo 2**.

GRAMPO EM VIGA

Armadura que auxilia na ancoragem das armaduras longitudinais das vigas.

LAJE-COGUMELO

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

LAJE LISA

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

PUNÇÃO

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

RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO

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

VERGALHÃO

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

VIGA INVERTIDA

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



MANUAL DE BOAS PRÁTICAS

INTRODUÇÃO
Como a ideia surgiu



No início de 2013, o escritório França e Associados Projetos Estruturais passou por um período de remodelação organizacional, gerencial e metodológica em seus setores de concepção e desenvolvimento de projetos estruturais, com o objetivo de trazer melhorias aos processos internos do escritório e atender às demandas de um mercado exigente. A formação de um setor dedicado especialmente à produção de projetos de armações foi amplamente discutida entre os gerentes e os diretores do escritório durante esse período.

Era de extremo interesse aplicar novos processos que permitissem um novo olhar às diversas particularidades que os detalhamentos das armaduras de projetos em concreto armado possuem, mantendo o padrão e a qualidade dos projetos desenvolvidos até então. Sem dúvidas, um grande desafio para um escritório com mais de 30 anos de experiência e lições aprendidas.

O setor de Produção recém-formado deveria ser pautado por três pilares essenciais: a padronização de critérios, o aumento de produtividade e o rigor para tornar qualquer armadura executável, independentemente de sua complexidade.

Neste período, treinamentos do Lean Institute Brasil (2014 e 2015) auxiliaram na realização de estudos para adaptar a filosofia Lean (uma gestão inspirada em práticas e resultados do Sistema Toyota) para a realidade de um escritório de cálculo estrutural. O grande desafio envolvia tratar dos conceitos *Gemba* (local de trabalho) e *Kaizen* (melhoria contínua) – muito bem elaborados para a indústria – e convertê-los para o ambiente de escritório. Com essa adaptação, foi possível o rápido alcance da padronização almejada inicialmente e do aumento da produtividade.

Com o *boom* imobiliário da época, o mercado exigia uma intensa e rápida produção de projetos com elevado nível de qualidade, tornando a busca por maior produtividade e padronização no principal objetivo do escritório. Assim, o terceiro pilar desse

novo setor de Produção – o objetivo de termos um projeto de armações integralmente executável, detalhado de modo a facilitar a montagem em obra sem dúvidas ou desentendimentos – acabou permanecendo em segundo plano.

Já no final da década, novas pressões decorrentes da crise financeira e imobiliária da época tornaram reinventar a forma de trabalhar no escritório novamente uma prioridade. E por que não utilizar essa oportunidade para retomar com a premissa de executabilidade das armações? Contudo, os softwares disponíveis não realizavam a verificação de interferências, e o tempo de projeto, destinado ao dimensionamento e ao desenho das armaduras, era limitado. Assim, a grande pergunta era: como facilitar a montagem da armadura nos canteiros de obra, utilizando os softwares que possuíamos e sem consumir muito tempo do projeto?

A resposta a esta pergunta veio do próprio canteiro. Em uma visita a um dos mais desafiadores projetos estruturais que o escritório desenvolveu – o empreendimento Cyrela by Pininfarina –, o diretor de engenharia da construtora, Antonio Carlos Zorzi, fez a seguinte pergunta: “Vocês têm visitado as obras?”. Era certamente algo a se considerar. As visitas já aconteciam, porém com um olhar diferente, mais focado no andamento daquela obra e em detalhes particulares, e menos direcionado à identificação e à análise crítica de práticas comuns a todas as obras. Essa nova percepção mudou a visão do escritório quanto à relação projeto-obra.

Desde então, acompanhamentos aprofundados de canteiros de obras tornaram-se atividades constantes no dia a dia dos engenheiros da França e Associados. A partir de visitas às obras, da constatação das dificuldades dos armadores, mestres e engenheiros, e da observação dos exemplos de montagens corretas e incorretas, a equipe do setor de Produção do escritório foi incentivada a olhar os detalhamentos produzidos até então com outra perspectiva e, conseqüentemente, rever alguns deles tornou-se inevitável.

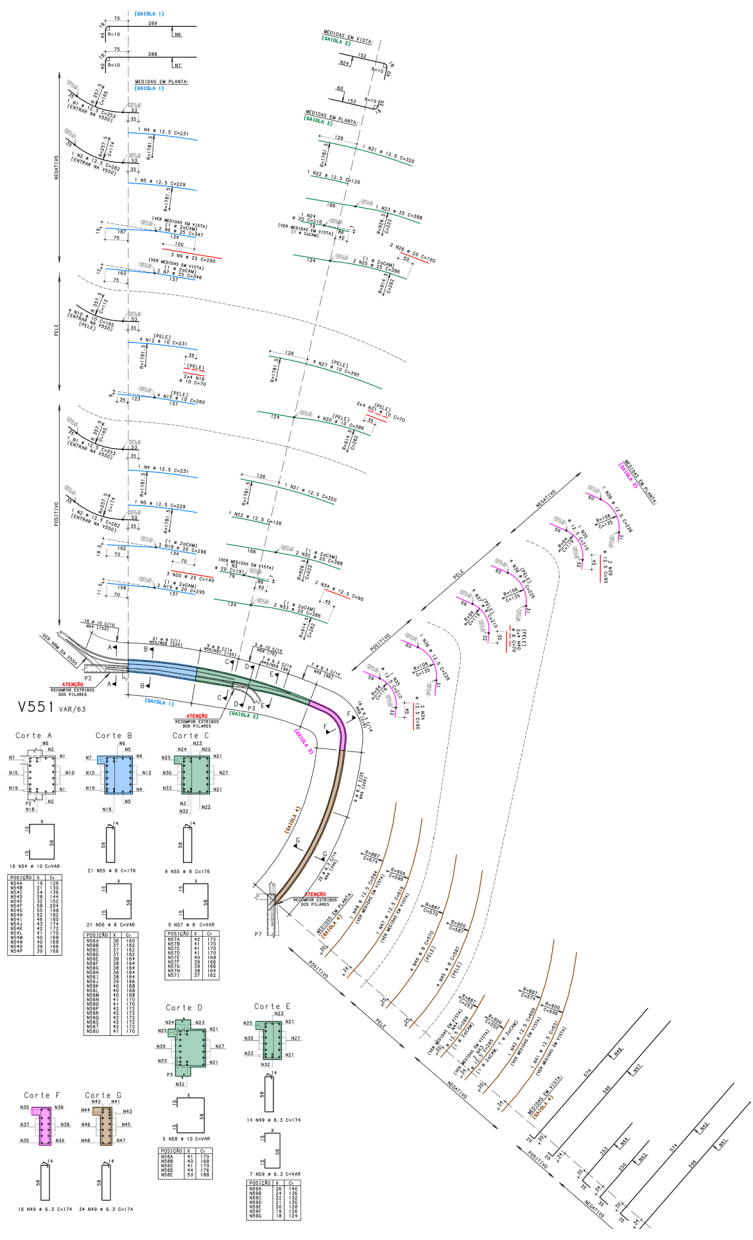


Figura D
 Trecho de grande complexidade do projeto de armação desenvolvido pela França e Associados para o empreendimento Cyrela by Pininfarina

Outras atividades relacionadas à montagem das armaduras tornaram-se imprescindíveis para a disseminação do conhecimento aprendido e a transmissão das boas práticas para outros profissionais do setor da construção civil. A organização de mesas-redondas em obras para debater detalhes de montagem e a apresentação frequente em palestras e aulas sobre as boas práticas de montagem de armaduras, por exemplo, se tornaram atividades corriqueiras.

Além disso, o papel do compartilhamento desse conhecimento em redes sociais de grande impacto, como LinkedIn e YouTube, vem facilitando a troca de experiências e ampliando tanto o alcance do tema como o reconhecimento de sua importância.

Entre os conteúdos discutidos nas visitas em obra e em debates com equipes e palestras, certos detalhes de armaduras são questionados com mais frequência. O posicionamento de espaçadores (em lajes, vigas e pilares) e as interferências das armaduras nos encontros dos elementos estruturais são assuntos levantados regularmente.

Além desses temas, a montagem das armaduras de lajes-cogumelo, especialmente nas proximidades dos pilares, é, sem dúvida, um dos sistemas que mais gera discussões e dúvidas na montagem.

Desse modo, este manual abrange esses temas de forma detalhada e primordialmente gráfica de modo a sanar dúvidas, incentivar melhores práticas e facilitar o entendimento dos diferentes detalhes estruturais projetados e construídos comumente hoje no setor da construção de edifícios em concreto armado.



MANUAL DE BOAS PRÁTICAS

CAPÍTULO 1
A importância dos
espaçadores



Para a estrutura principal de uma edificação atender à Vida Útil de Projeto (VUP) mínima de 50 anos, devemos seguir as diretrizes da *ABNT NBR 15575-1* e da *ABNT NBR 6118*.

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

A norma *ABNT NBR 14931* também possui uma tabela em seu capítulo 9 que estabelece tolerâncias de execução no posicionamento das armaduras. Ressalta-se que essas tolerâncias não se aplicam em regiões especiais, como encontro viga x pilar, encontro viga x viga, consoles, região de transpasse de armadura de pilares, entre outros. Confira as reproduções dessas tabelas ao lado.

Nesse contexto, de modo a respeitar os cobrimentos especificados nas normas e em projeto, é importante utilizar espaçadores de boa qualidade, posicionados em locais corretos e em distâncias adequadas entre si. Quando corretamente utilizados, os espaçadores asseguram aos elementos estruturais as seguintes características:

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

No entanto, conforme relatado por Menna Barreto (2014) e Maran (2015), a falta de orientação na execução das estruturas e o uso incorreto de espaçadores ainda é comum na construção civil brasileira. A partir do levantamento dos cobrimentos em nove obras nacionais, os pesquisadores constataram um número alarmante de descumprimentos dos valores mínimos de cobrimento especificados em norma, especialmente em lajes e fundos de vigas.

Tabela do capítulo 6 da *ABNT NBR 6118* (reprodução)
Classes de agressividade ambiental (CAA)

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

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

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

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

Tabela do capítulo 7 da *ABNT NBR 6118* (reprodução)

Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto

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

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

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

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

Tabela do capítulo 7 da ABNT NBR 6118 (reprodução)

Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm

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

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

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

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

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

Tabela do capítulo 9 da ABNT NBR 14931 (reprodução)

Tolerâncias de posicionamento das armaduras

Dimensão (s) cm		Tolerância ^{1), 3)} (t) mm
Tipo de elemento estrutural	Posição da verificação	
Elementos de superfície	Horizontal	5
	Vertical	20 ²⁾
Elementos lineares	Horizontal	10
	Vertical	10

¹⁾ Em regiões especiais (tais como: apoios, ligações, intersecções de elementos estruturais, traspasse de armadura de pilares e outras) essas tolerâncias não se aplicam, devendo ser objeto de entendimento entre o responsável pela execução da obra e o projetista estrutural.

²⁾ Tolerância relativa ao alinhamento da armadura.

³⁾ O cobrimento das barras e a distância mínima entre elas não podem ser inferiores aos estabelecidos na ABNT NBR 6118.

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

DIMENSIONAL

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

IDENTIFICAÇÃO

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

FIXAÇÃO

- Possuir item de fixação integrado capaz de impedir o deslizamento da barra.

ESTABILIDADE

- Possuir estabilidade.

CAPACIDADE DE CARGA

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

APLICAÇÃO

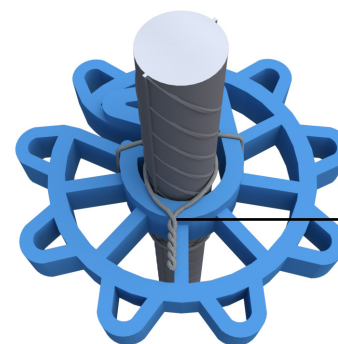
- Possuir fácil aplicação.

Nas próximas páginas, apresentamos os principais tipos de espaçadores utilizados na construção de edifícios em concreto armado. Já nos **capítulos 2, 3 e 4**, chamamos a atenção para as distâncias adequadas entre espaçadores em pilares, vigas e lajes separadamente. Vale lembrar que essas distâncias são sugestões e convém ao responsável pela inspeção das armaduras avaliar se estas distâncias estão mantendo a posição da armadura de acordo com o cobrimento registrado no projeto.

ESPAÇADOR CIRCULAR

De acordo com o capítulo 8 da *ABNT NBR 14931*, espaçadores plásticos podem ser utilizados. É o caso do espaçador circular, normalmente usado em pilares e vigas.

É importante lembrar que amarrar o espaçador circular no vergalhão previne o desprendimento, o que, por sua vez, evita o retrabalho de reposicionamento (**Figura 1.1**).



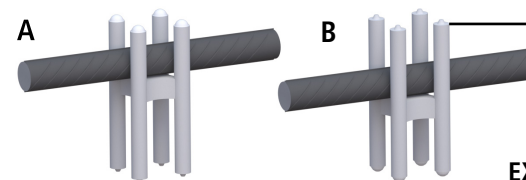
AMARRAR O ESPAÇADOR CIRCULAR NO VERGALHÃO EVITA O DESPRENDIMENTO

Figura 1.1
Espaçador circular

ESPAÇADOR CADEIRINHA OU TORRE

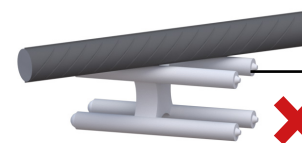
Este espaçador é usado normalmente para posicionamento da armadura positiva da laje. Ele requer atenção redobrada em duas questões:

- na escolha correta da opção de cobrimento (ele possui duas opções): a escolha incorreta pode causar o desrespeito ao cobrimento de projeto (**Figuras 1.2A e 1.2B**);
- na amarração: se não for amarrado, ele pode tombar ou sair da posição com facilidade (**Figura 1.3**).



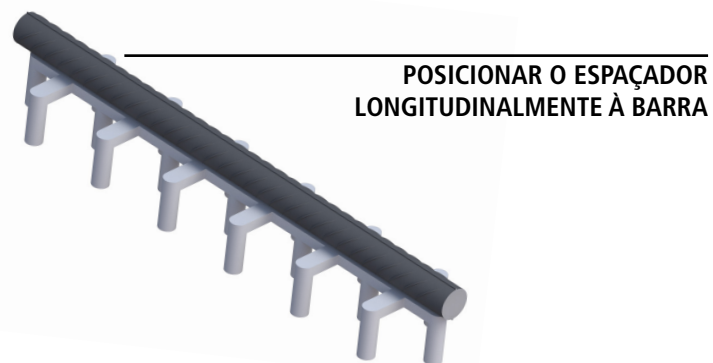
ATENÇÃO NA APLICAÇÃO DO LADO CORRETO DO ESPAÇADOR, POIS EXSTEM DUAS OPÇÕES DE COBRIMENTO

Figura 1.2
Espaçador cadeirinha ou torre

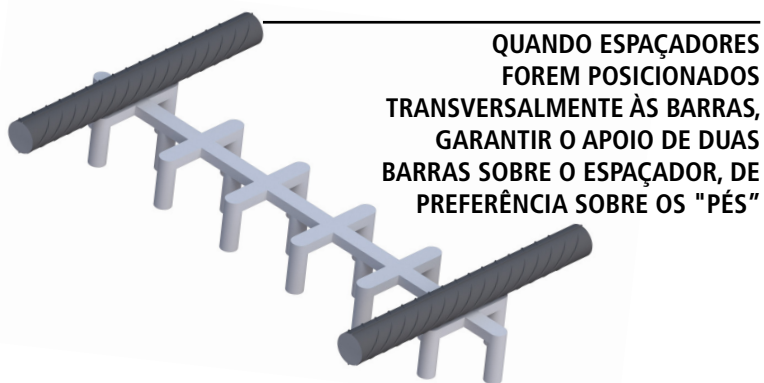


ESPAÇADOR PODE TOMBAR OU SAIR DA POSIÇÃO SE NÃO FOR AMARRADO

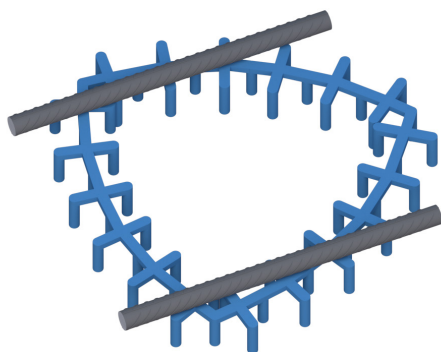
Figura 1.3
Espaçador cadeirinha ou torre tombado por não estar amarrado

**Figura 1.4**

Espaçador multiapoio ou centopeia longitudinal às barras

**Figura 1.5**

Espaçador multiapoio ou centopeia transversal às barras

**Figura 1.6**

Espaçador multiapoio combinado

ESPAÇADOR MULTIPOIO OU CENTOPEIA

Este espaçador é usado em vigas, pilares e para o posicionamento da armadura positiva da laje.

Recomenda-se posicionar o espaçador longitudinalmente à barra (**Figura 1.4**). No entanto, quando posicionado transversalmente às barras, ele requer atenção redobrada em duas questões (**Figura 1.5**):

- posicionar pelo menos duas barras para não causar instabilidade no espaçador;
- posicionar as barras sobre os "pés" do espaçador.

ESPAÇADOR MULTIPOIO COMBINADO

Este espaçador (**Figura 1.6**) pode ser usado em vigas de transição ou para posicionamento da armadura positiva da laje. Ele é recomendado em regiões cuja densidade da armadura é elevada.

ESPAÇADOR DE CONCRETO OU ARGAMASSA

De acordo com o capítulo 8 da *ABNT NBR 14931*, é permitido o uso de espaçadores de concreto ou argamassa desde que apresentem relação água/cimento menor ou igual a 0,50. Por possuir dimensões consideráveis, recomendamos que este espaçador tenha, no mínimo, o mesmo *fck* e relação água/cimento de projeto, respeitando a classe de agressividade ambiental.

Em estruturas de concreto aparente, recomendamos o uso do espaçador de concreto ou argamassa para evitar marcas e as cores indesejáveis dos espaçadores plásticos na superfície do elemento estrutural (**Figura 1.7**).

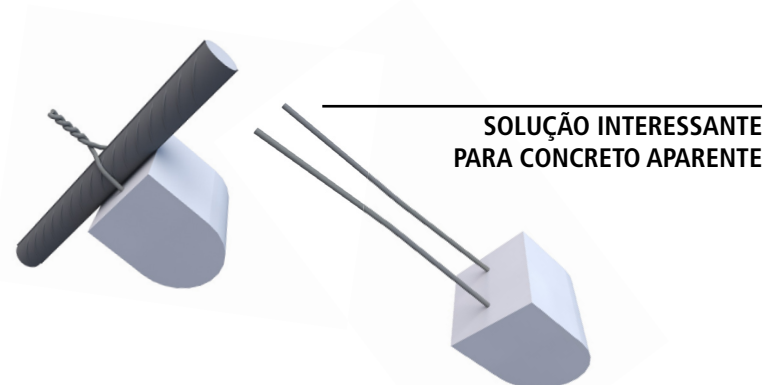


Figura 1.7
Espaçador de concreto ou argamassa

ESPAÇADOR TRELIÇADO

O espaçador treliçado (**Figura 1.8**) é comumente utilizado nas obras para posicionamento da armadura negativa da laje. Durante a montagem da armadura ou durante a concretagem, é comum o deslocamento dos vergalhões ao se pisar na armadura negativa da laje. O peso acaba sendo distribuído na armadura positiva da laje pelo espaçador treliçado. Assim, convém posicionar espaçadores plásticos ou de concreto nessas regiões para manter o cobrimento da armadura positiva.

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

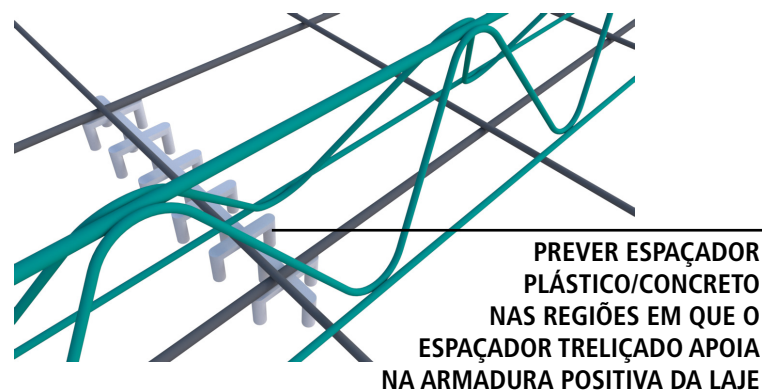


Figura 1.8
Espaçador treliçado



A close-up photograph of a ribbed steel rebar, showing the characteristic wavy ridges along its length. The rebar is positioned diagonally across the frame, with a dark blue vertical bar on the right side containing text. The background is a blurred, warm-toned surface, likely a construction site.

MANUAL DE BOAS PRÁTICAS

CAPÍTULO 2
Armaduras
de pilares



ESPAÇADORES EM PILARES

Cada obra deverá encontrar as distâncias/posicionamento entre os espaçadores que respeitem os cobrimentos definidos em projeto.

É importante posicionar mais espaçadores no topo e na base dos pilares, pois são regiões que acabam sofrendo deslocamentos dos vergalhões devido à inserção de outras armaduras (**Figura 2.1**). Posicionar os espaçadores nos cantos dos estribos (**Figura 2.2**) e do lado do grampo (**Figura 2.3**) permite que o cobrimento de projeto seja respeitado. Estas são regiões que contêm a dobra do estribo ou o arame de amarração do vergalhão com o grampo, deixando o estribo menos deslocável.

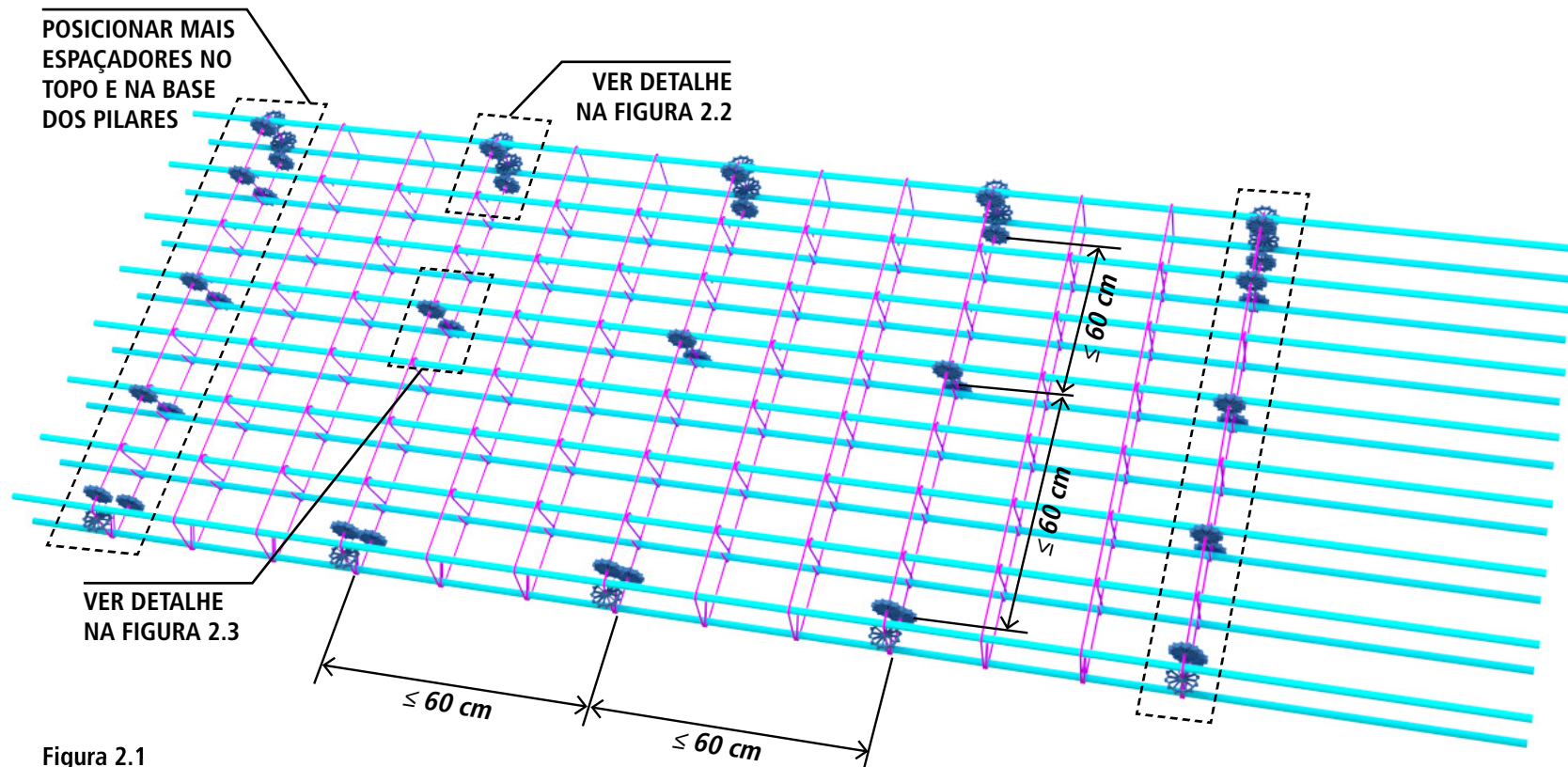


Figura 2.1

Sugestão de posicionamento dos espaçadores em pilares

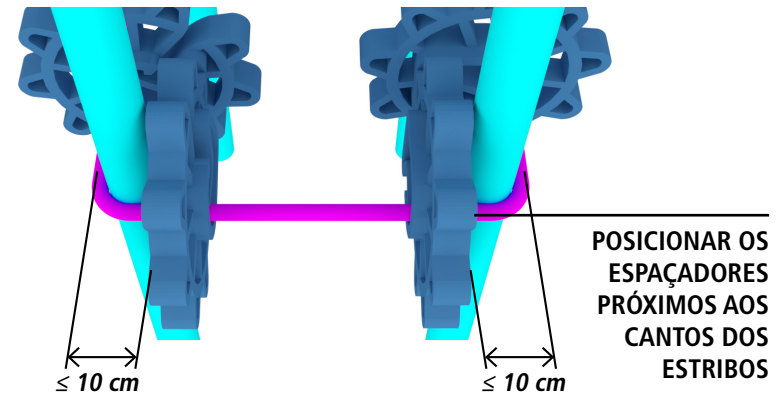
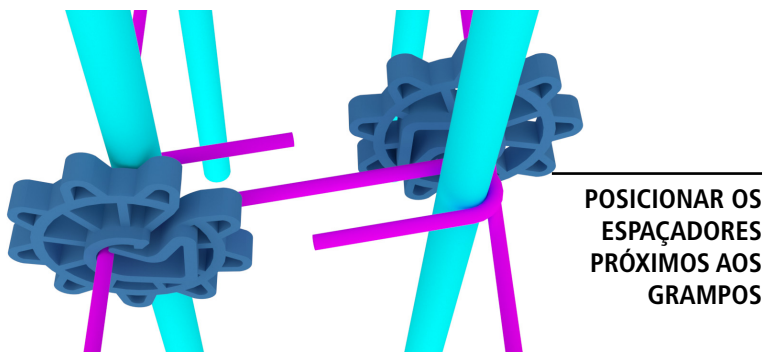


Figura 2.2

Posição dos espaçadores próximos aos cantos dos estribos do pilar



POSICIONAR OS
ESPAÇADORES
PRÓXIMOS AOS
GRAMPOS

Figura 2.3

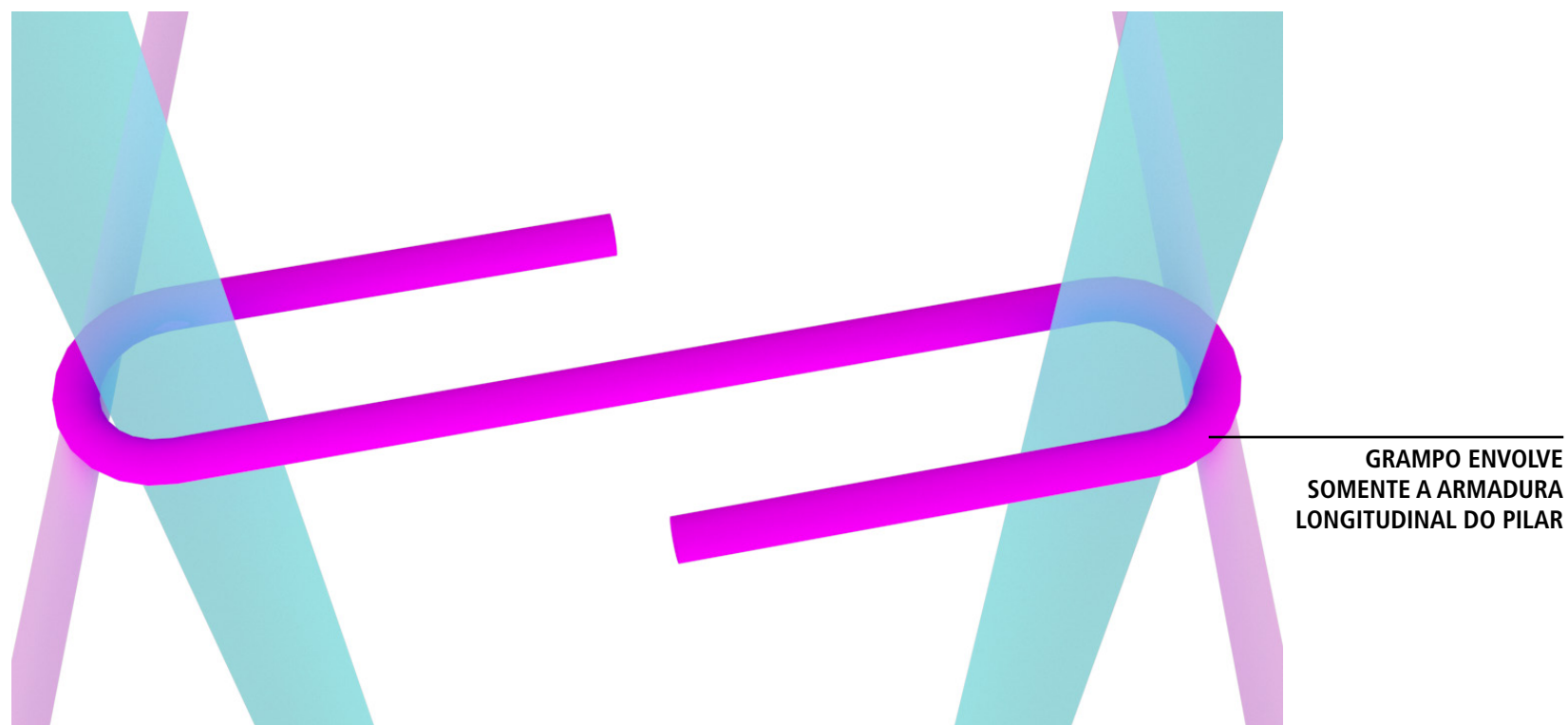
Posição dos espaçadores próximos aos grampos do pilar

ESTRIBO SUPLEMENTAR (GRAMPO)

Conforme o capítulo 18 da *ABNT NBR 6118*, a principal função do estribo suplementar é o travamento à “flambagem” dos vergalhões da armadura longitudinal. Ver outras funções do estribo na página a seguir.

O estribo suplementar, também conhecido como “grampo”, quando constituído por uma barra reta terminada em ganchos (90° e 180°), necessita atravessar o elemento estrutural com os ganchos envolvendo as armaduras longitudinais.

O grampo deve envolver somente a armadura longitudinal do pilar, nunca o estribo do pilar, conforme mostra a **Figura 2.4**.



GRAMPO ENVOLVE
SOMENTE A ARMADURA
LONGITUDINAL DO PILAR

Figura 2.4

Posição do grampo

CAPÍTULO 2

ARMADURAS DE PILARES

ESTRIBOS

É extremamente importante posicionar os estribos conforme o projeto de armação, pois eles possuem funções importantes para o bom comportamento do pilar.

As funções dos estribos dependem de sua posição ao longo do pilar, conforme mostrado na imagem ao lado (**Figura 2.5**):

FUNÇÃO 1

Travamento à “flambagem” dos vergalhões da armadura longitudinal.

FUNÇÃO 2

Armadura de costura na região das emendas da armadura longitudinal.

FUNÇÃO 3

Armadura de costura para as variações de tensão na armadura decorrentes dos momentos fletores. Um exemplo de carga que pode acarretar esta variação de momentos fletores é a carga acidental de vento, que pode ou não atuar.

FUNÇÃO 4

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

FUNÇÃO 5

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

FUNÇÃO 6

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

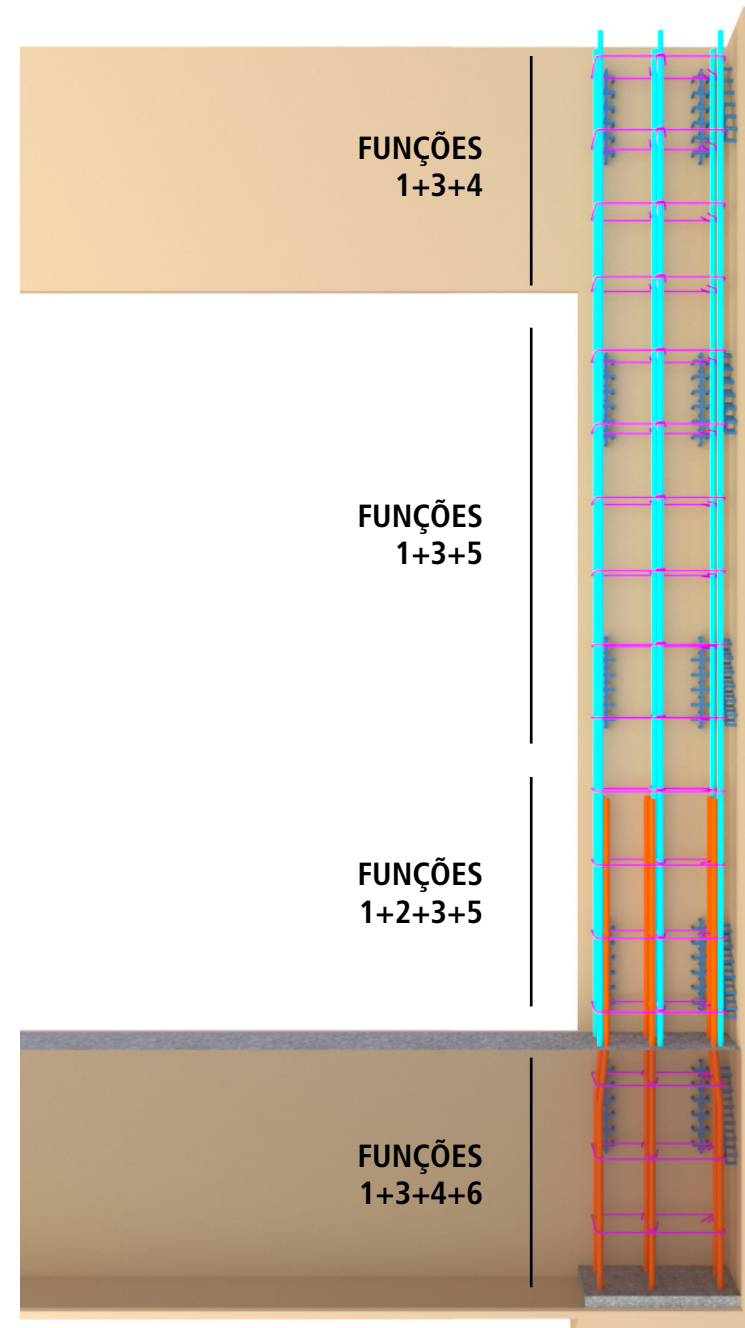


Figura 2.5
Posicionamento de estribos em pilares

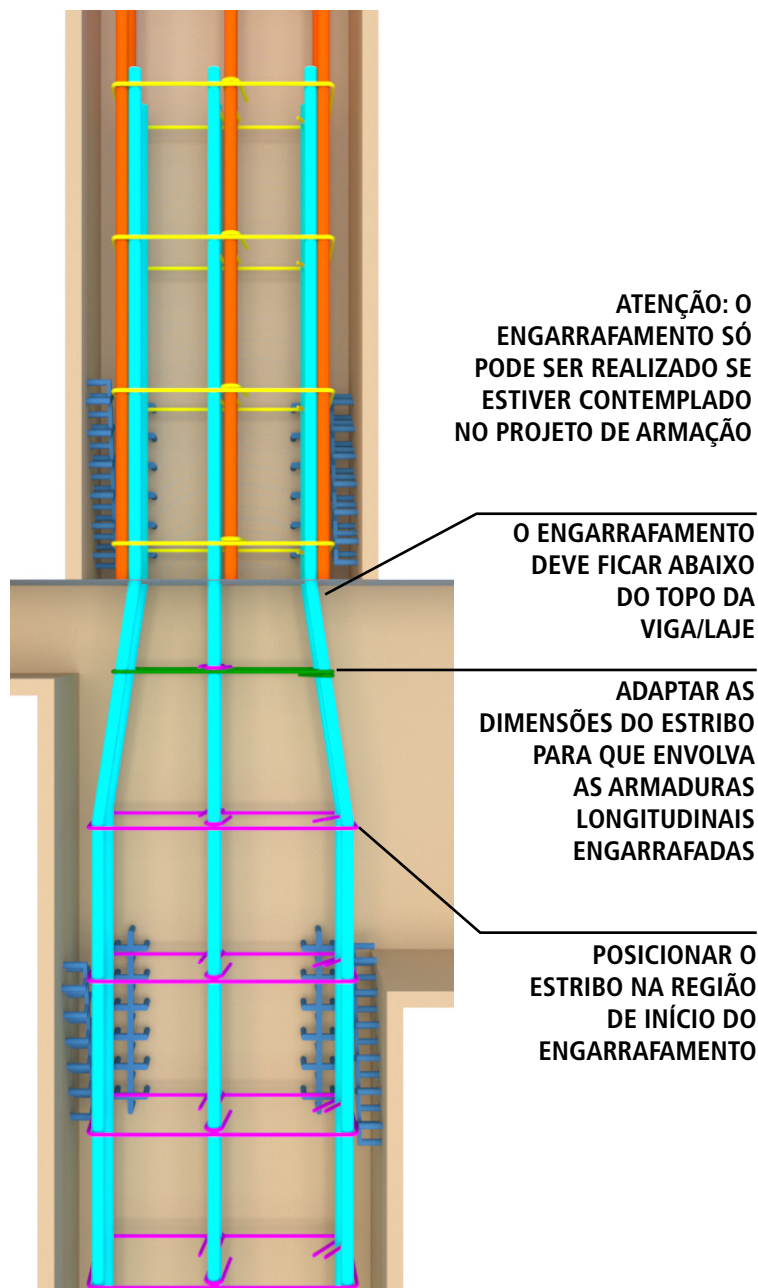


Figura 2.6
Engarramento do pilar em vista

ENGARRAFAMENTO

A redução de seção do pilar pode ser resolvida com o engarramento da armadura longitudinal. No entanto, deve ser feita somente de acordo com o detalhamento no projeto de armação (**Figuras 2.6 e 2.7**).

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

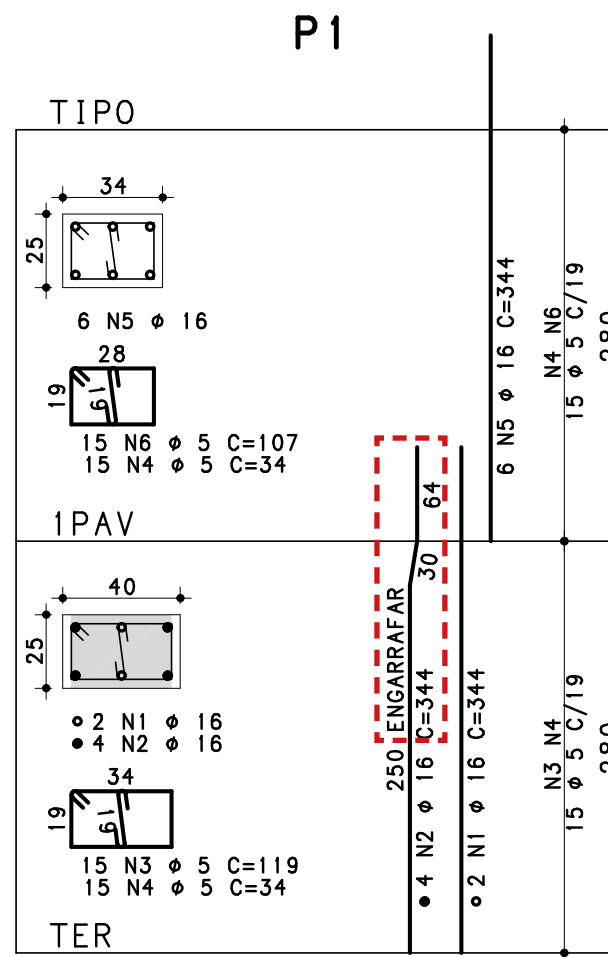


Figura 2.7
Indicação do engarramento em projeto de armação

RECOMPOSIÇÃO DE ESTRIBOS E GRAMPOS
INOVAÇÃO FRANÇA E ASSOCIADOS

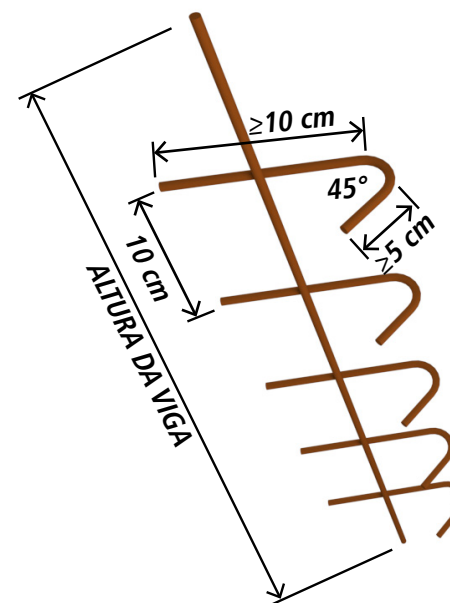
De acordo com o capítulo 18 da *ABNT NBR 6118*, a armadura transversal de pilares (isto é, os estribos e os grampos), deve ser colocada em toda a altura do pilar, incluindo a região de cruzamento com vigas e lajes. Na página 32, são citadas as funções estruturais dos estribos e dos grampos do pilar.

Em muitas obras, é realizado o corte dos estribos e grampos dos pilares nas regiões de encontro do pilar com a viga (**Figuras 2.9 e 2.10**). Ressaltamos que os cortes são efetuados por conta própria na obra (isto é, não constam em projeto), de modo a facilitar o posicionamento da armadura da viga, que é montada por completo fora da fôrma.

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

Apresentaremos, neste manual, a REC (abreviação de REComposição), ilustrada na **Figura 2.8**, como uma opção para recompor o estribo ou grampo quando estes são cortados. **Nas Figuras 2.9 a 2.14, a sequência de posicionamento das RECs é exemplificada.**

A REC é eficiente para o combate da flambagem dos vergalhões da armadura longitudinal do pilar. Para as funções 3, 4 ou 6 dos estribos (ver página 32), é importante consultar o projetista estrutural com o intuito de avaliar possíveis cuidados especiais de montagem e se a REC atende aos requisitos de cálculo do projeto.



SUGESTÃO: USAR
TELA SOLDADA M196
(EXECUTANDO OS
CORTES E DOBRAS NA
OBRA) OU ADQUIRIR
DE FORNECEDORES

GRAMPOS E GUIA ϕ 5
CA-60 (NERVURADA)

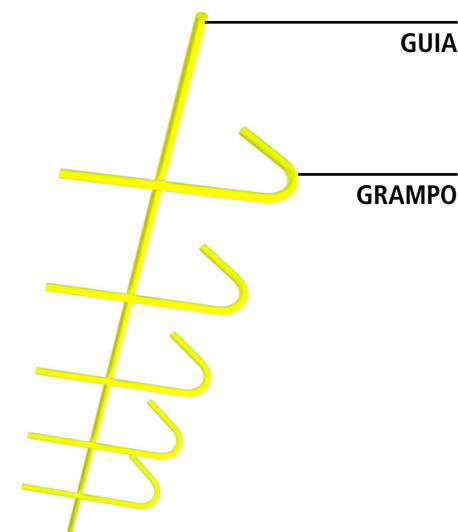
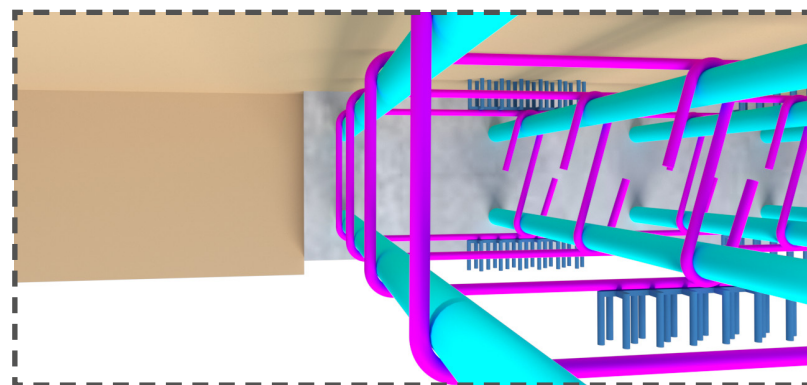
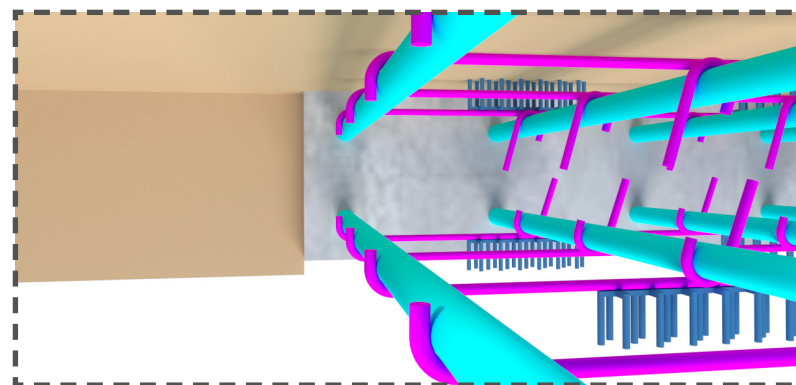


Figura 2.8

Dimensões da REC (Obs.: Apesar de estarem em cores diferentes, ambas possuem as mesmas características)



DETALHE - Vista superior do pilar



DETALHE - Vista superior dos estribos e dos grampos cortados

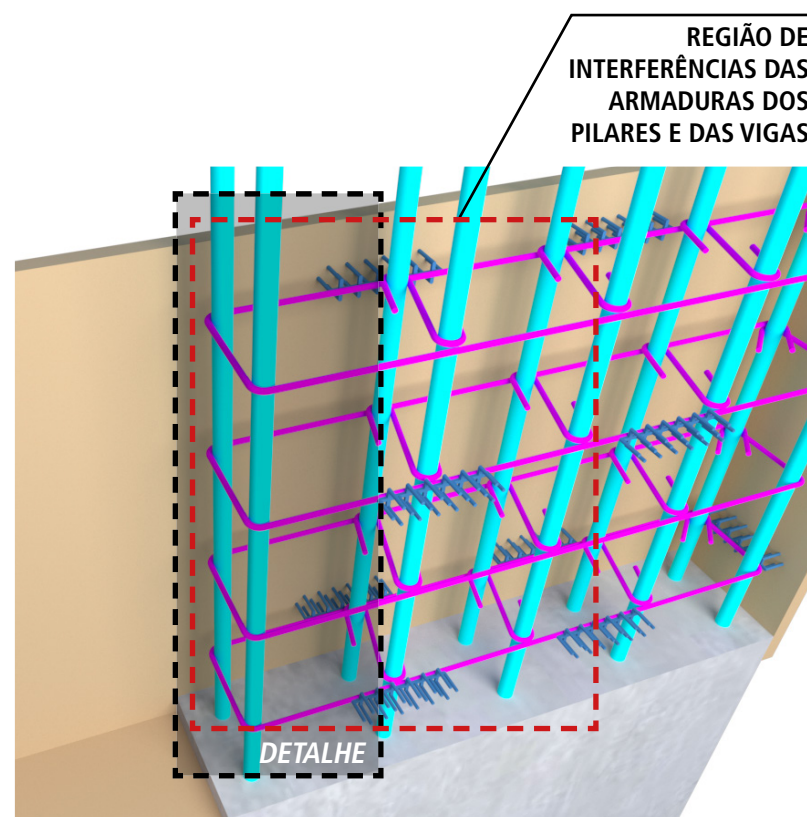


Figura 2.9
ETAPA 1 | Armadura do pilar antes do posicionamento da armadura da viga

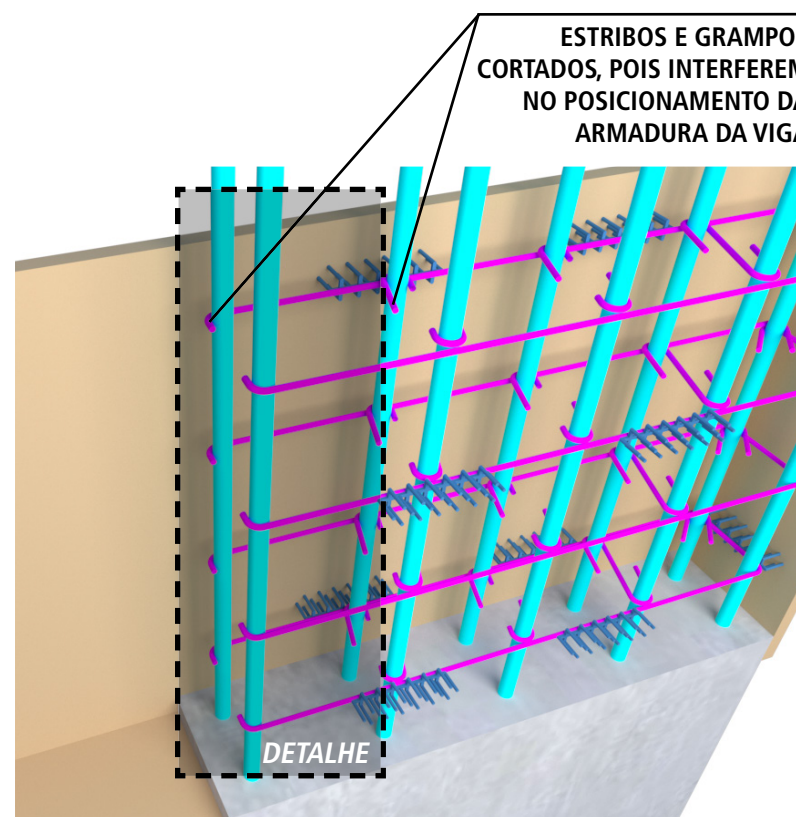


Figura 2.10
ETAPA 2 | Estribos e grampos do pilar cortados

CAPÍTULO 2

ARMADURAS DE PILARES

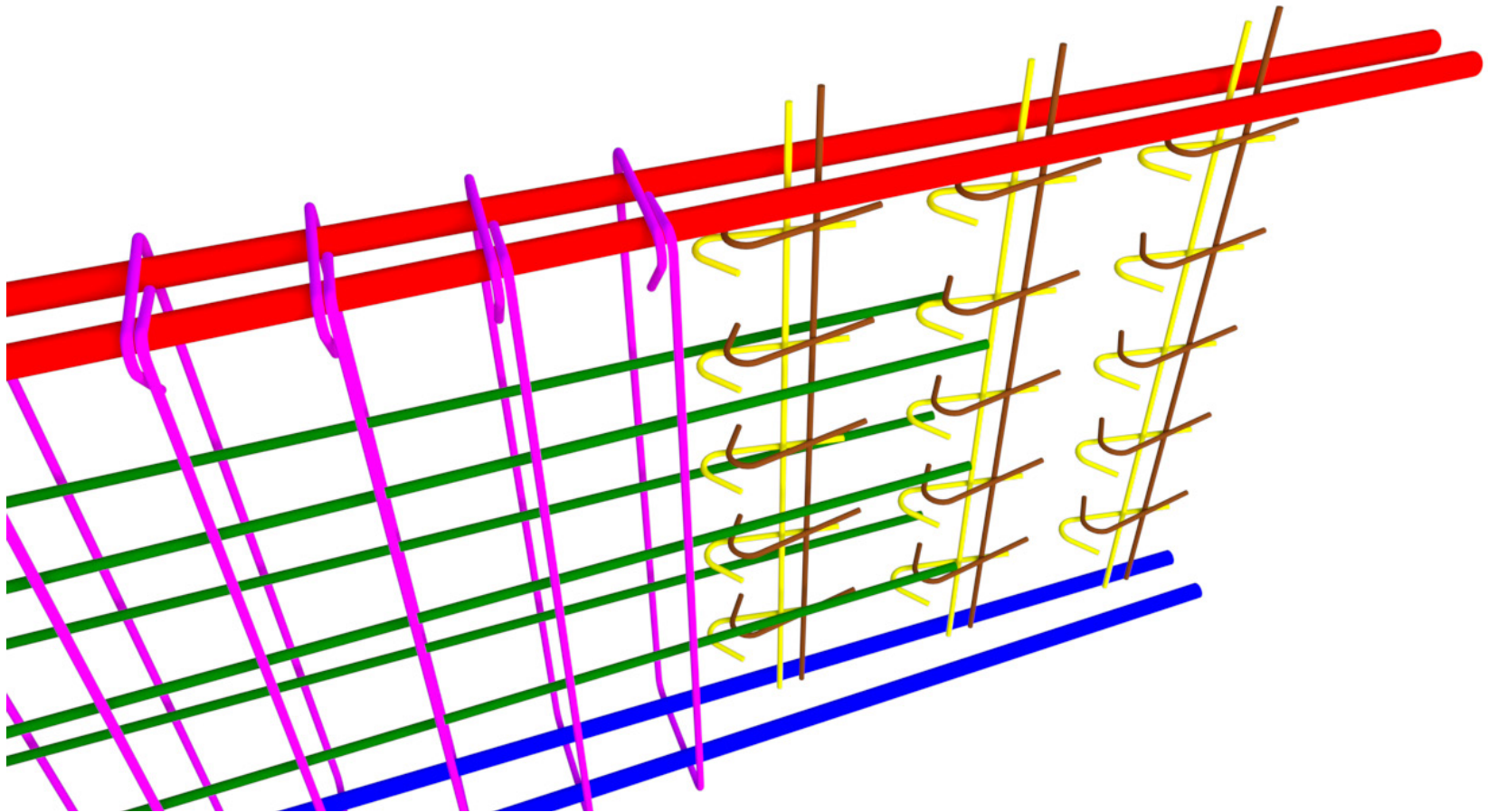
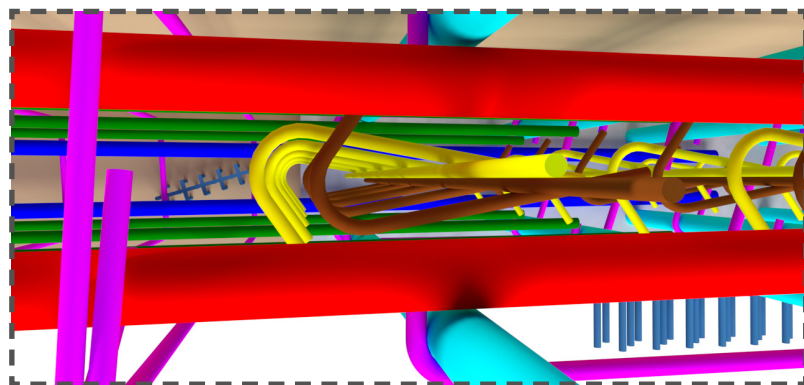
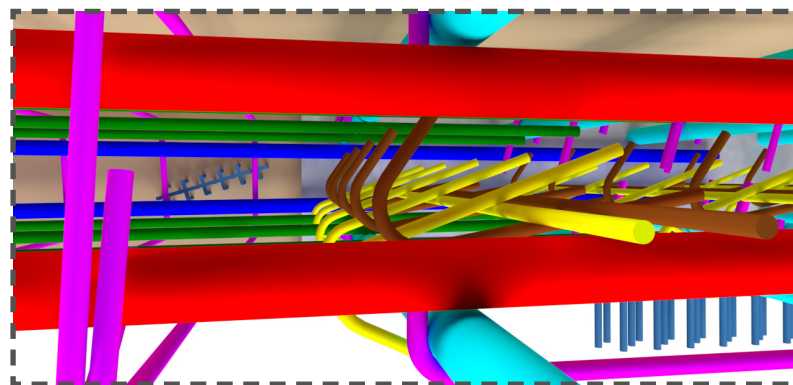


Figura 2.11

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



DETALHE - REC dentro da viga



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

POSICIONAMENTO DA ARMADURA DA VIGA DENTRO DA FÔRMA

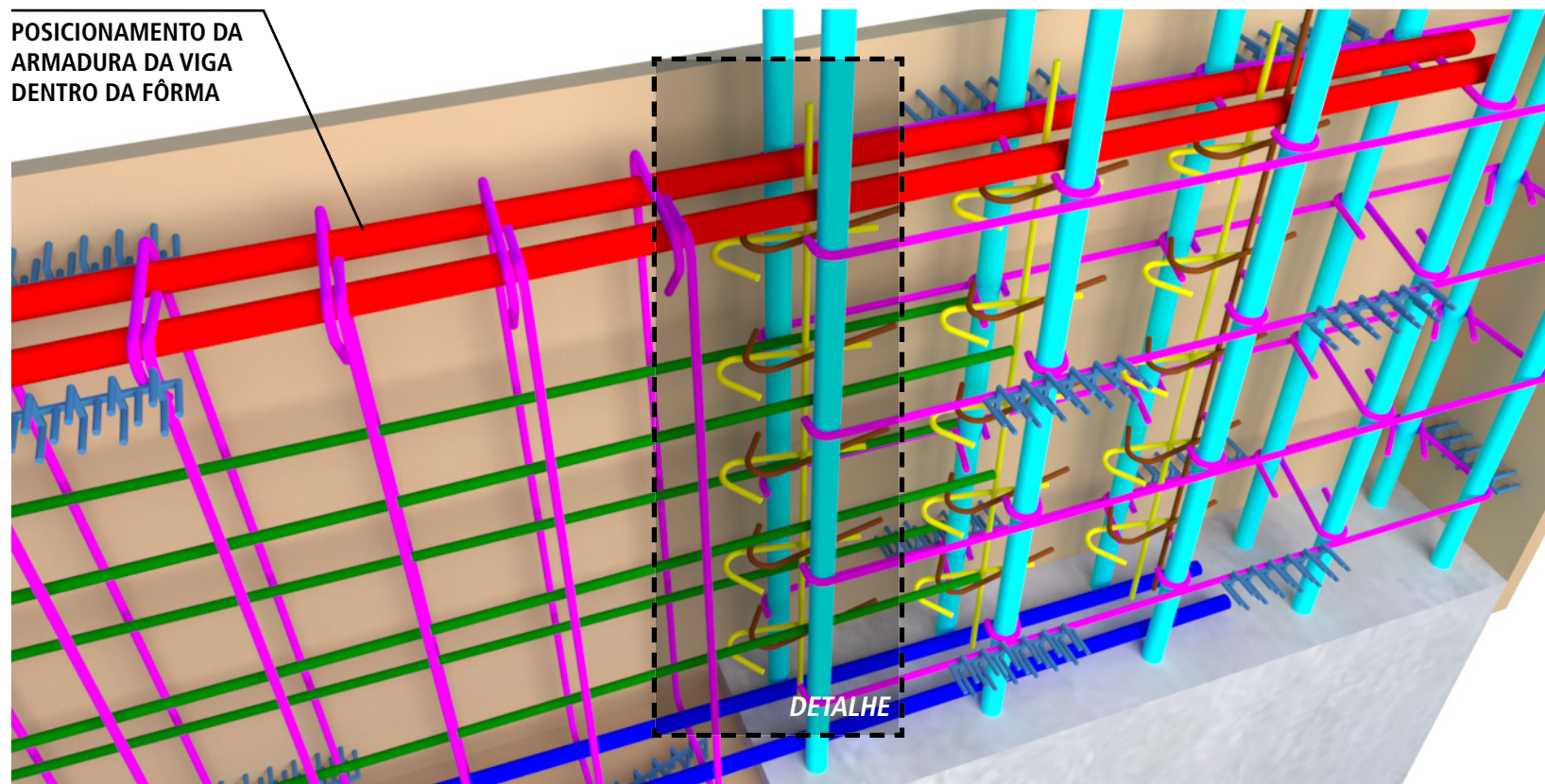
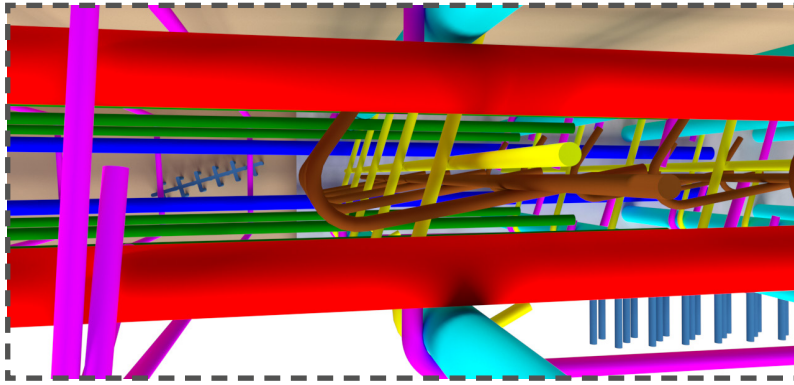


Figura 2.12

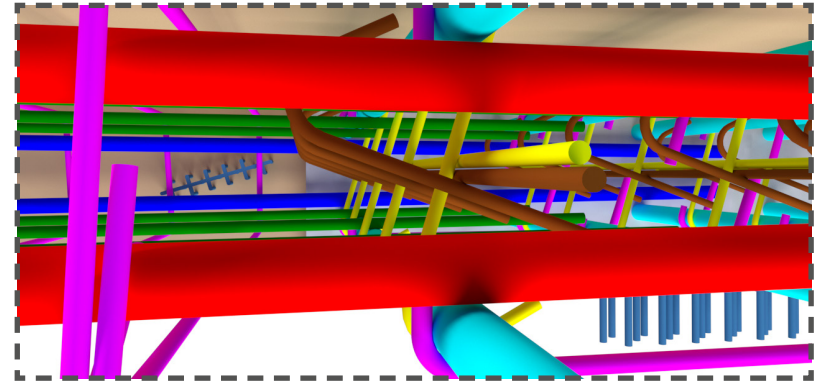
ETAPA 4 | Posicionamento da armadura da viga com as RECs

CAPÍTULO 2

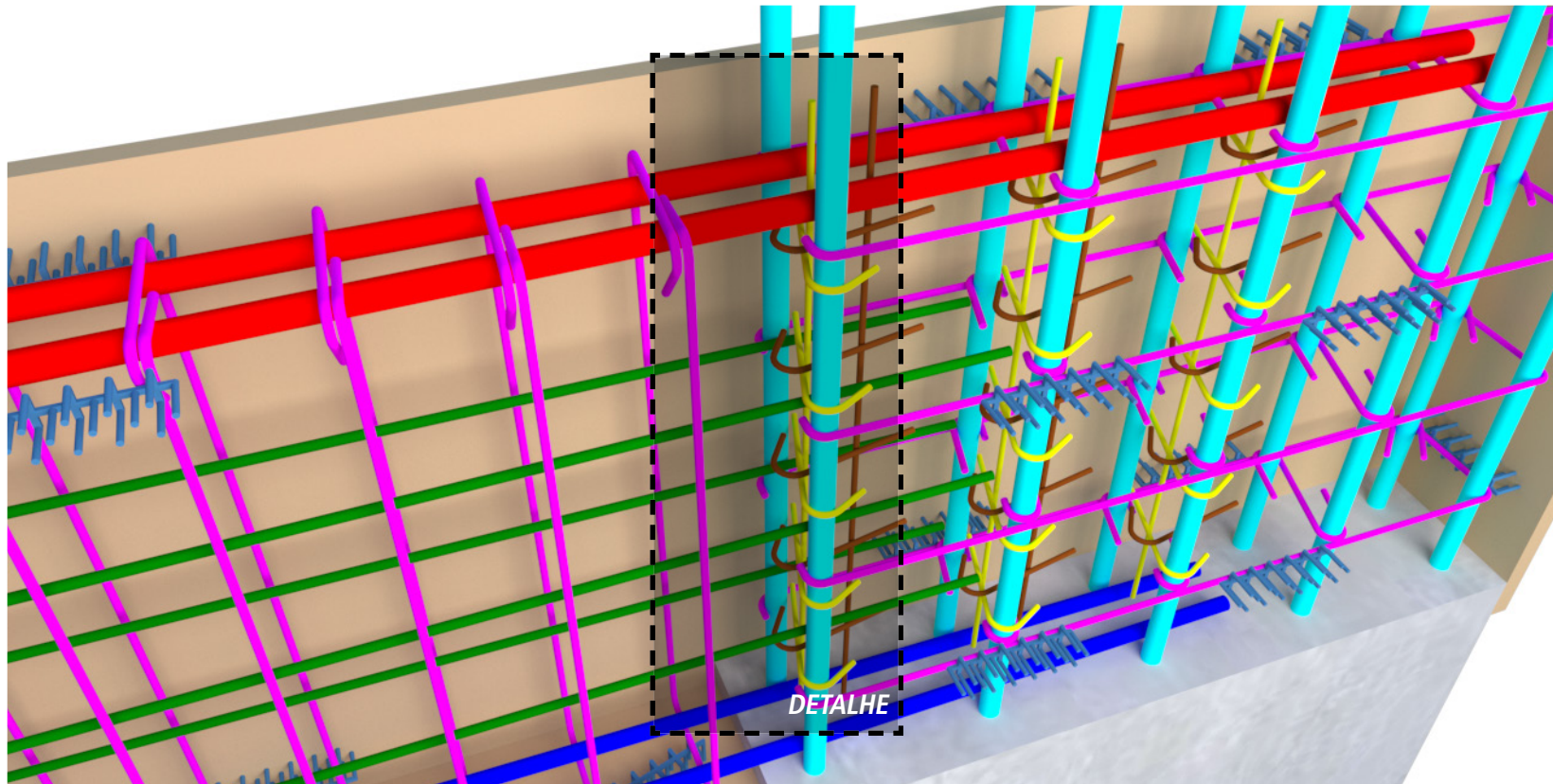
ARMADURAS DE PILARES



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



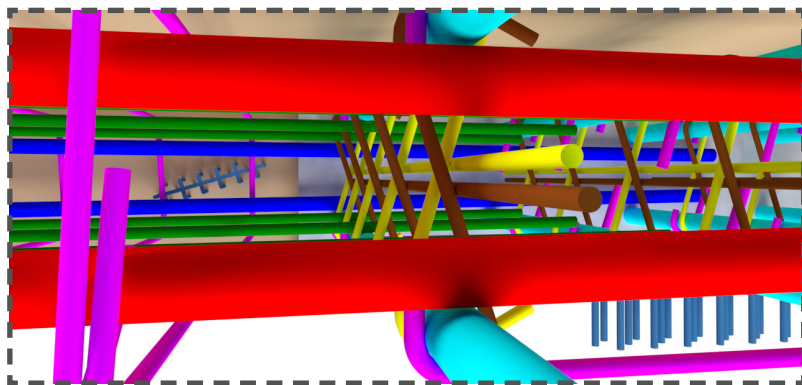
DETALHE - Ajuste no posicionamento da REC (cor marrom) para envolver a armadura longitudinal do pilar



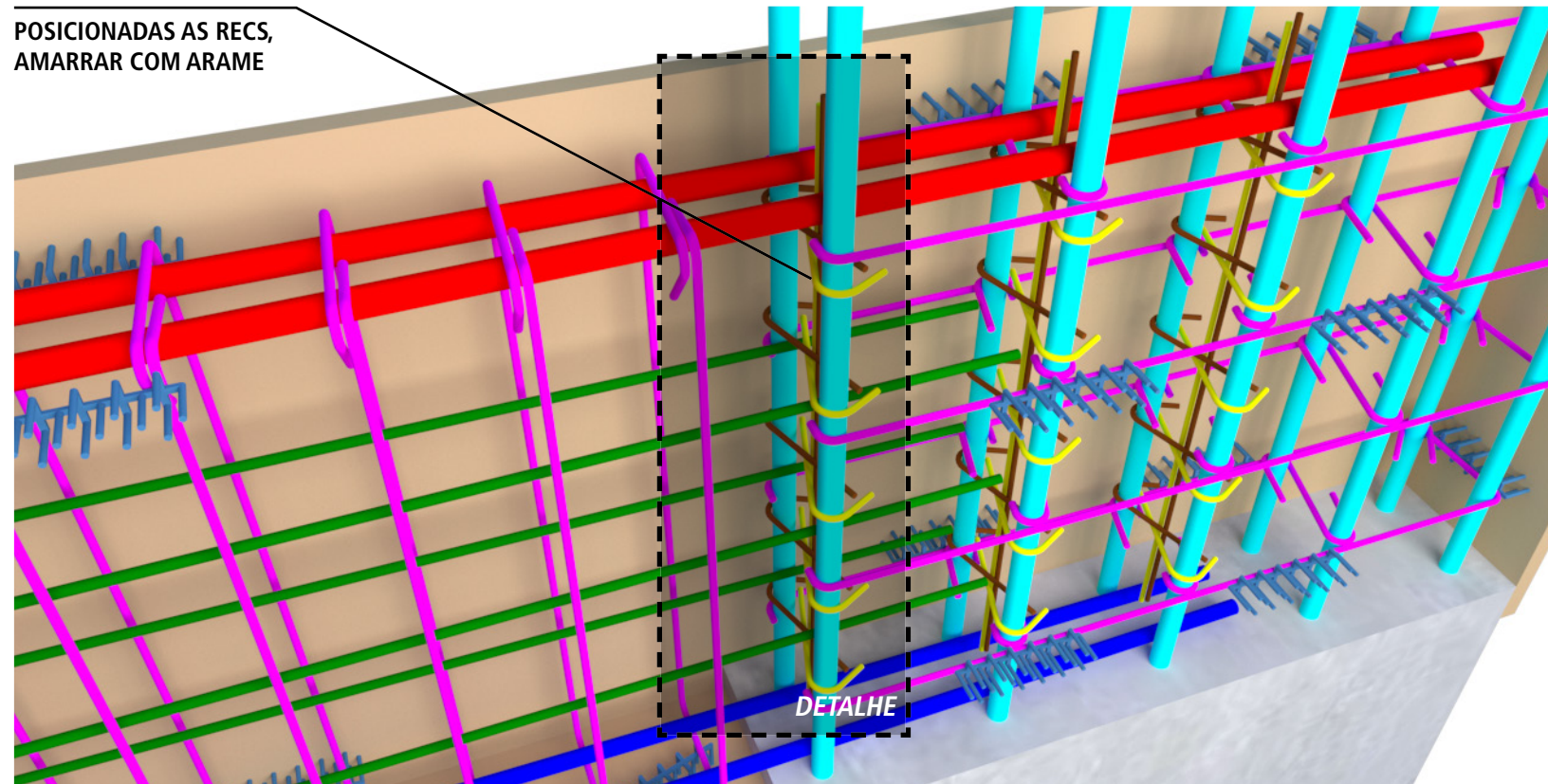
DETALHE

Figura 2.13

ETAPA 5 | Posicionamento das RECs de um lado



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



**POSICIONADAS AS RECS,
AMARRAR COM ARAME**

DETALHE

Figura 2.14
ETAPA 6 | RECs envolvendo e amarradas na armadura longitudinal do pilar

A close-up photograph showing a blue mesh fabric being processed by machinery. The fabric is stretched and appears to be moving through rollers or guides. The lighting is dramatic, with strong highlights and deep shadows, emphasizing the texture of the mesh and the metallic surfaces of the equipment.

MANUAL DE BOAS PRÁTICAS

CAPÍTULO 3
Armaduras
de vigas



ESPAÇADORES EM VIGAS

Cada obra deverá encontrar as distâncias entre os espaçadores que respeitem os cobrimentos definidos em projeto.

Em vigas altas, é recomendado o posicionamento de mais espaçadores na vertical para garantir a distância máxima de 60 cm entre eles.

Em vigas densamente armadas, recomenda-se reduzir a distância entre os espaçadores (**Figura 3.1**). O contrário vale para armaduras leves.

Além disso, em vigas densamente armadas, pode ser necessária a utilização de espaçadores de argamassa ou concreto, caso os espaçadores plásticos não resistam ao peso da armadura.

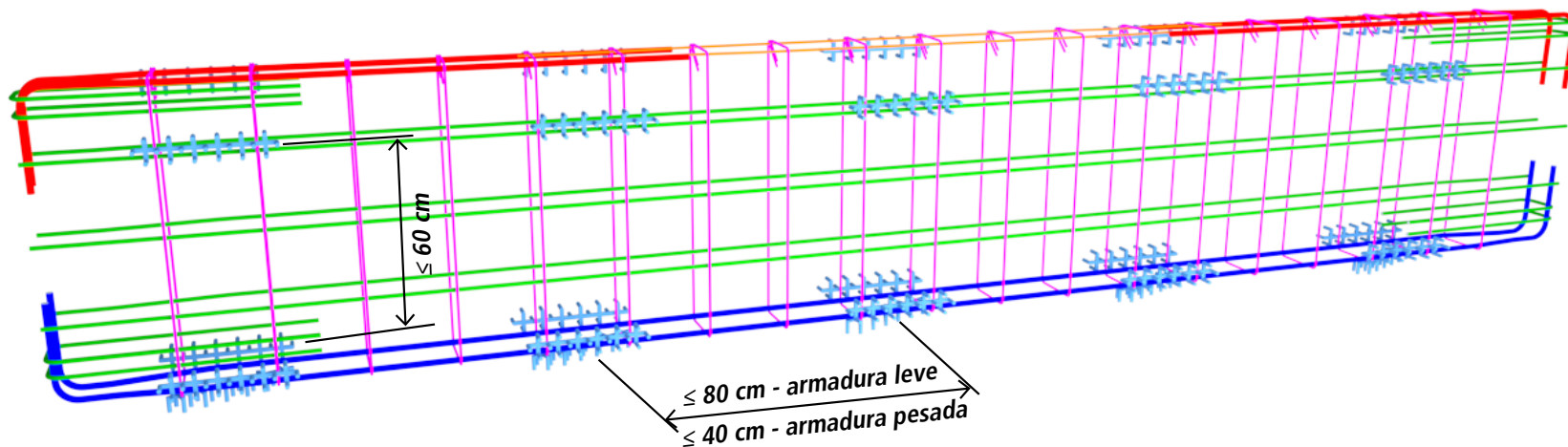


Figura 3.1
Sugestão de posicionamento dos espaçadores em vigas

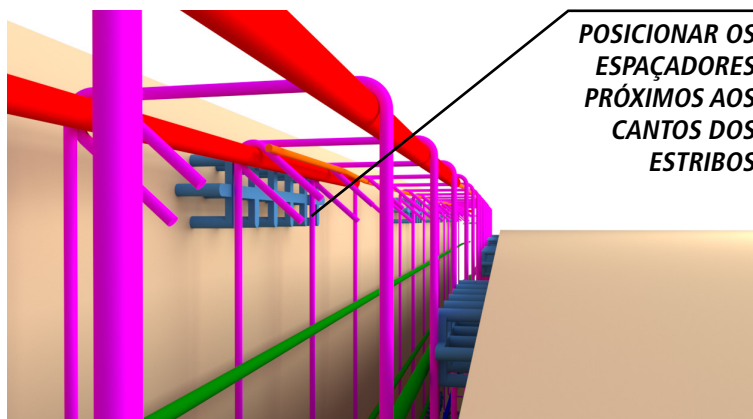


Figura 3.2
Vista lateral superior das armaduras das vigas

Recomenda-se posicionar os espaçadores em regiões que possuem maior rigidez, como os cantos dos estribos (**Figuras 3.2 e 3.3**). Desta forma, evitam-se os deslocamentos dos estribos e, conseqüentemente, atende-se aos cobrimentos de projeto.

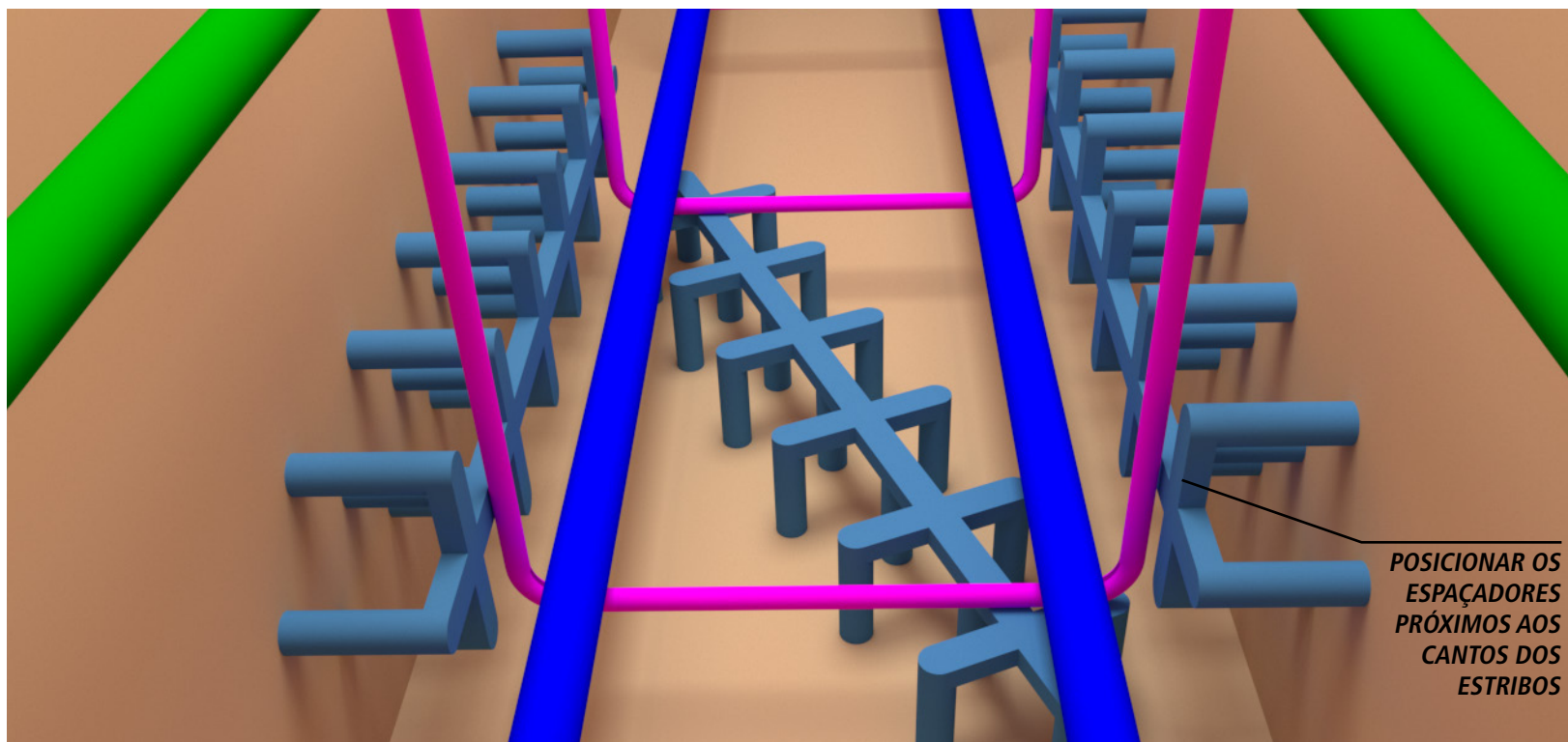


Figura 3.3
Vista lateral inferior das armaduras da viga

POSICIONAMENTO DAS ARMADURAS DE VIGAS

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

De maneira a sanar estes casos, mostramos aqui como devem ser posicionadas as armaduras de vigas de acordo com o desenho da armadura (**Figuras 3.4 a 3.8**).

É importante lembrar também que, em apoios estreitos ou com esforços altos onde a armadura longitudinal da viga não se ancora no apoio de forma efetiva, é realizado o dimensionamento do “grampo de ancoragem”. A seguir, o detalhamento deste grampo é apresentado com as principais indicações e recomendações para seu posicionamento (**Figura 3.6**).

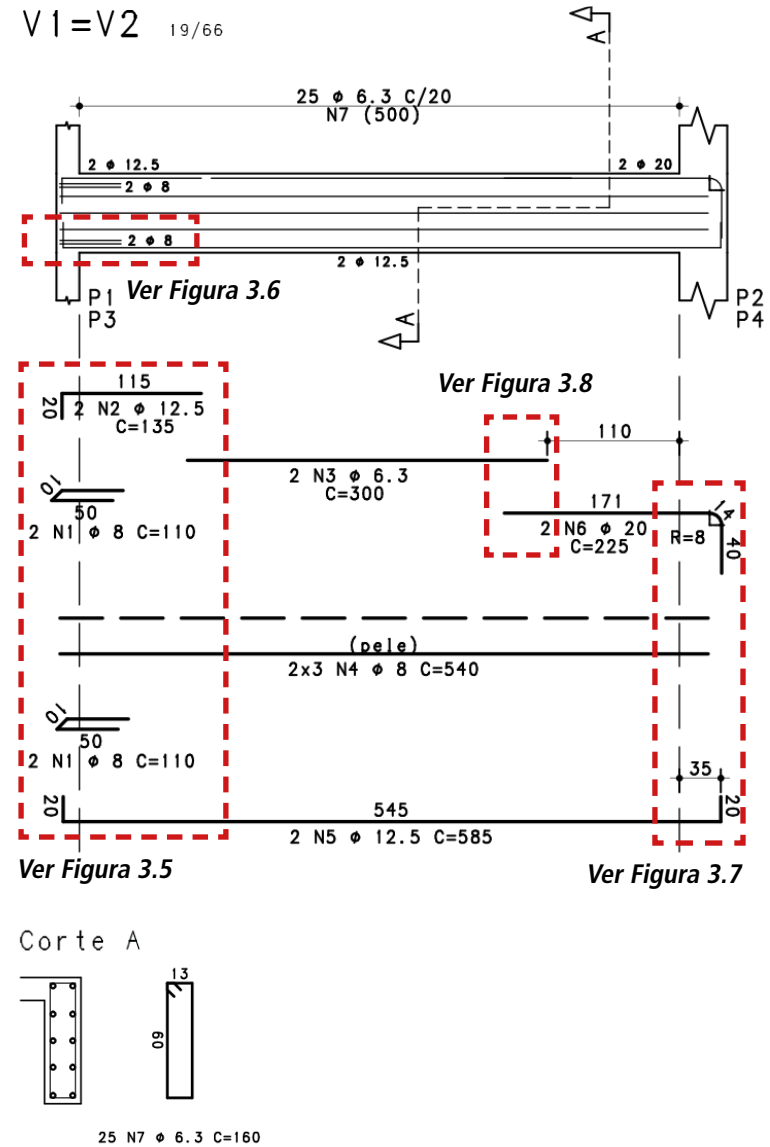


Figura 3.4
Elevação e corte de viga

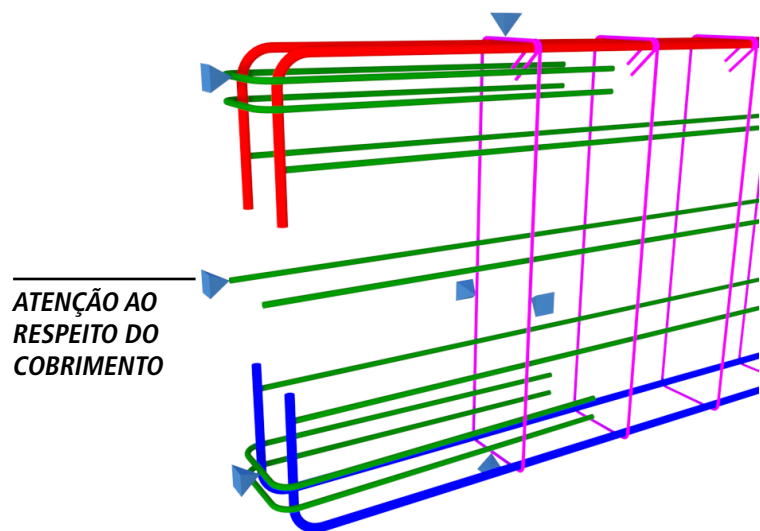


Figura 3.5
Posicionamento das armaduras - atenção ao cobrimento

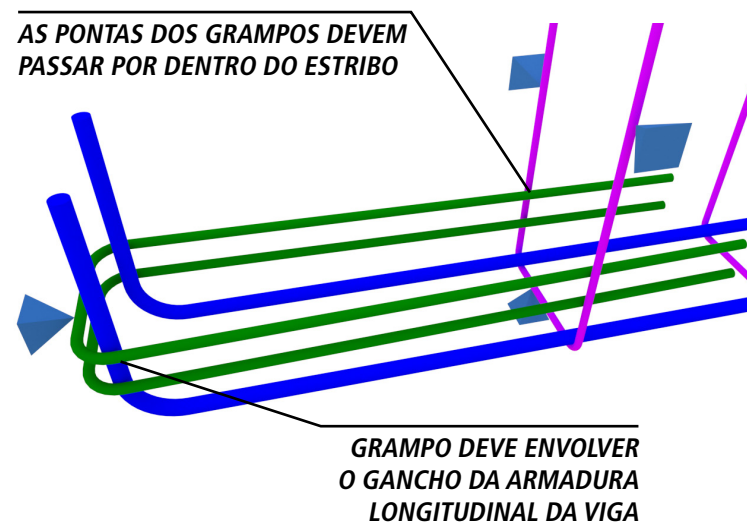


Figura 3.6
Posicionamento do grampo

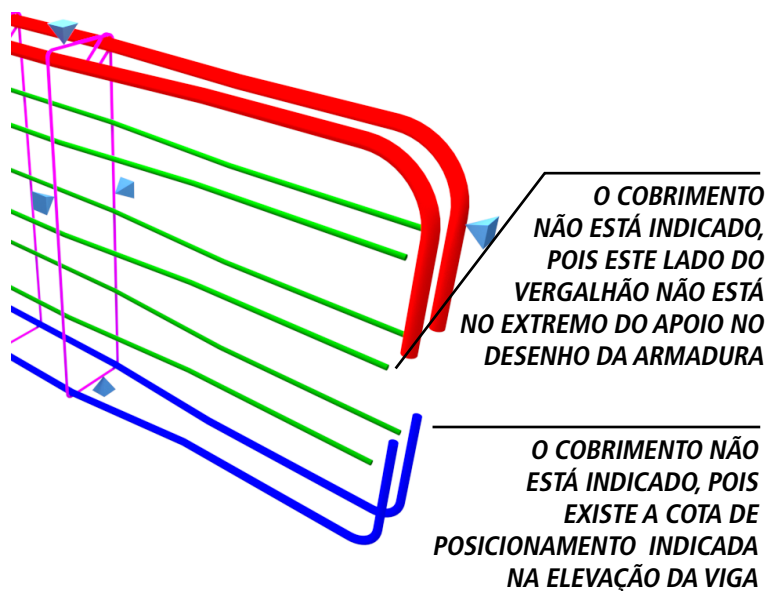


Figura 3.7
Posicionamento das armaduras - atenção ao cobrimento

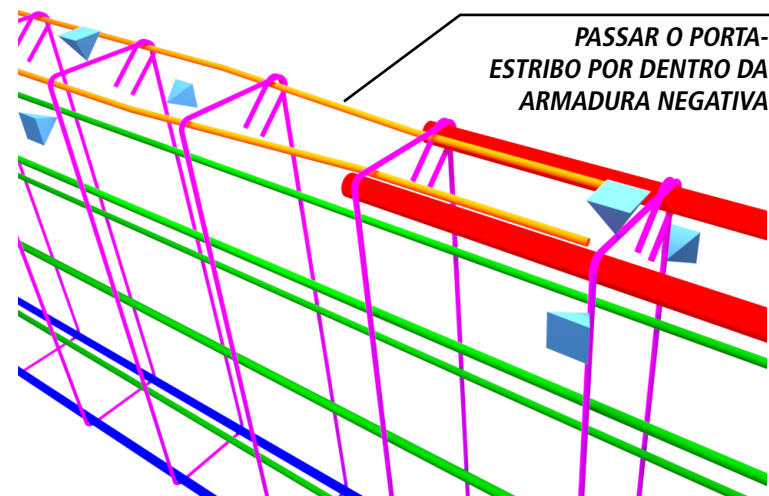


Figura 3.8
Posicionamento do porta-estribo

POSICIONAMENTO DAS ARMADURAS NO ENCONTRO VIGA x PILAR

O que fazer quando a viga que apoia em pilar possui a mesma largura do pilar?

A resposta está ligada diretamente ao comportamento estrutural.

Em uma estrutura tradicional (reticulada), a laje apoia na viga, que apoia no pilar e que, por sua vez, apoia no elemento de fundação. Através deste comportamento, as armaduras longitudinais da viga devem entrar (apoiar) entre os vergalhões da armadura longitudinal do pilar (**Figura 3.9**).

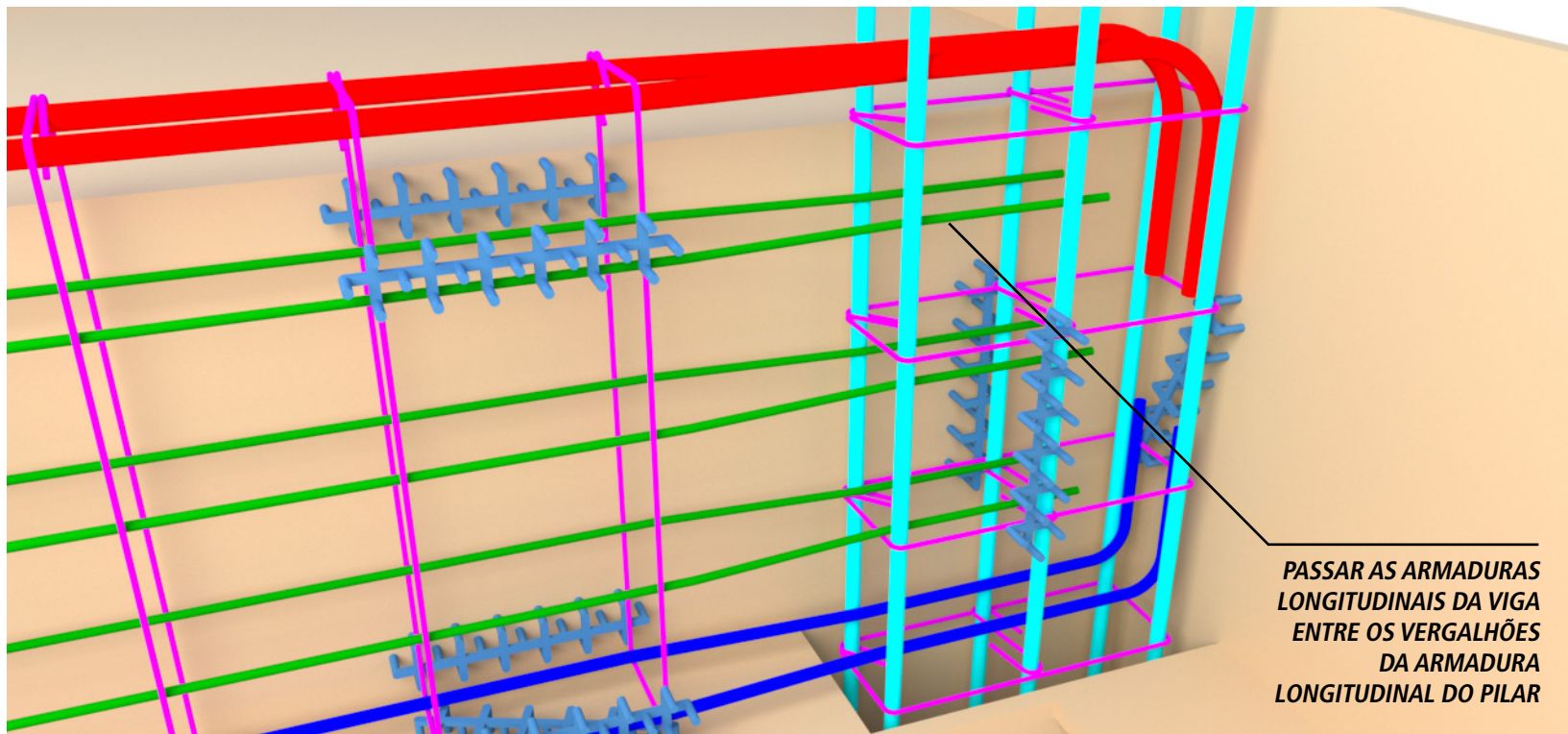


Figura 3.9
Encontro viga x pilar

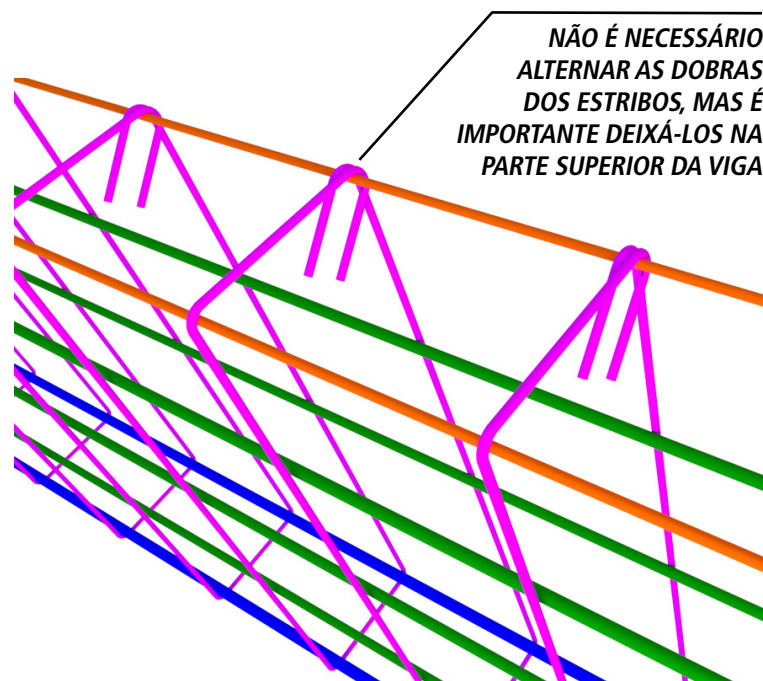


Figura 3.10
Detalhe das dobras dos estribos em vigas

GANCHOS DOS ESTRIBOS

No capítulo 9 da *ABNT NBR 6118*, dois tipos de ganchos são apresentados: o em ângulo de 90° e o semicircular ou em ângulo de 45°.

Gancho em ângulo reto (90°)

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

Gancho semicircular ou em ângulo 45°

De acordo com o capítulo 9 da *ABNT NBR 6118*, o gancho pode ser semicircular ou em ângulo interno de 45°. Sua ponta deve ter comprimento igual a $5 \phi_t$, mas não inferior a 5 cm. No capítulo 18 da *ABNT NBR 6118*, preconiza-se que os estribos para torção sejam fechados em todo o seu contorno. Eles devem envolver as barras das armaduras longitudinais de tração e suas extremidades devem ser adequadamente ancoradas através de ganchos em ângulo de 45°. Além disso, conforme Leonhardt e Mönnig (1978), no caso de vigas contínuas com seção retangular, os estribos devem envolver completamente a armadura longitudinal.

Teoricamente, os estribos com gancho em ângulo de 45° atendem a muitos casos de dimensionamento, mas os estribos com gancho em ângulo de 90° facilitam a montagem da armadura. Assim, deve-se tomar o devido cuidado na escolha do gancho do estribo.

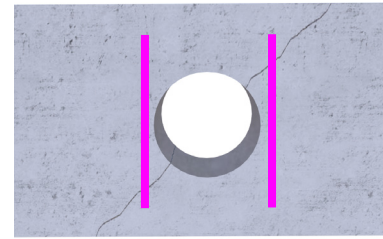
É importante lembrar que não há necessidade de alternar as dobras dos estribos, mas sempre deixá-las na parte superior da viga (**Figura 3.10**).

REFORÇO DE FUROS

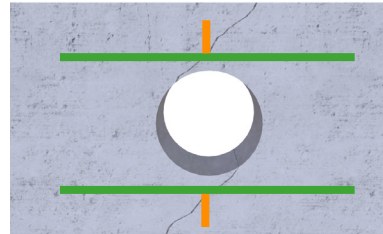
No capítulo 21 da *ABNT NBR 6118*, preconiza-se que os elementos estruturais cujo projeto exige a presença de aberturas sejam detalhados e calculados considerando as tensões que se concentram em torno dessas aberturas. Este detalhamento deve prever tanto as armaduras para resistir às forças de tração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

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

O furo em viga representa uma região com rigidez reduzida, suscetível ao aparecimento de fissuras. Desse modo, para controlar essas fissuras, que podem atravessar o furo ou passar por cima ou por baixo, conforme mostra a **Figura 3.11**, são colocadas armaduras para reforço. As **Figuras 3.12 e 3.13** mostram mais detalhes desses reforços.



ARMADURAS PARA FISSURAS PASSANDO PELO FURO



ARMADURAS PARA FISSURAS ACIMA E ABAIXO DO FURO

Figura 3.11
Funções dos reforços de furos em vigas

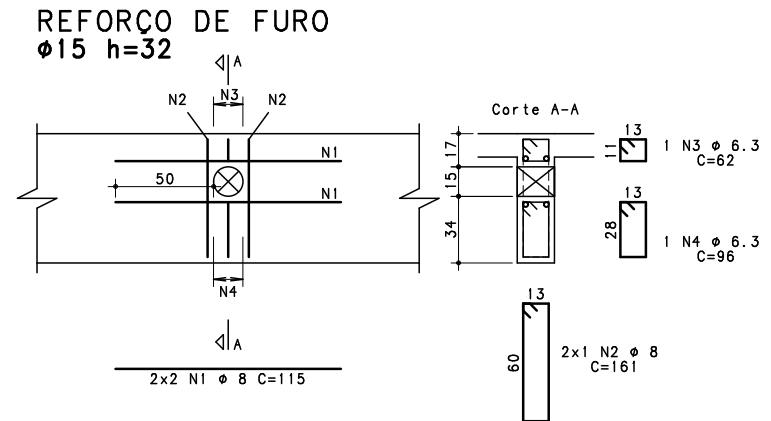


Figura 3.12
Detalhe em vista e corte do reforço de viga

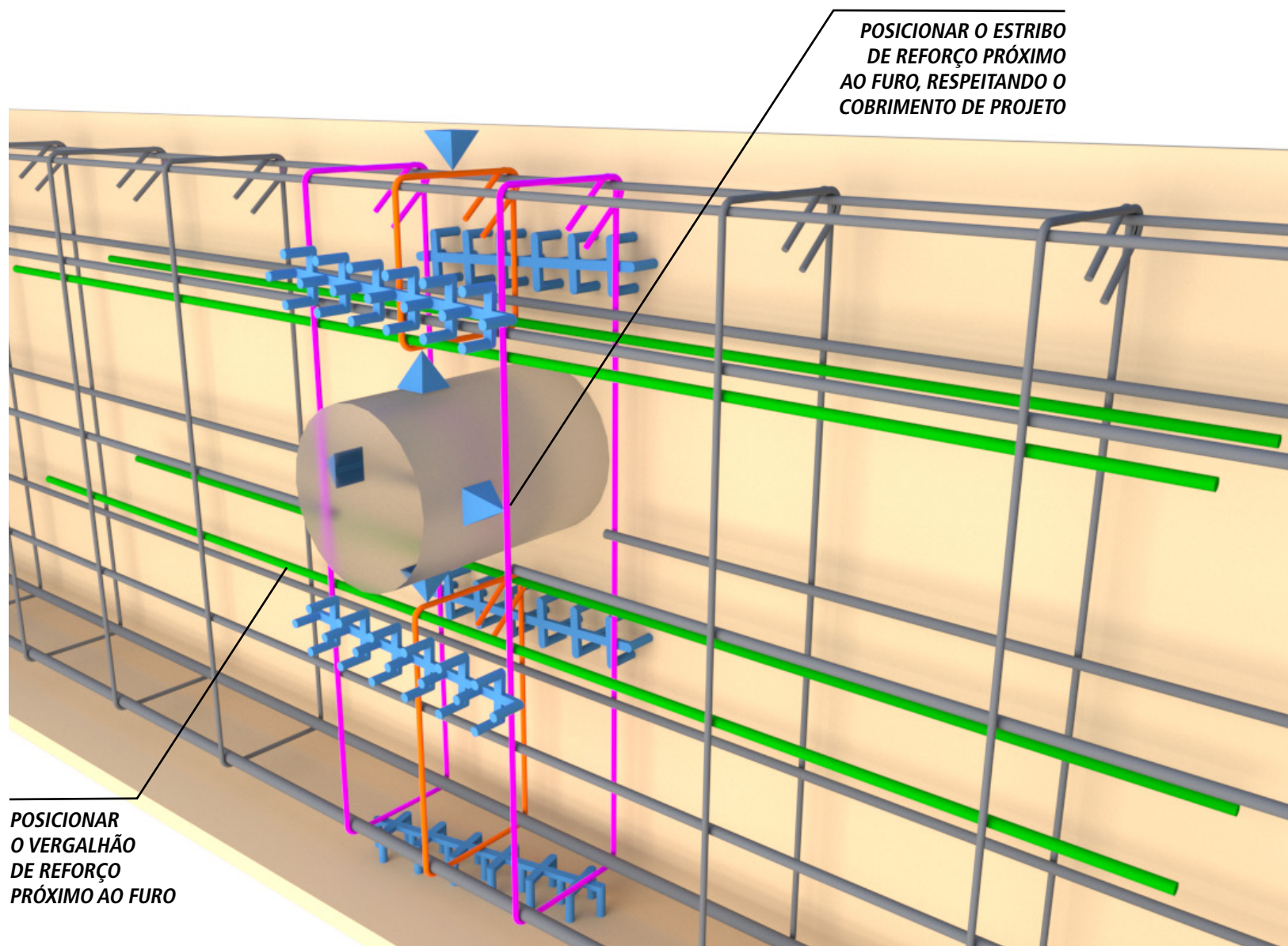
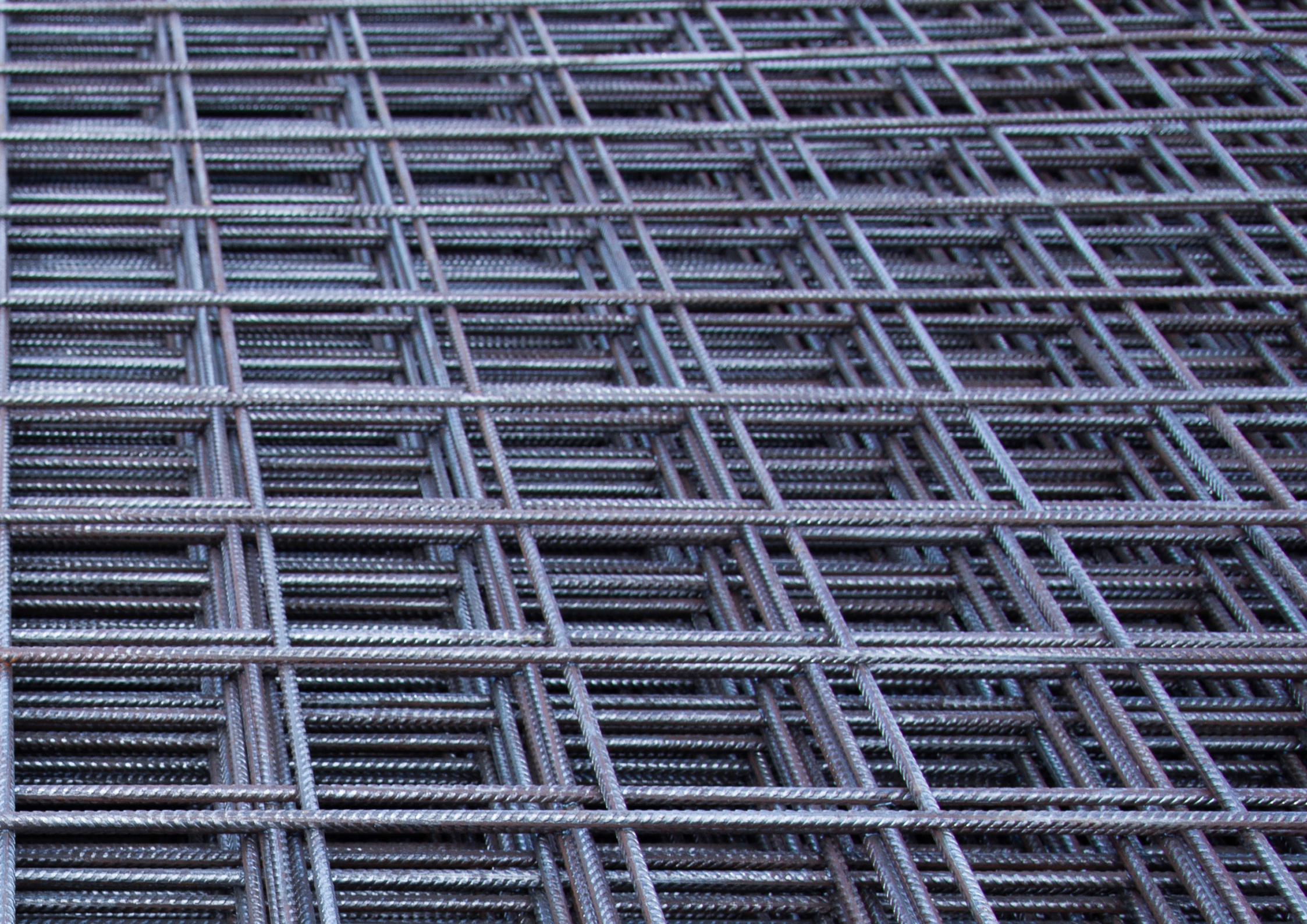


Figura 3.13
Posicionamento dos reforços de furos em vigas



MANUAL DE BOAS PRÁTICAS

CAPÍTULO 4
Armaduras
de lajes



ESPAÇADORES EM LAJES

Cada obra deverá encontrar o posicionamento e as distâncias entre os espaçadores que respeitem os cobrimentos definidos em projeto. Nas **Figuras 4.1 e 4.2**, são sugeridas duas formas de posicionamento dos espaçadores.

Independentemente das distâncias entre os espaçadores, no capítulo 8 da *ABNT NBR 14931*, preconiza-se que a montagem da armadura seja feita por amarração, utilizando arames. A distância entre pontos de amarração das barras das lajes deve ter afastamento máximo de 35 cm.

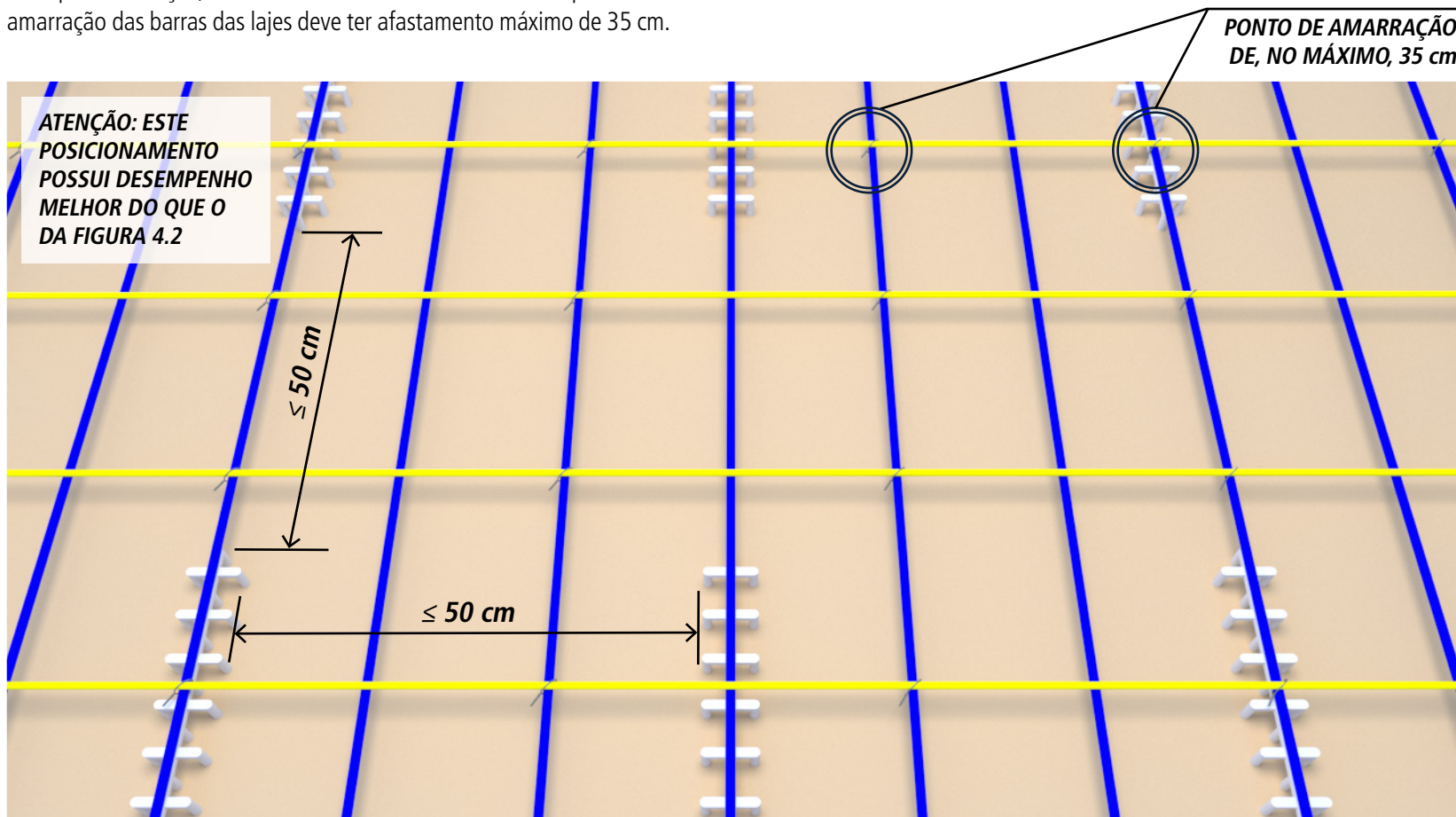


Figura 4.1
Sugestão de posicionamento dos espaçadores em lajes - espaçadores longitudinais às barras

Caso a armadura seja muito densa (pesada) e as duas opções de posicionamento de espaçadores tipo centopeia não permitam que o cobrimento nominal de projeto seja respeitado, sugerimos o uso de espaçadores de argamassa/concreto (Figura 1.7) ou de espaçadores tipo centopeia combinado (Figura 1.6).

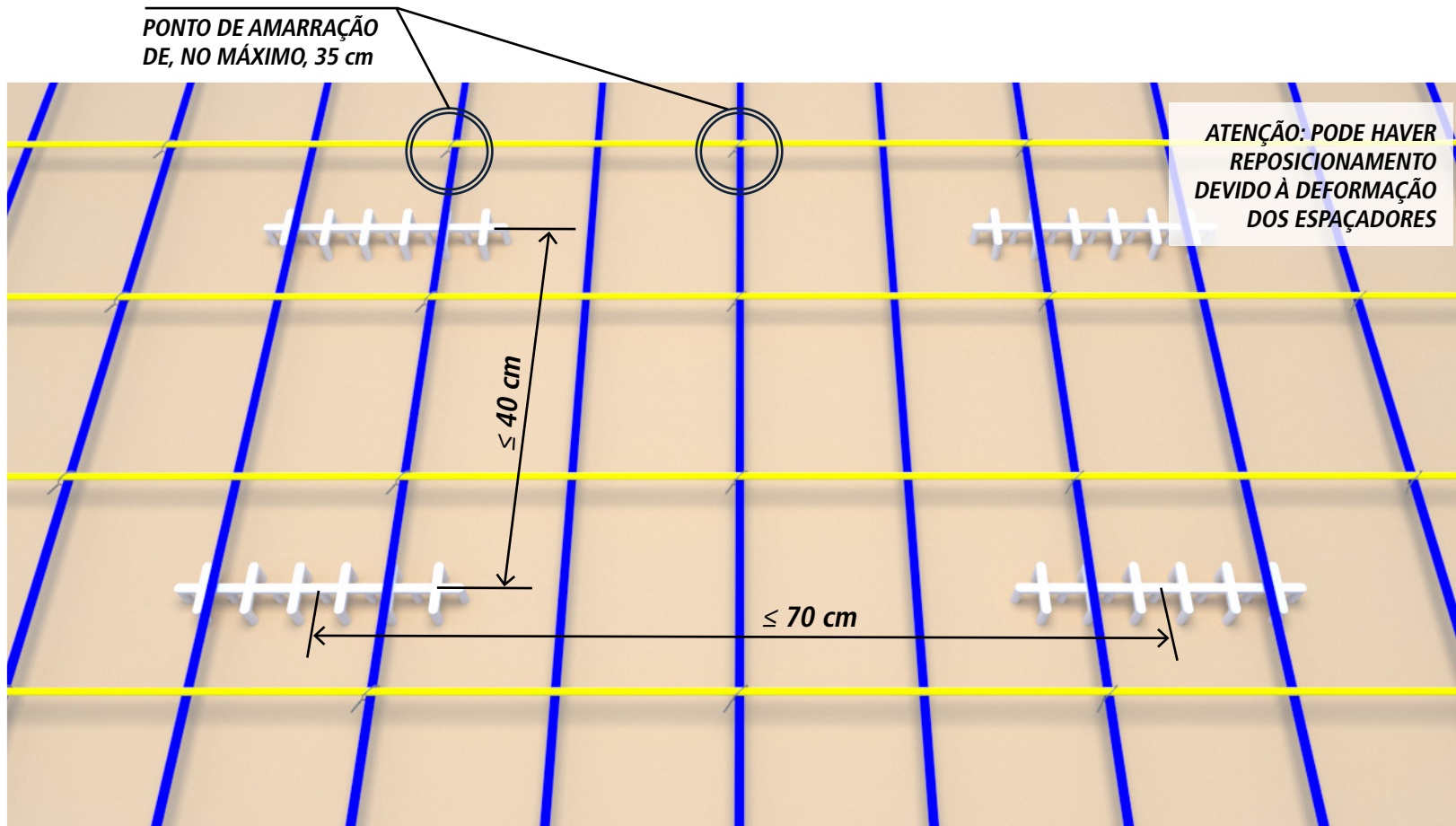


Figura 4.2
Sugestão de posicionamento dos espaçadores em lajes - espaçadores transversais às barras

ARMADURAS POSITIVAS

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

A sequência detalhada de posicionamento das armaduras positivas pode ser conferida nas **Figuras 4.5 a 4.8** nas próximas páginas.

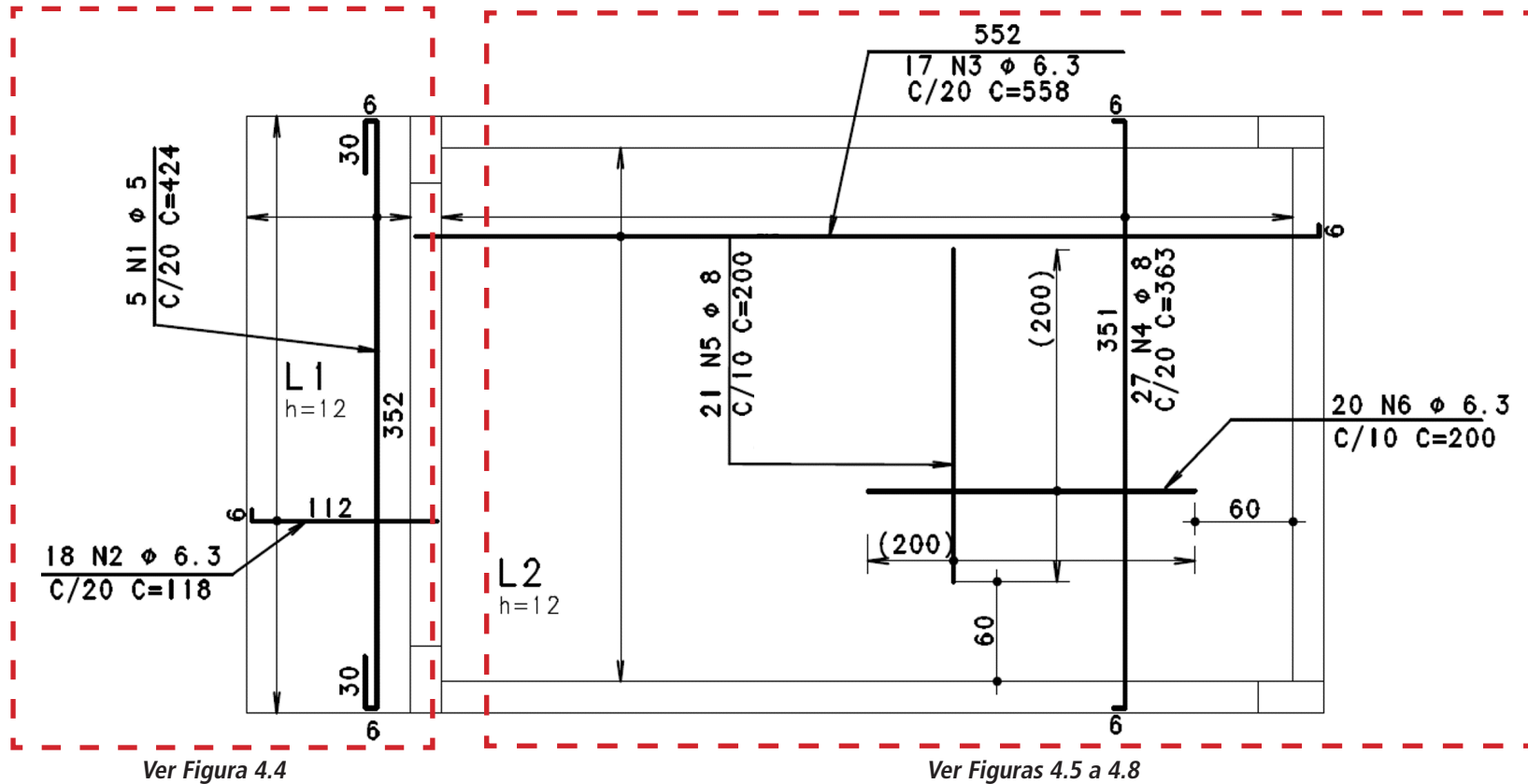


Figura 4.3
Projeto da armadura positiva da laje



VER POSICIONAMENTO DAS ARMADURAS POSITIVAS NAS FIGURAS 4.5 A 4.8

SEMPRE DIRECIONAR O GANCHO PARA CIMA

RESPEITAR O COBRIMENTO DE PROJETO

REFORÇO DE BORDA
VER FIGURA 4.12

POSICIONAR A PATA DUPLA PRÓXIMA À FACE SUPERIOR DA LAJE, RESPEITANDO O COBRIMENTO SUPERIOR

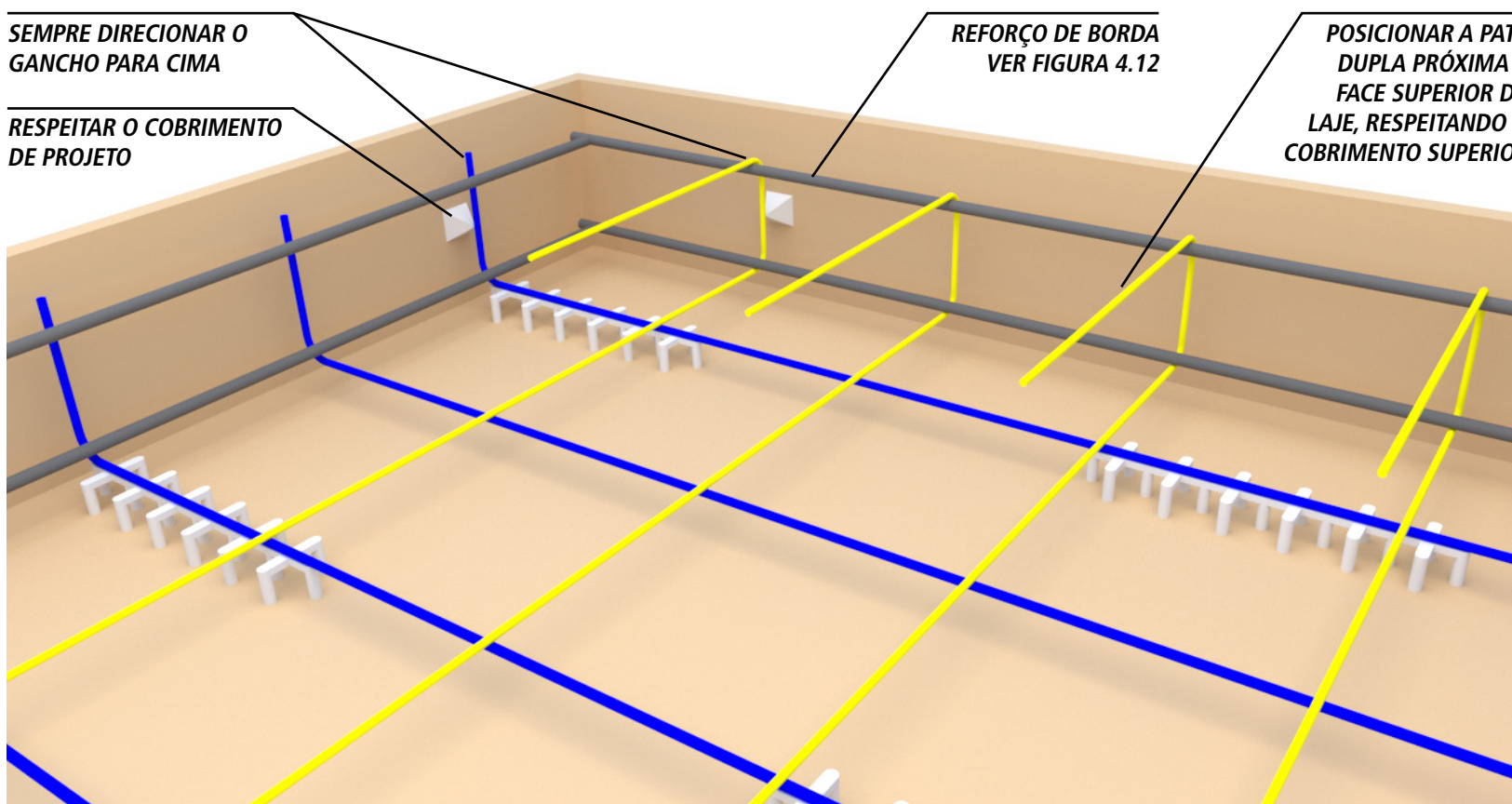


Figura 4.4
Posicionamento da armadura positiva de laje

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

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

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

Ressaltamos que as armaduras nas próximas imagens estão nomeadas e posicionadas conforme a planta do projeto representada na **Figura 4.3**.

ETAPA 1 | Armadura de Base - 1ª Camada (Figura 4.5):

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

ETAPA 2 | Armadura Complementar - 1ª Camada (Figura 4.6):

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

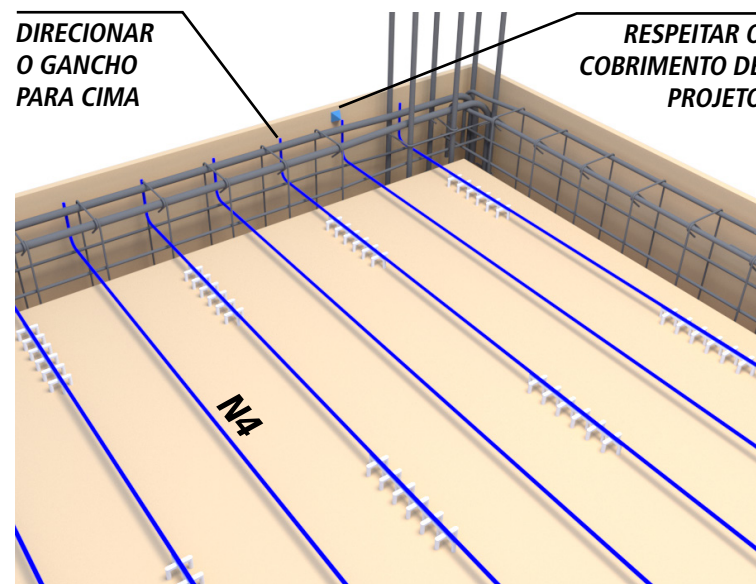


Figura 4.5
ETAPA 1 | Armadura de base - 1ª camada

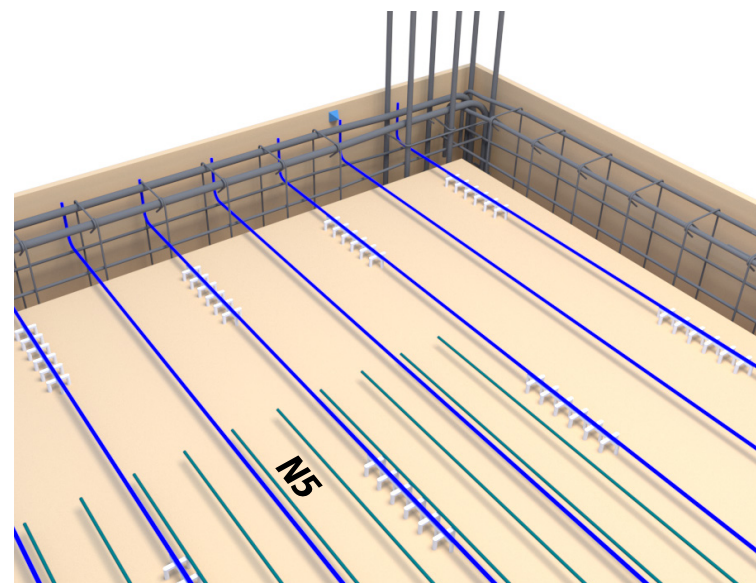


Figura 4.6
ETAPA 2 | Armadura complementar - 1ª camada

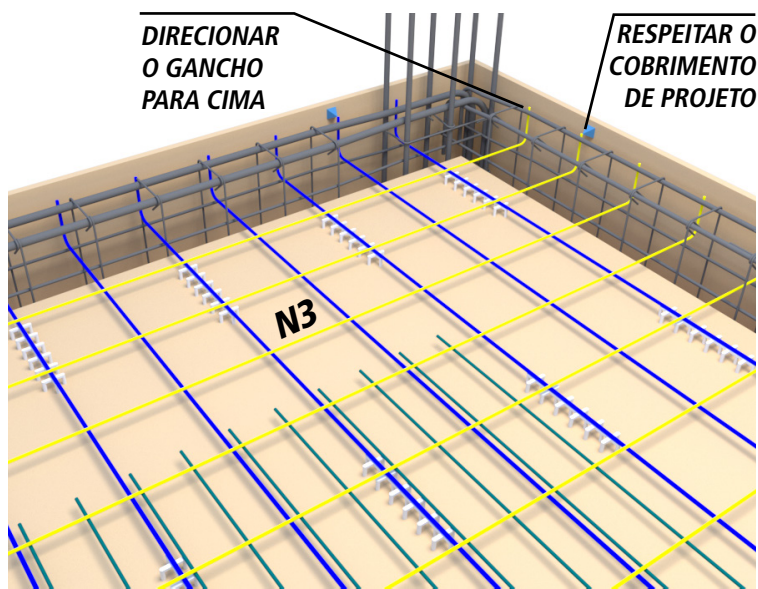


Figura 4.7
ETAPA 3 | Armadura de base - 2ª camada

ETAPA 3 | Armadura de Base - 2ª camada (Figura 4.7):

- posicionar a armadura de base da outra direção

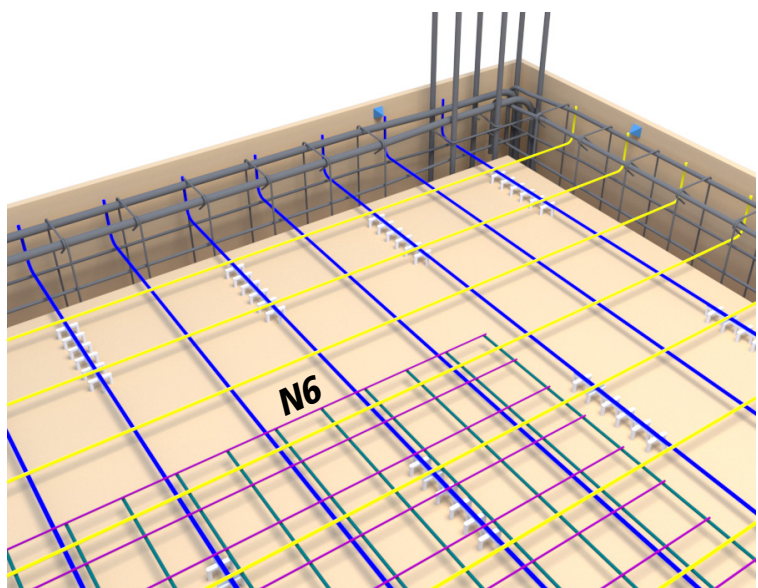


Figura 4.8
ETAPA 4 | Armadura complementar - 2ª camada

ETAPA 4 | Armadura Complementar - 2ª camada (Figura 4.8):

- posicionar a armadura complementar da outra direção

ARMADURAS POSITIVAS APOIANDO EM UMA VIGA INVERTIDA

Quando uma laje apoia sobre uma viga, devemos garantir que a armadura positiva da laje estenda-se dentro da viga, apoiando-se sobre ela. No caso da viga invertida, é importante pensar da mesma forma (**Figura 4.10**).

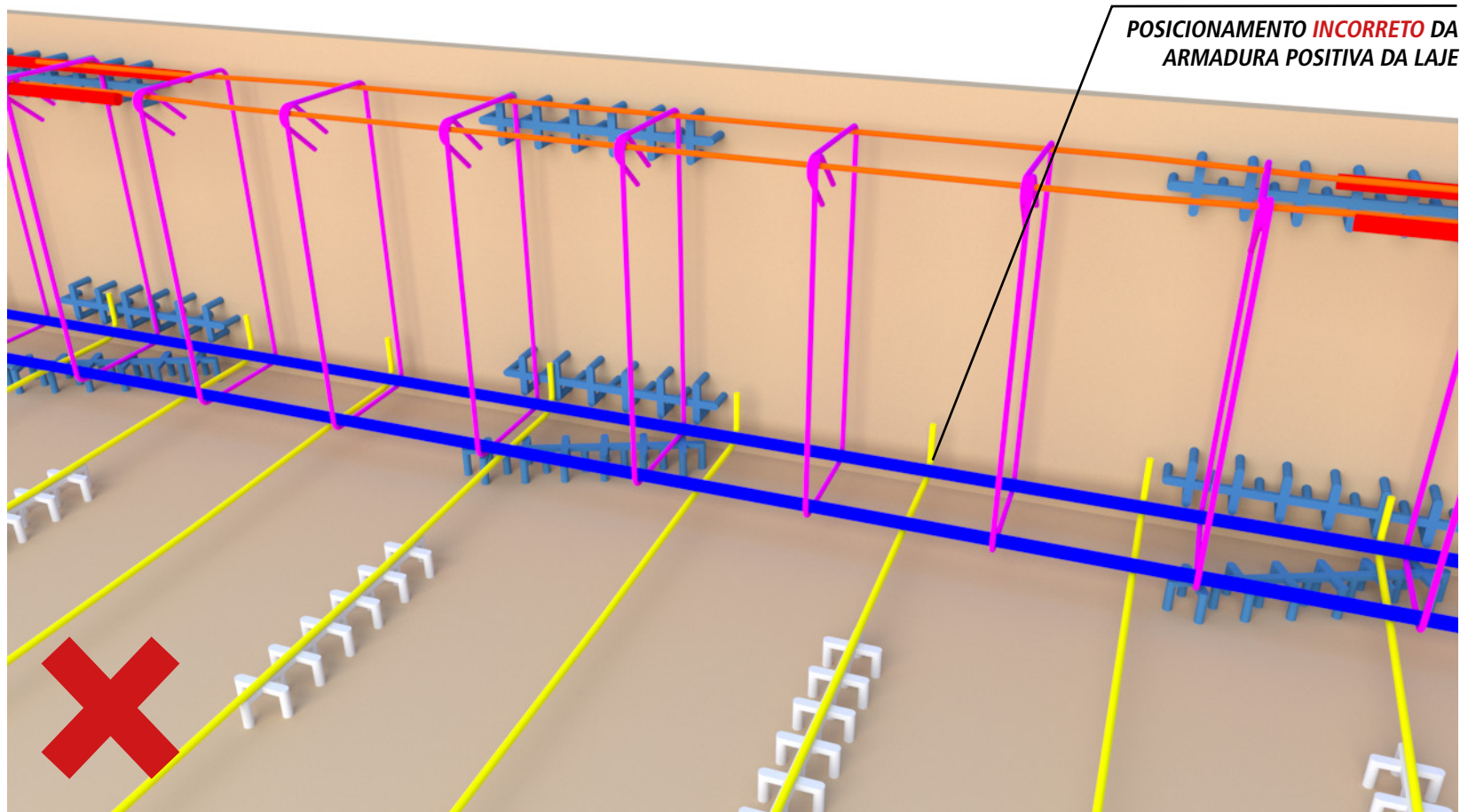


Figura 4.9
Armadura positiva de laje NÃO apoiando na viga - Posicionamento **incorreto**

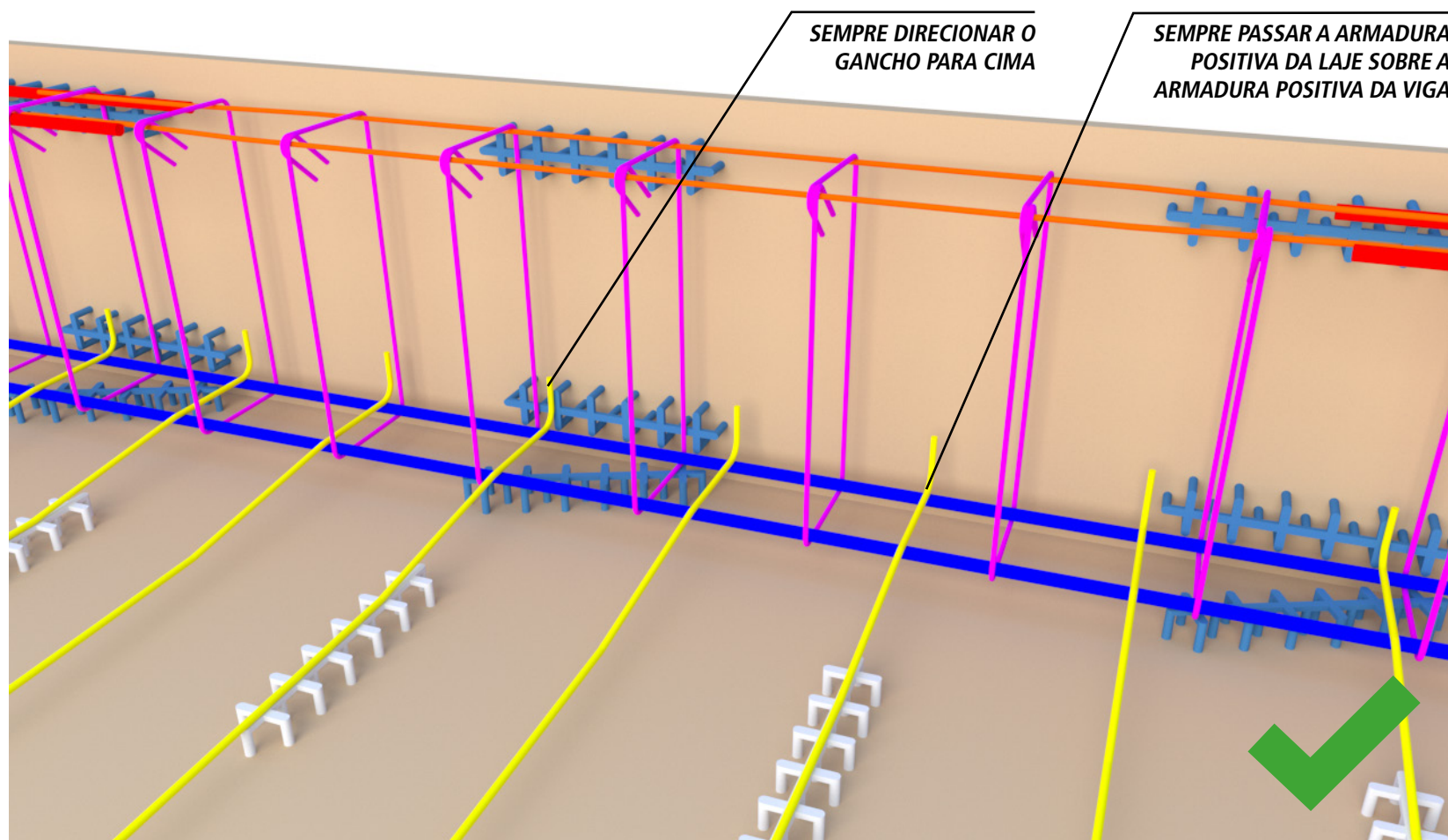


Figura 4.10
Armadura positiva da laje apoiando na viga - Posicionamento **correto**

ARMADURAS NEGATIVAS

A armadura negativa da laje deve ser posicionada sobre os espaçadores treliçados para que o cobrimento superior da laje seja respeitado. Para controlar as fissuras de retração do concreto e para distribuir os esforços de momento fletor negativo nas armaduras negativas, recomenda-se o uso da armadura negativa de distribuição (Figura 4.11).

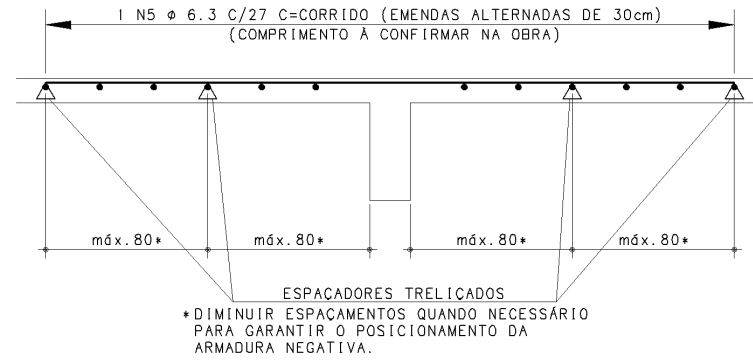


Figura 4.11
Projeto da armadura negativa de distribuição

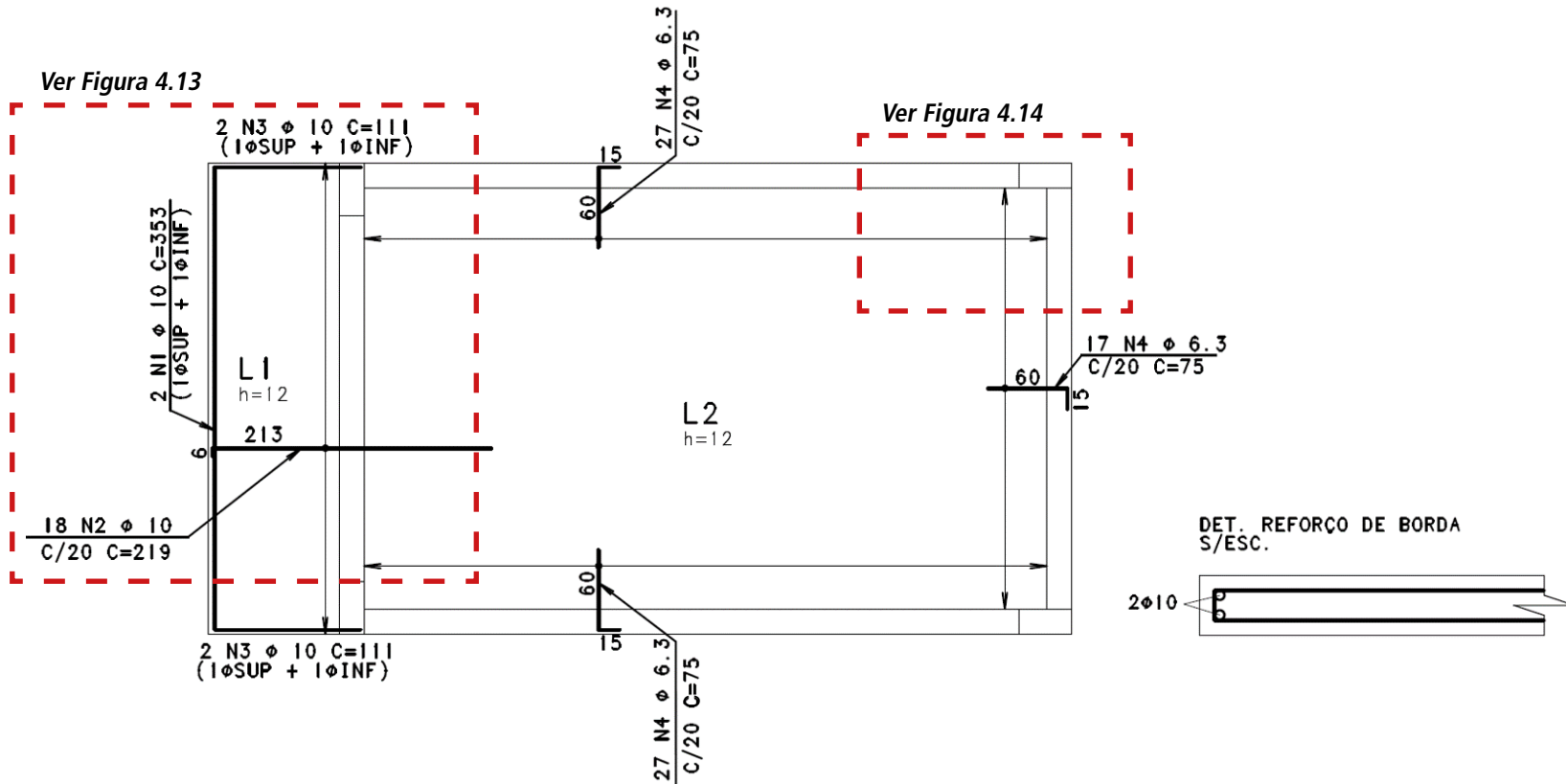


Figura 4.12
Projeto da armadura negativa da laje

A **Figura 4.13** mostra um exemplo detalhado do posicionamento das armaduras negativas de laje em balanço com continuidade.

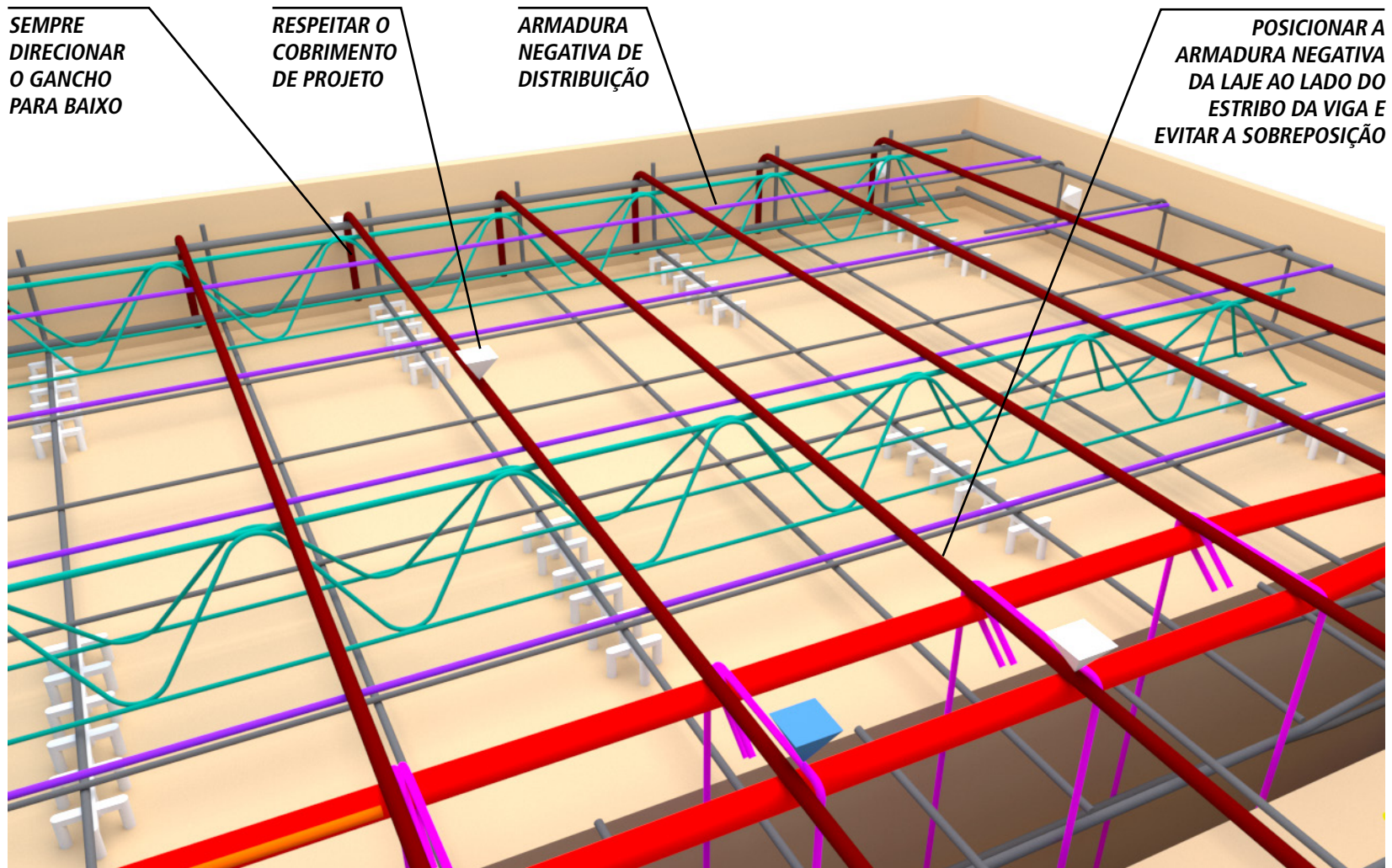


Figura 4.13
Posicionamento das armaduras negativas de laje em balanço com continuidade

CAPÍTULO 4

ARMADURAS DE LAJES

Já na **Figura 4.14**, é possível observar o posicionamento das armaduras negativas de borda.

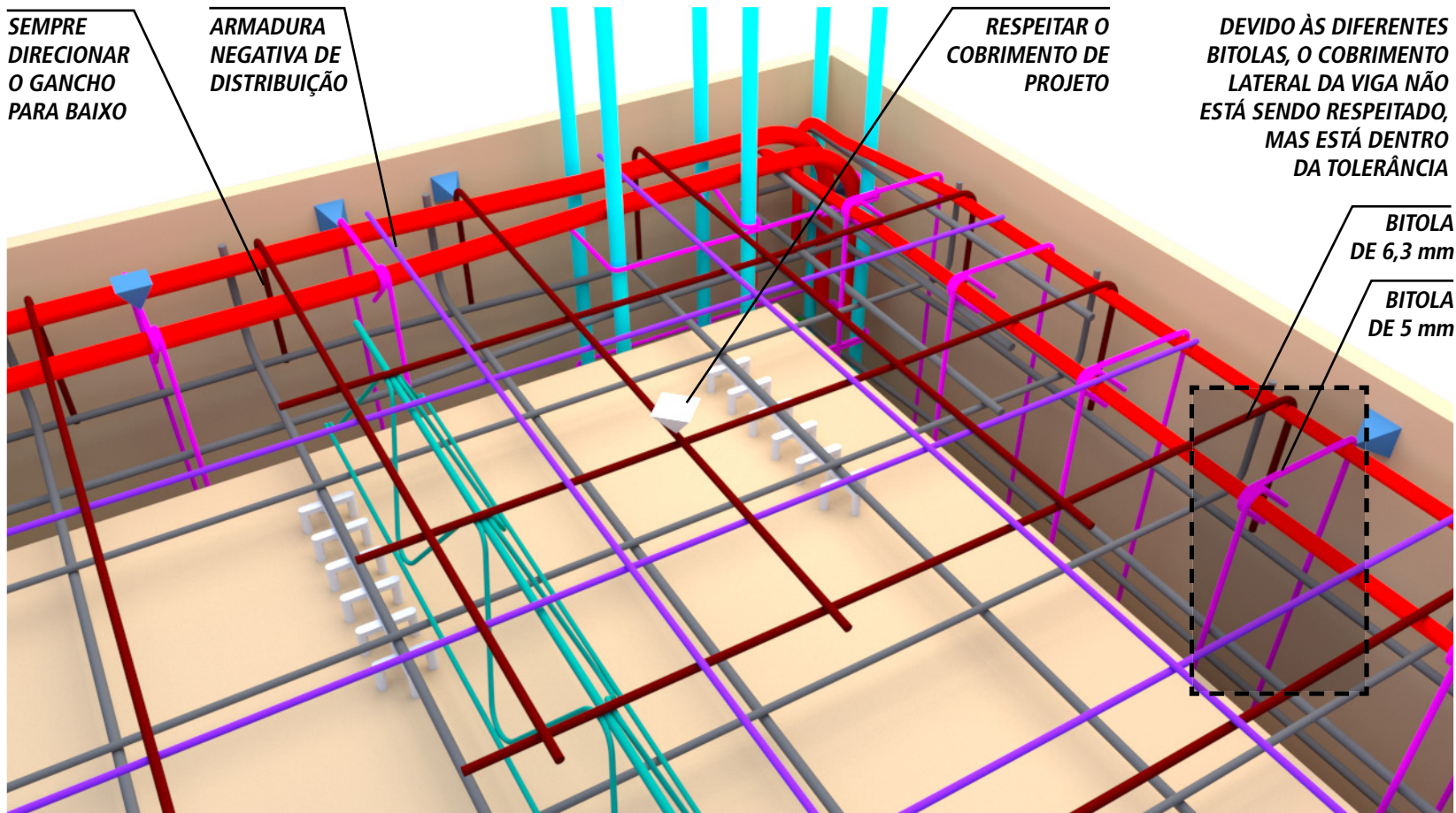
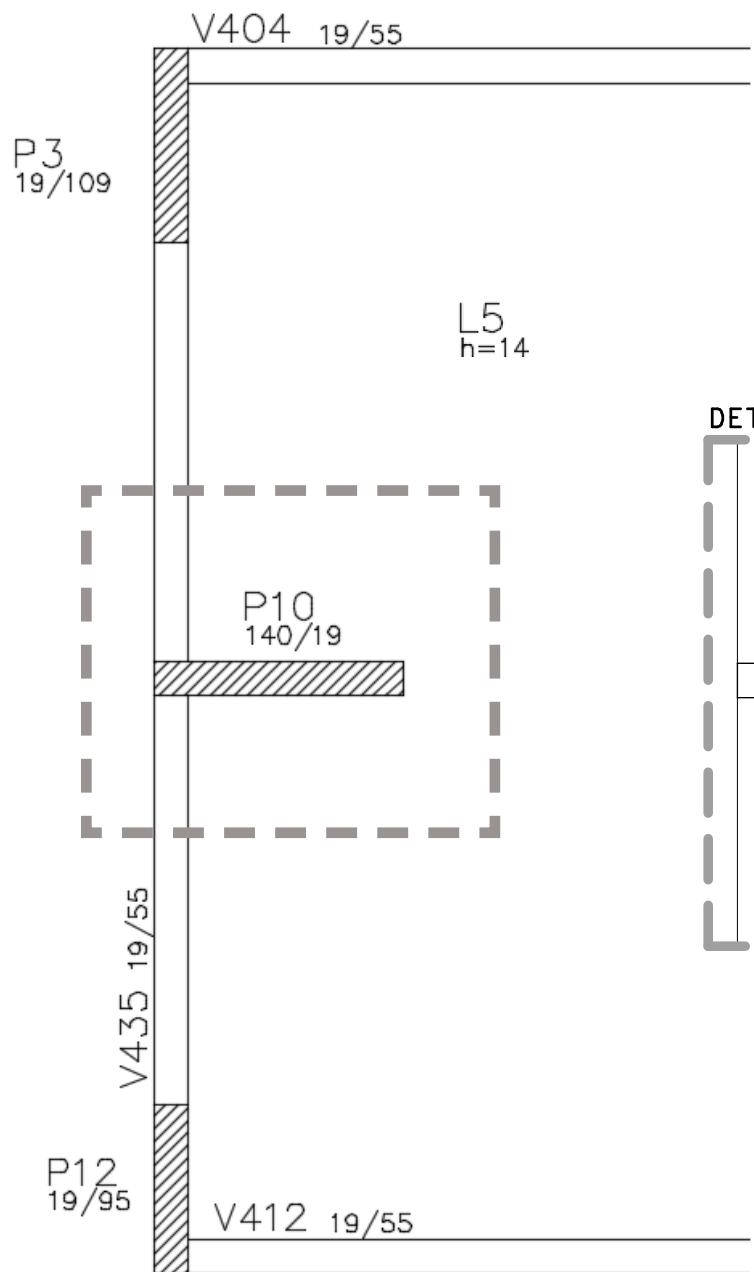


Figura 4.14
Posicionamento das armaduras negativas de borda



ARMADURAS CONTRA FORÇA CORTANTE

Existem diversas formas de detalhar as armaduras para resistir às forças de tração oriundas da força cortante. Nas **Figuras 4.15 e 4.16**, exemplificamos o detalhamento com vergalhões em formato "cavelete". Neste caso, studs ou gaiolas não são adequados por conta da dimensão da laje.

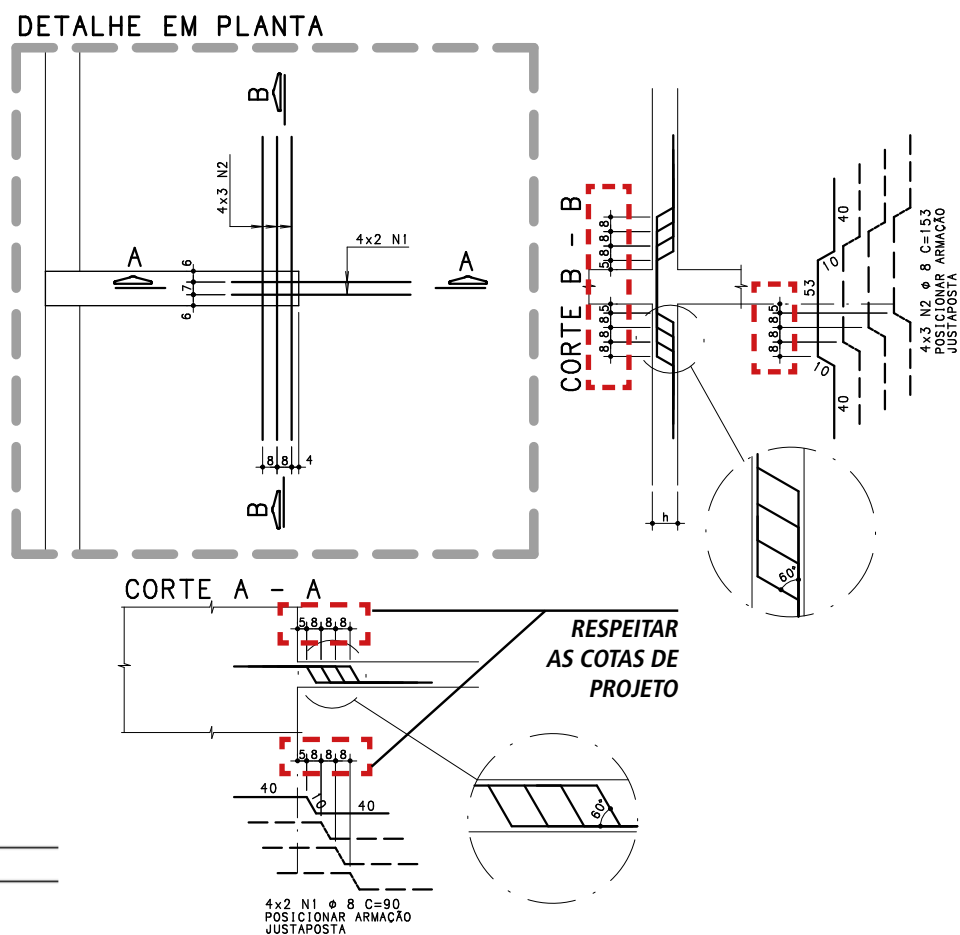


Figura 4.15
 Forma e armadura negativa de laje, com o detalhe da armadura contra força cortante

CAPÍTULO 4

ARMADURAS DE LAJES

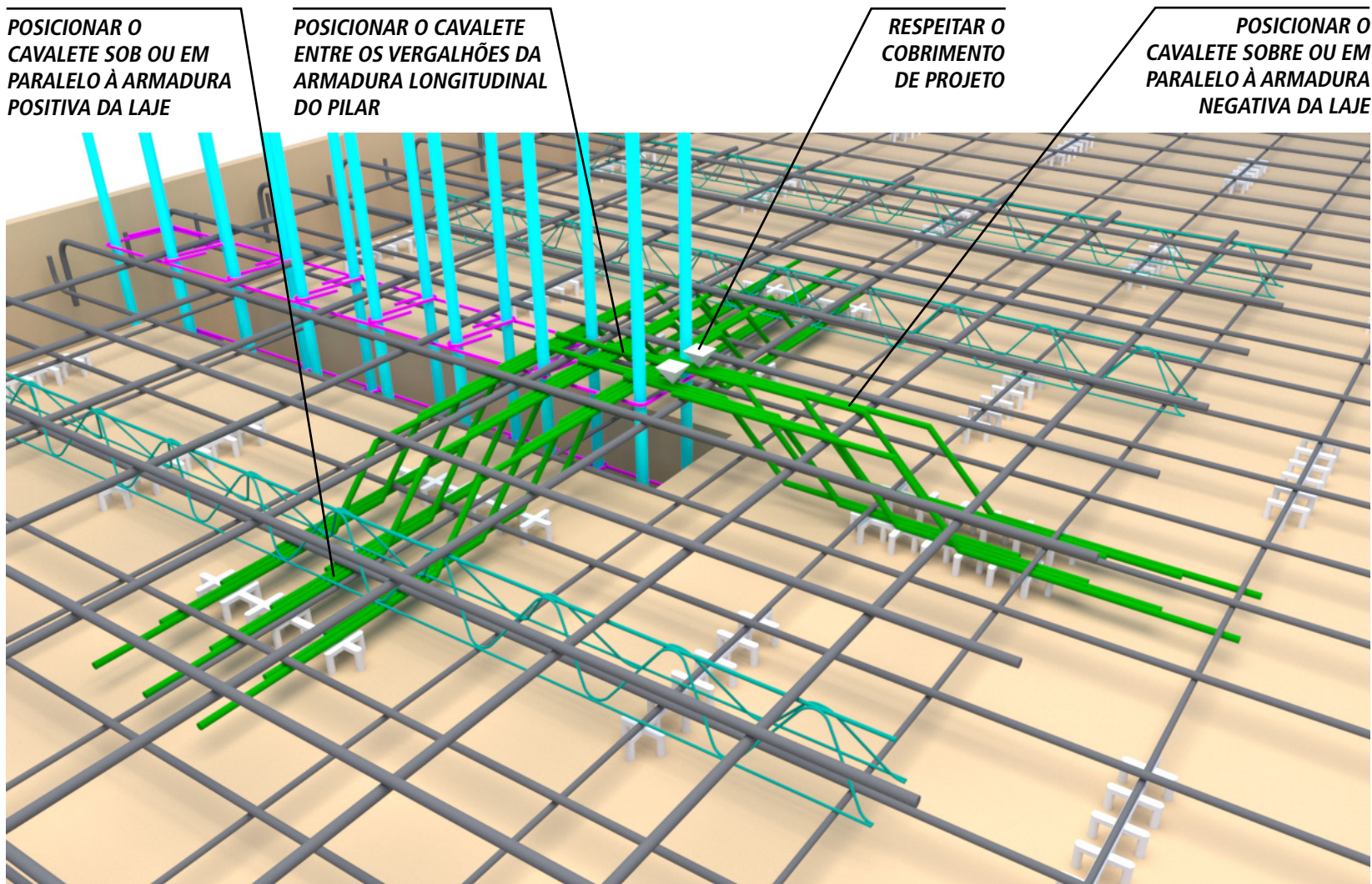


Figura 4.16
Exemplo de armadura em "cavelete"

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

Nesta página, contemplamos os detalhes sobre as emendas das telas soldadas. Caso a emenda fique maior que a recomendada na **Figura 4.19**, recomendamos cortar a tela de forma que mantenha a emenda mínima.

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

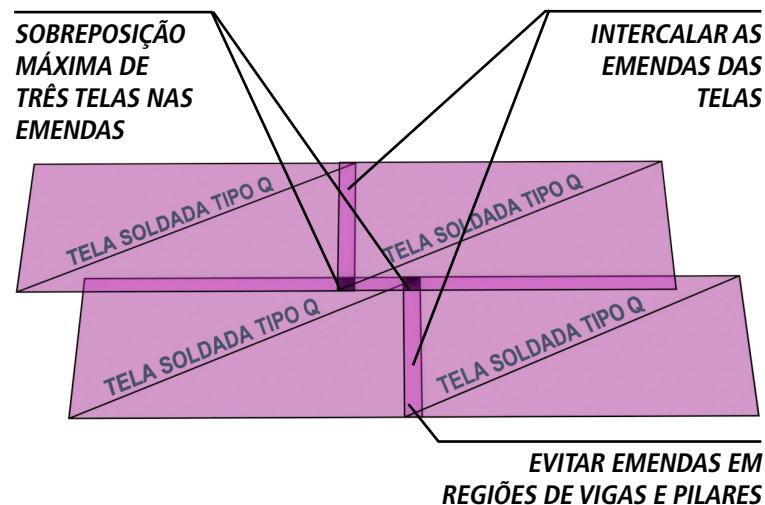


Figura 4.18
Posicionamento das emendas das telas

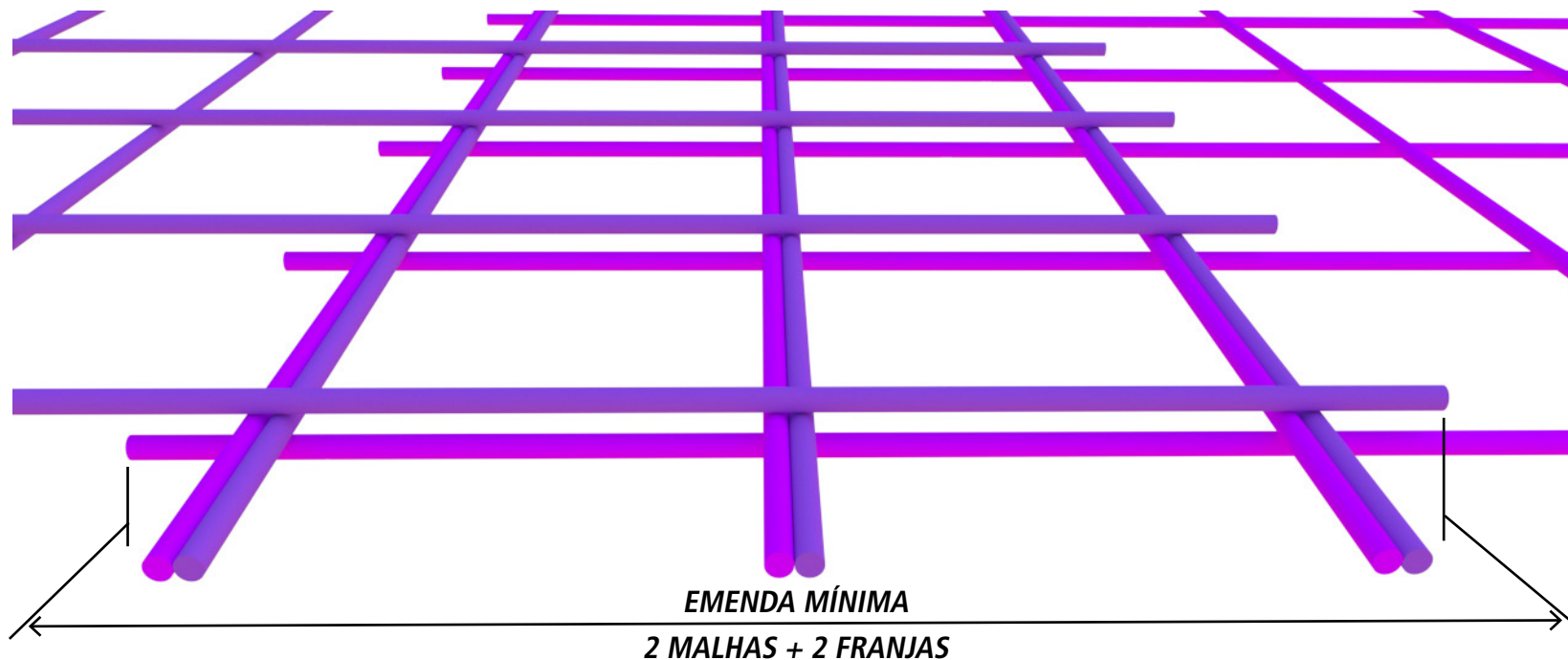


Figura 4.19
Detalhe das emendas

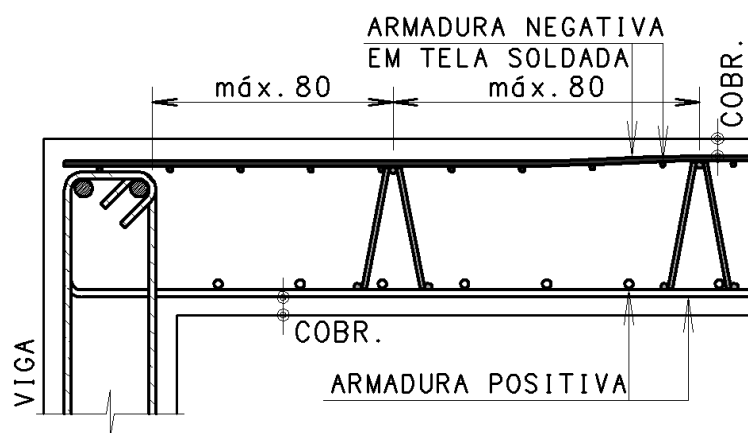


Figura 4.20
ETAPA 1 | Posicionamento da armadura negativa em tela soldada em apoio externo

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

Nas **Figuras 4.20, 4.21, 4.23 e 4.24**, exemplificamos a sequência de montagem da armadura negativa para situações comuns em projeto. Nas **Figuras 4.22 e 4.25**, mostramos as situações finais da montagem.

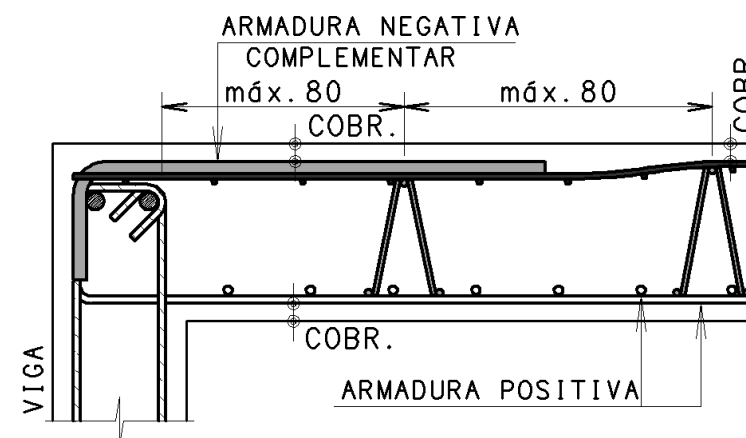


Figura 4.21
ETAPA 2 | Posicionamento da armadura negativa complementar em apoio externo

CAPÍTULO 4

ARMADURAS DE LAJES

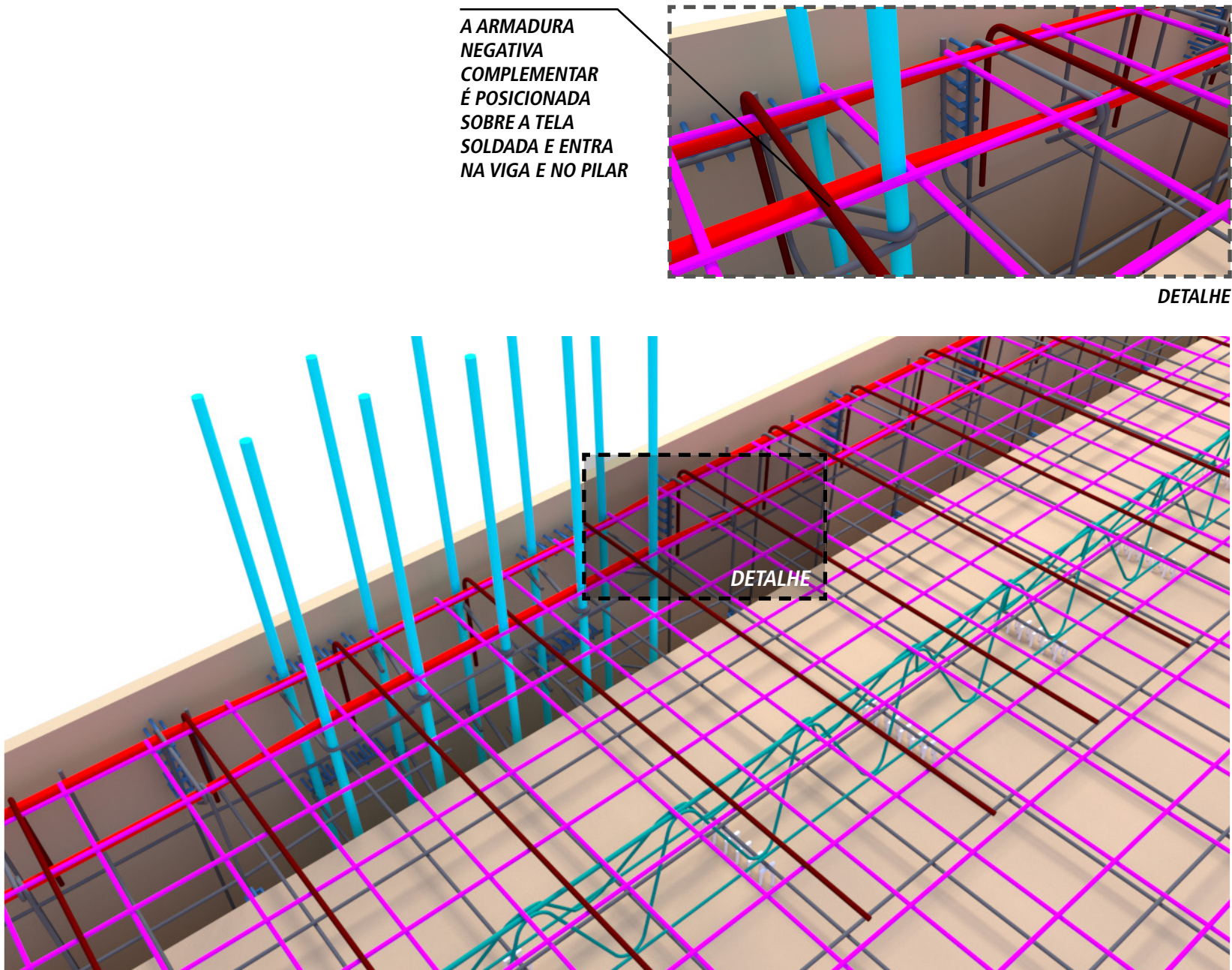


Figura 4.22
Situação final de montagem no encontro da laje com viga e pilar (apoio externo)

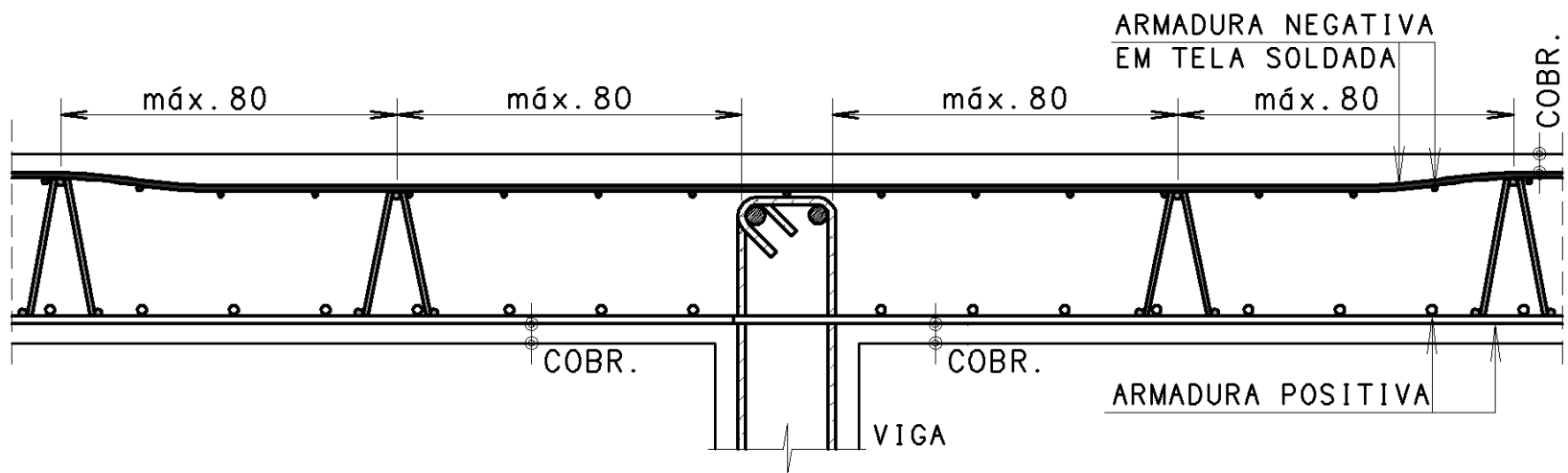


Figura 4.23
 ETAPA 1 | Posicionamento da armadura negativa em tela soldada em apoio interno

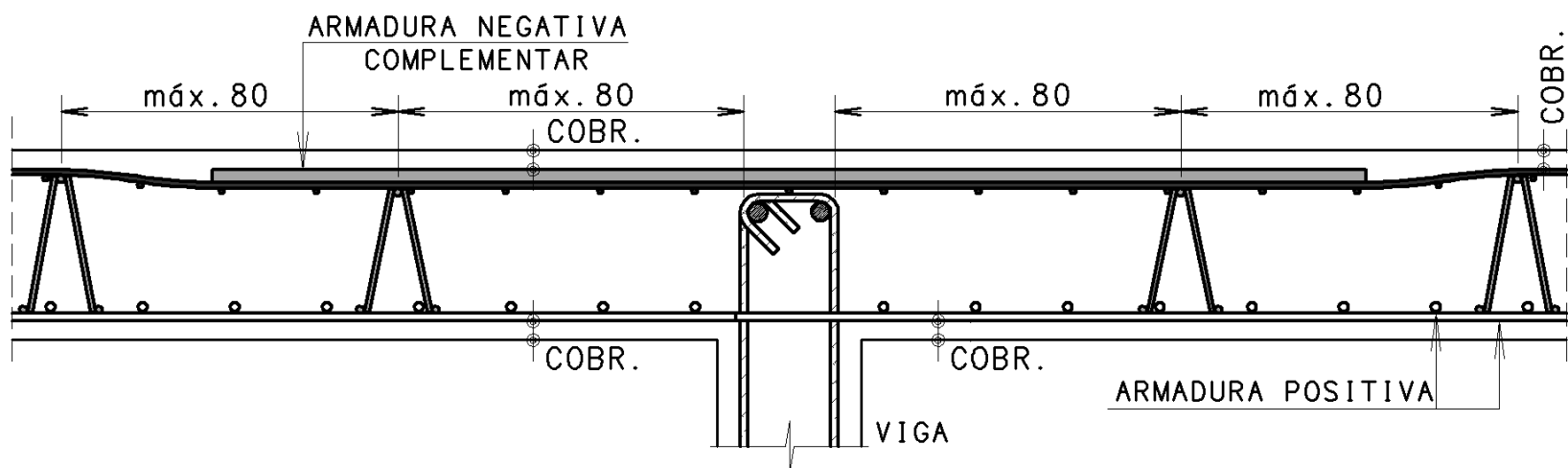
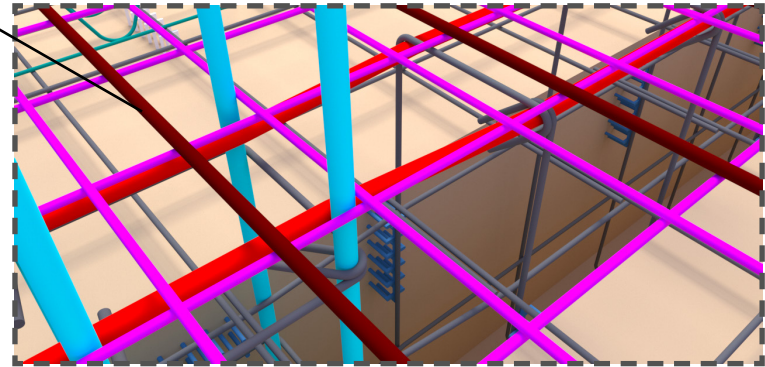


Figura 4.24
 ETAPA 2 | Posicionamento da armadura negativa complementar em apoio interno

CAPÍTULO 4

ARMADURAS DE LAJES

A ARMADURA NEGATIVA COMPLEMENTAR É POSICIONADA SOBRE A TELA SOLDADA E PASSA PELA VIGA E PELO PILAR



DETALHE

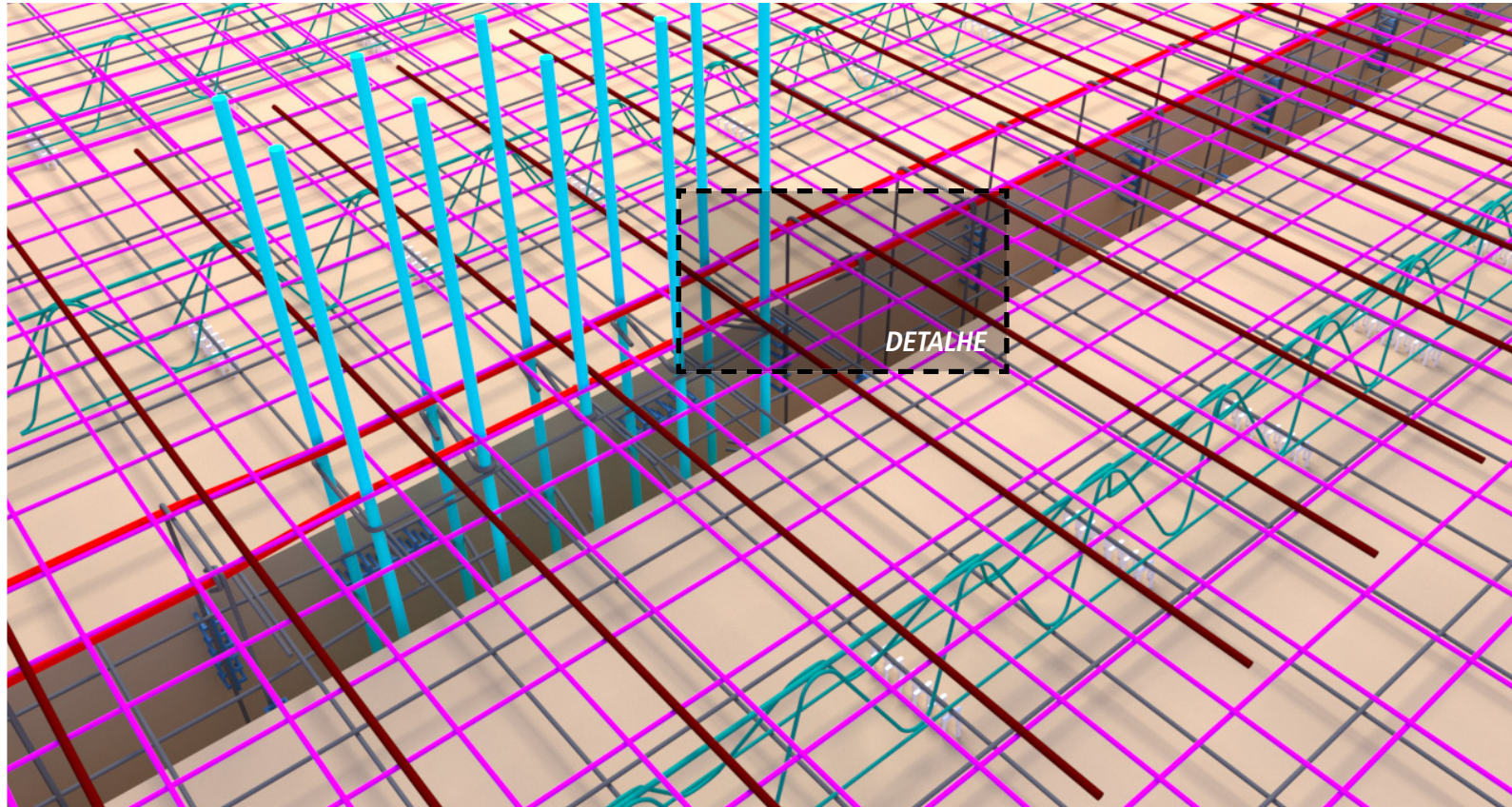


Figura 4.25
Situação final de montagem no encontro da laje com viga e pilar (apoio interno)



MANUAL DE BOAS PRÁTICAS

*CAPÍTULO 5
Armaduras de
lajes-cogumelo
e lajes lisas*



CONECTORES / STUDS

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

Existem múltiplos arranjos e formas de combater a punção, mas estudos apontam que a armadura de punção que possui melhor eficiência devido a sua ancoragem mecânica é a que utiliza double-headed studs (conectores de dupla cabeça) ou stud rail (conectores com cabeça em uma das extremidades e chapa na outra) (**Figura 5.2**).

Para o correto desempenho destes conectores, é de extrema importância respeitar o posicionamento correto indicado em projeto (**Figura 5.1**).

Os conectores possuem ligações em uma das extremidades para o posicionamento/distanciamento entre eles. Quando é realizada a montagem da laje-cogumelo ou laje lisa, podem-se colocar estas ligações dos conectores na face inferior ou superior da laje/capitel. No entanto, recomendamos o posicionamento destas ligações na face inferior da laje/capitel, pois desta forma possibilita-se o controle do cobrimento e do correto posicionamento da armadura positiva da laje/capitel sobre a cabeça do conector (**Figura 5.3**).

Já existem fornecedores no mercado que comercializam estes produtos. Recomenda-se que as dimensões dos conectores comercializados respeitem as indicações do relatório ACI 421.1R-08, elaborado pelo American Concrete Institute (2008).

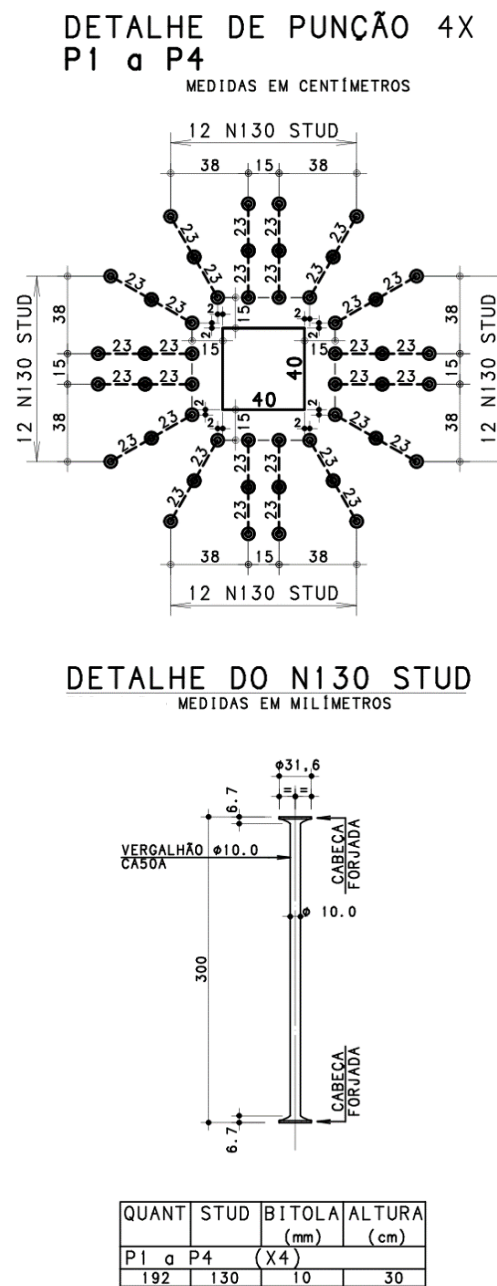


Figura 5.1
Exemplo de detalhamento do stud em projeto

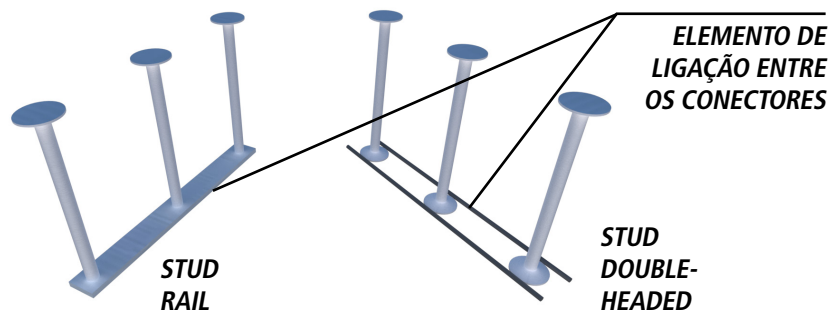


Figura 5.2
Tipos de studs e elementos que ligam os conectores

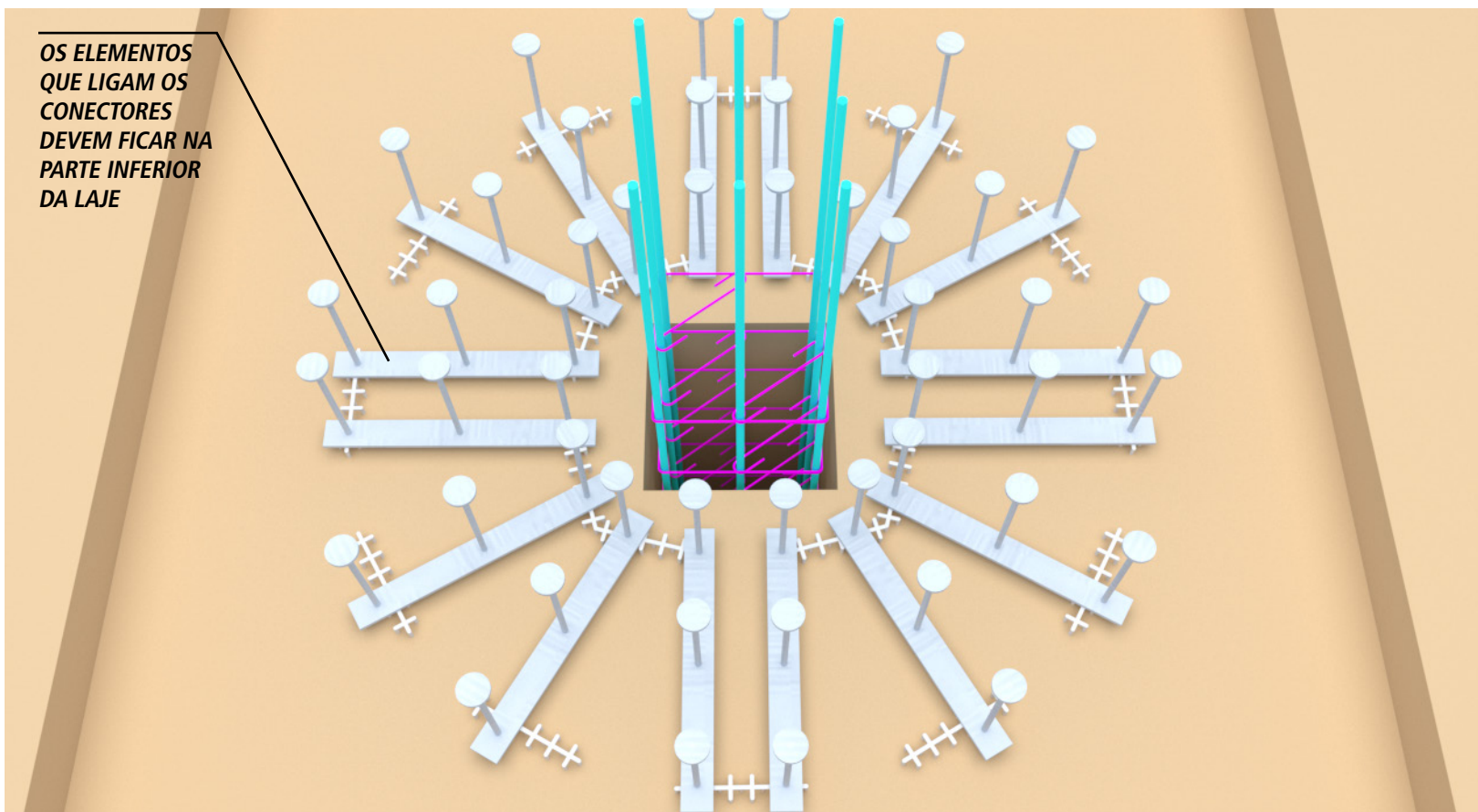


Figura 5.3
Posicionamento dos studs

ARMADURAS CONTRA COLAPSO PROGRESSIVO

Para manter a ductilidade local e a consequente proteção contra o colapso progressivo, deve-se respeitar o dimensionamento e a ancoragem indicados na *ABNT NBR 6118*.

Em relação ao posicionamento, devem-se colocar as armaduras contra colapso progressivo na face inferior da laje ou capitel e dentro da armadura longitudinal do pilar (**Figuras 5.4, 5.5, 5.10 e 5.12**), permitindo, assim, a resiliência da laje caso uma ruptura localizada por punção ocorra devido ao aumento abrupto do carregamento (NAKAJIMA et al., 2020).

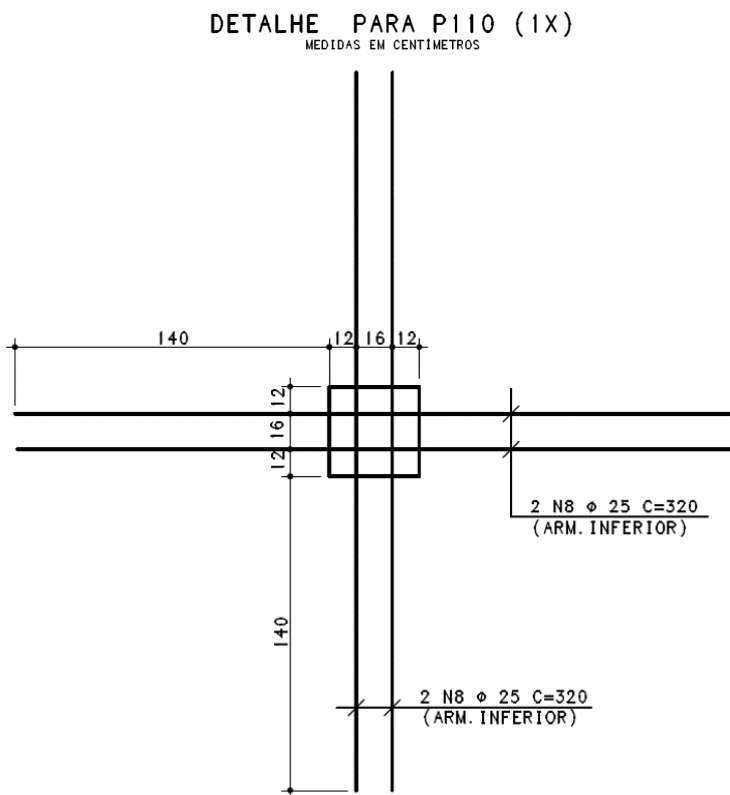


Figura 5.4
Exemplo de armadura contra colapso progressivo em projeto

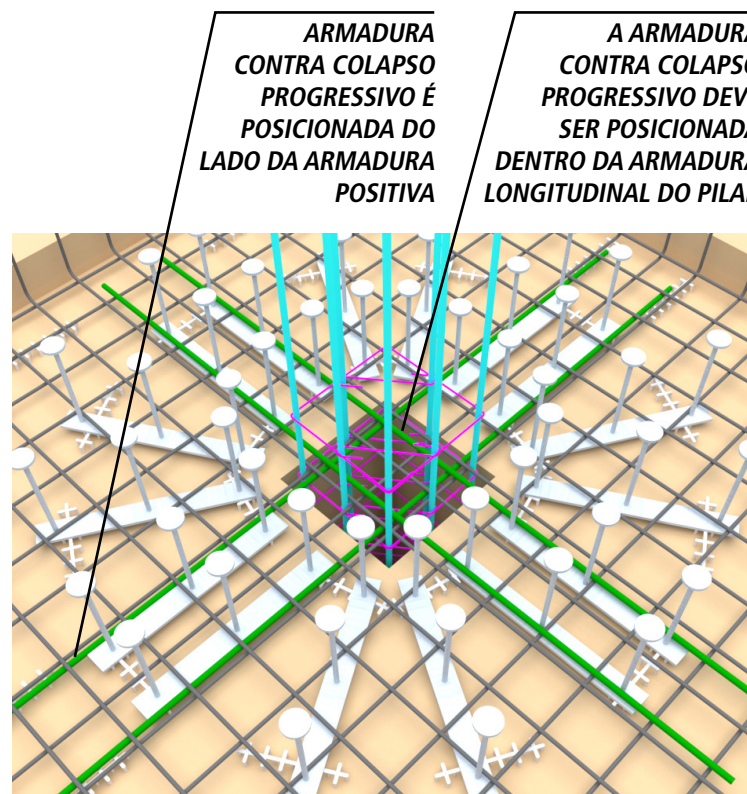


Figura 5.5
Detalhes das armaduras contra colapso progressivo

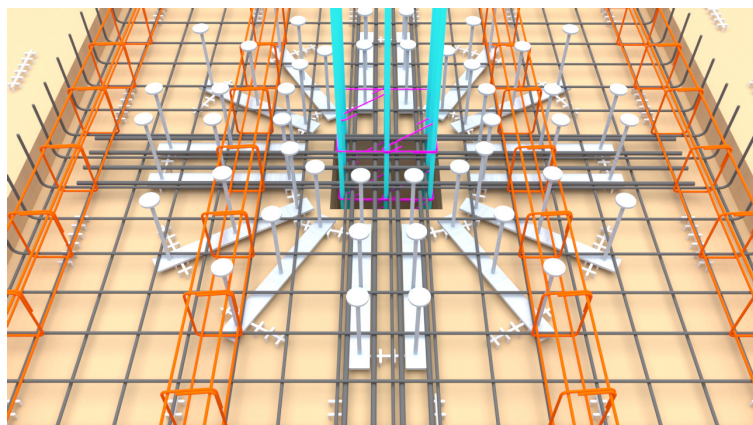


Figura 5.6
Detalhe do posicionamento das gaiolas

GAIOLAS PARA POSICIONAMENTO DA ARMADURA NEGATIVA

Em lajes ou capitéis que possuem altura superior a 35 cm ou com uma densidade alta da armadura negativa, sugerimos o uso de gaiolas para o posicionamento das armaduras negativas de lajes (**Figuras 5.6, 5.7 e 5.13**). Estas gaiolas - com altura coerente - posicionam a armadura negativa no lugar correto, contribuindo para que elas funcionem em conjunto com os studs.

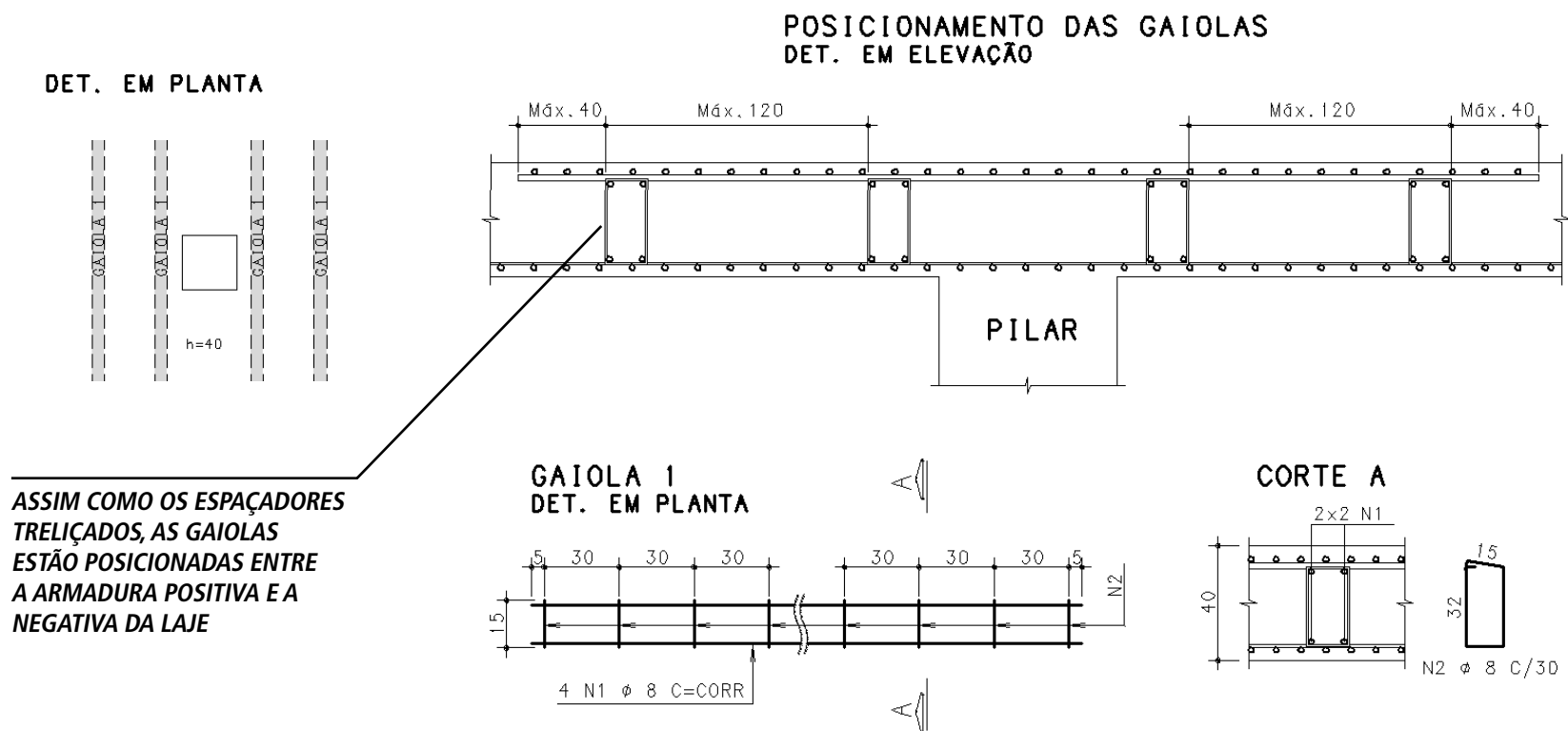


Figura 5.7
Detalhes das gaiolas

SEQUÊNCIA DE MONTAGEM DE LAJES-COGUMELO

Nas páginas a seguir (**Figuras 5.8 a 5.18**), é possível conferir a sequência de montagem das armaduras na região de encontro laje/capitel com o pilar.

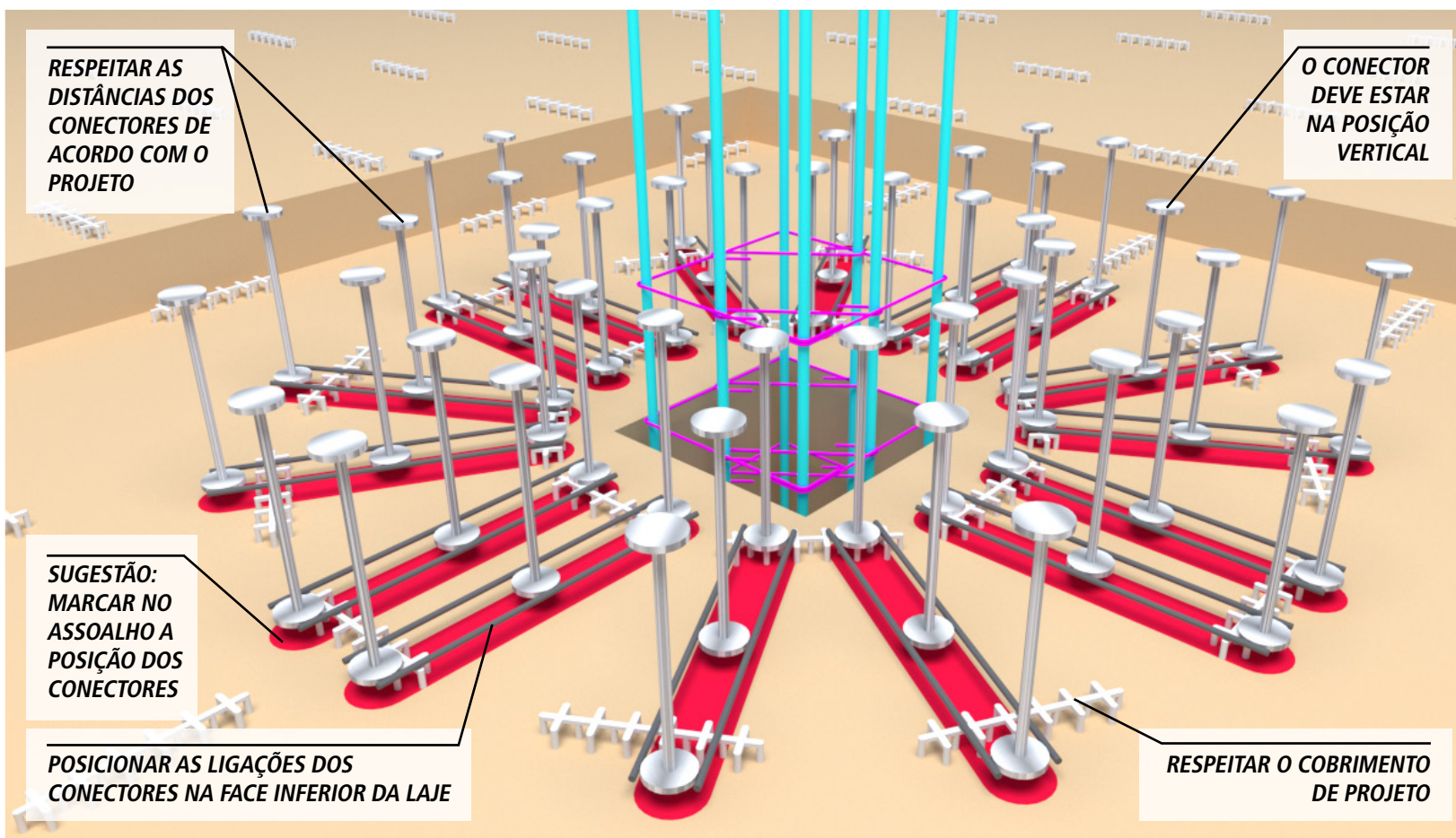
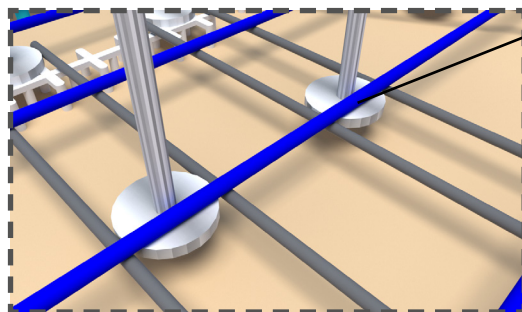
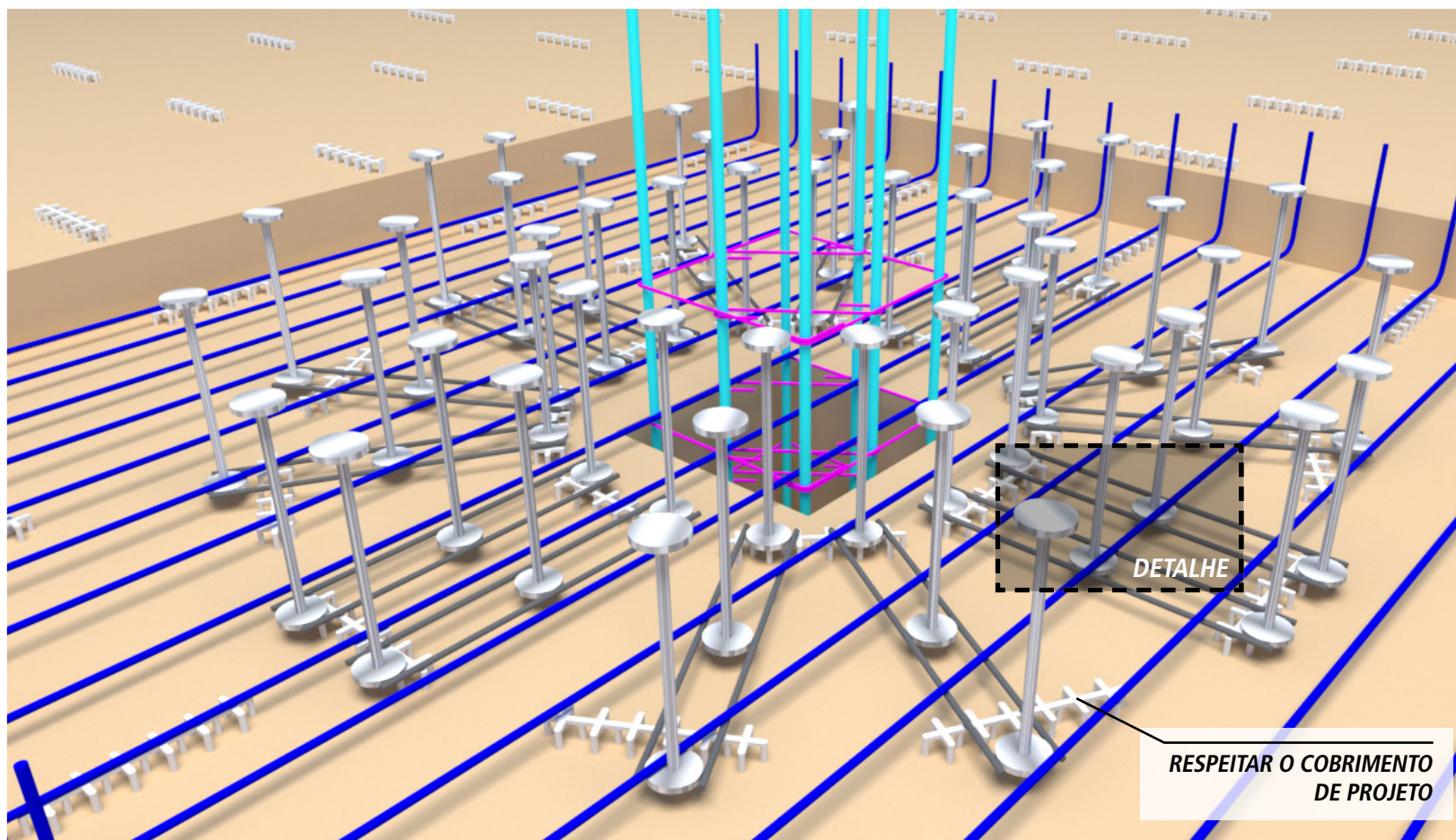


Figura 5.8
ETAPA 1 | Posicionamento dos conectores/studs



**POSICIONAR A
ARMADURA POSITIVA
EM CIMA DA CABEÇA
DOS CONECTORES**

DETALHE



**RESPEITAR O COBRIMENTO
DE PROJETO**

Figura 5.9
ETAPA 2 | Posicionamento das armaduras positivas da direção A do capitel

CAPÍTULO 5

ARMADURAS DE LAJES-COGUMELO E LAJES LISAS

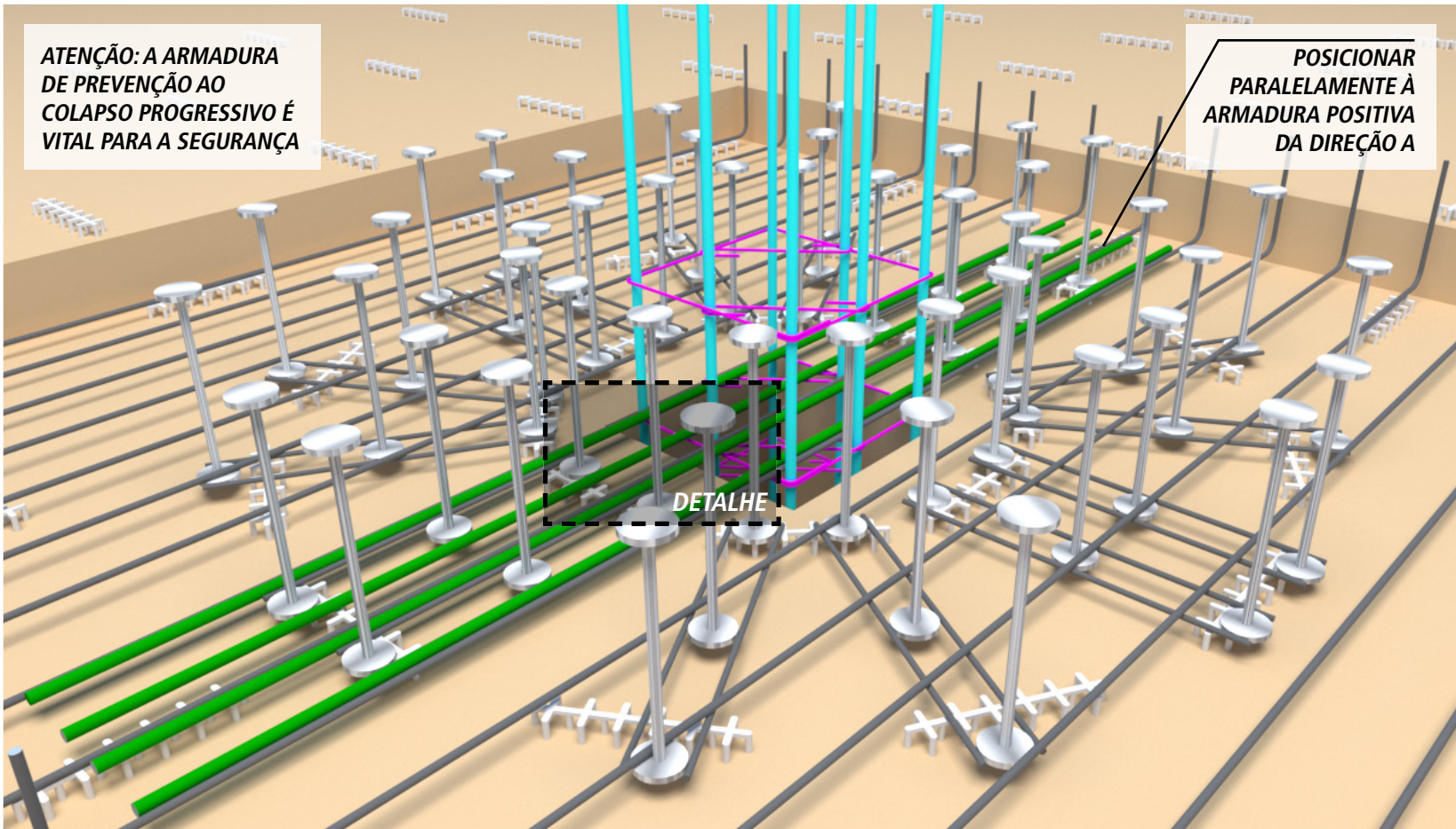


Figura 5.10
ETAPA 3 | Posicionamento das armaduras contra colapso progressivo da direção A

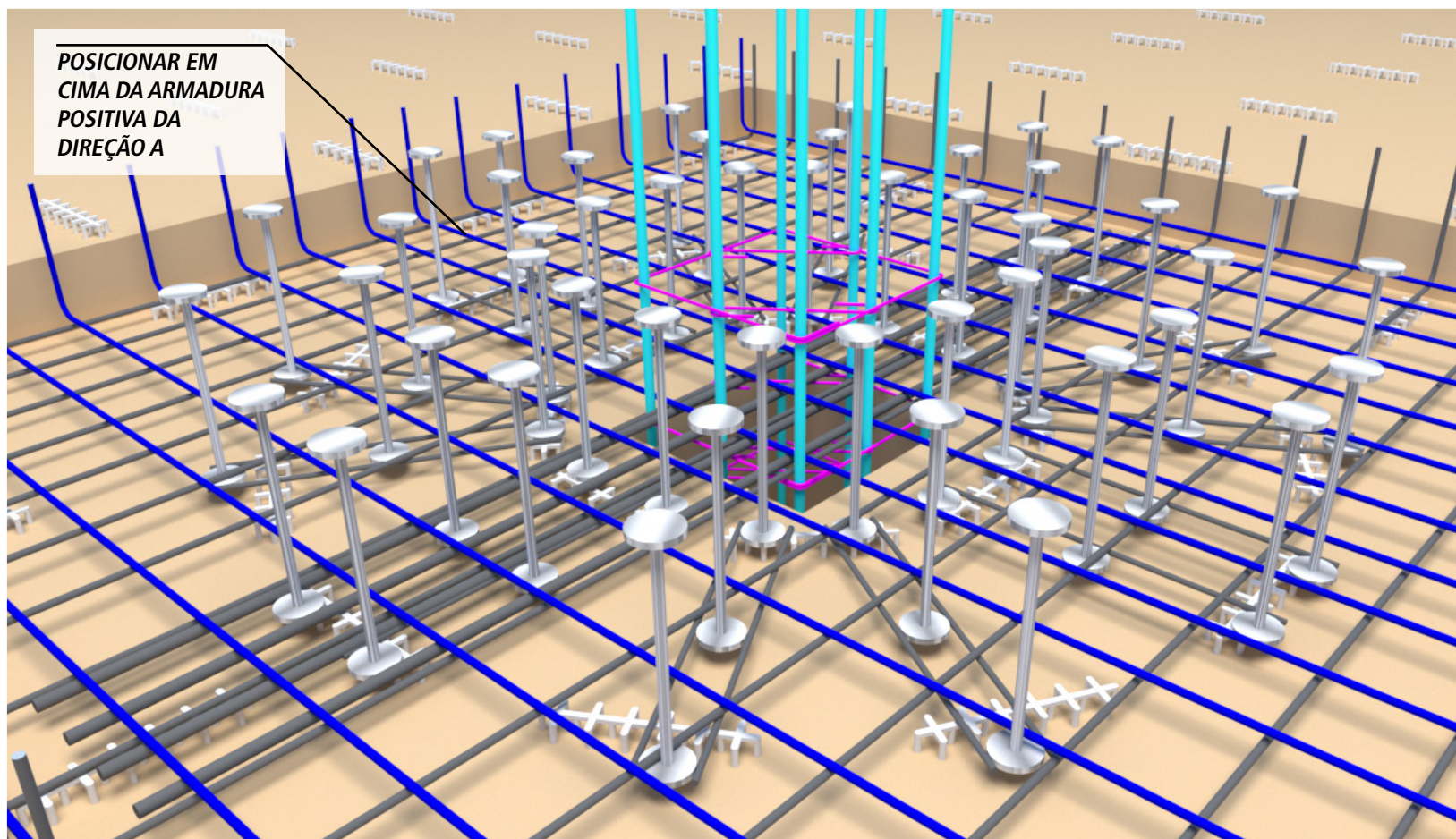


Figura 5.11
ETAPA 4 | Posicionamento das armaduras positivas da direção B do capitel

CAPÍTULO 5

ARMADURAS DE LAJES-COGUMELO E LAJES LISAS

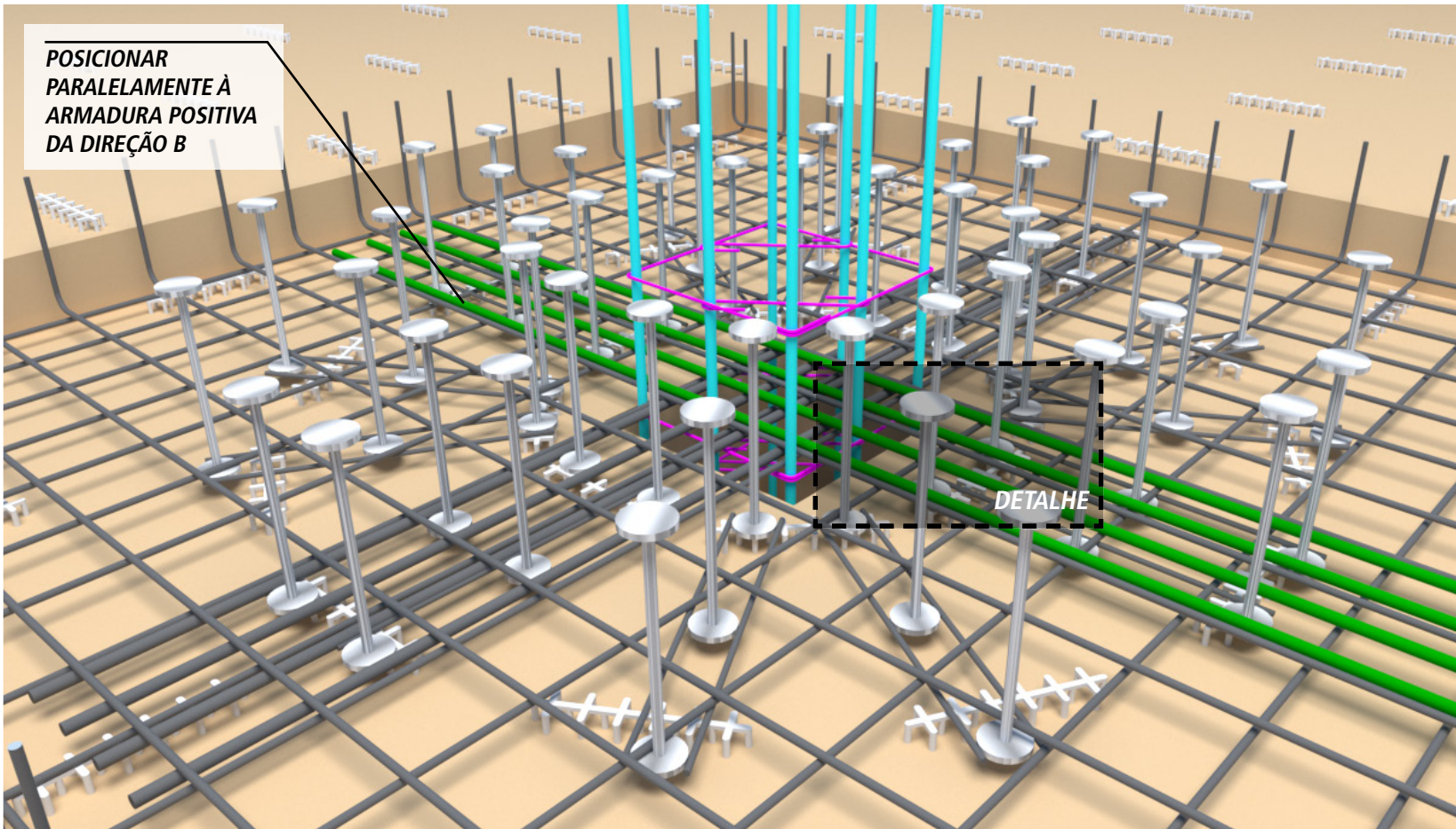


Figura 5.12
ETAPA 5 | Posicionamento das armaduras contra colapso progressivo da direção B

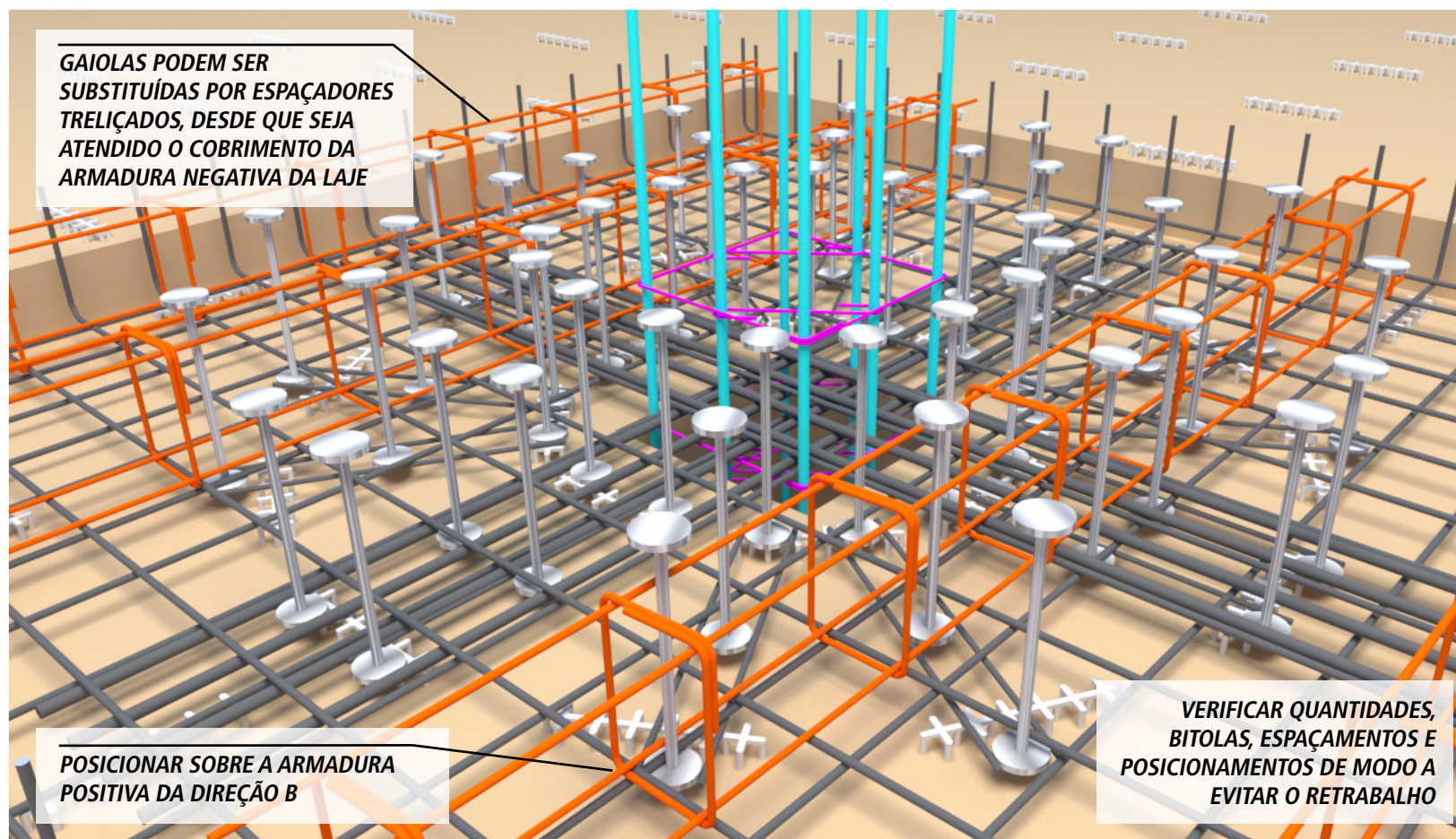


Figura 5.13

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

CAPÍTULO 5

ARMADURAS DE LAJES-COGUMELO E LAJES LISAS

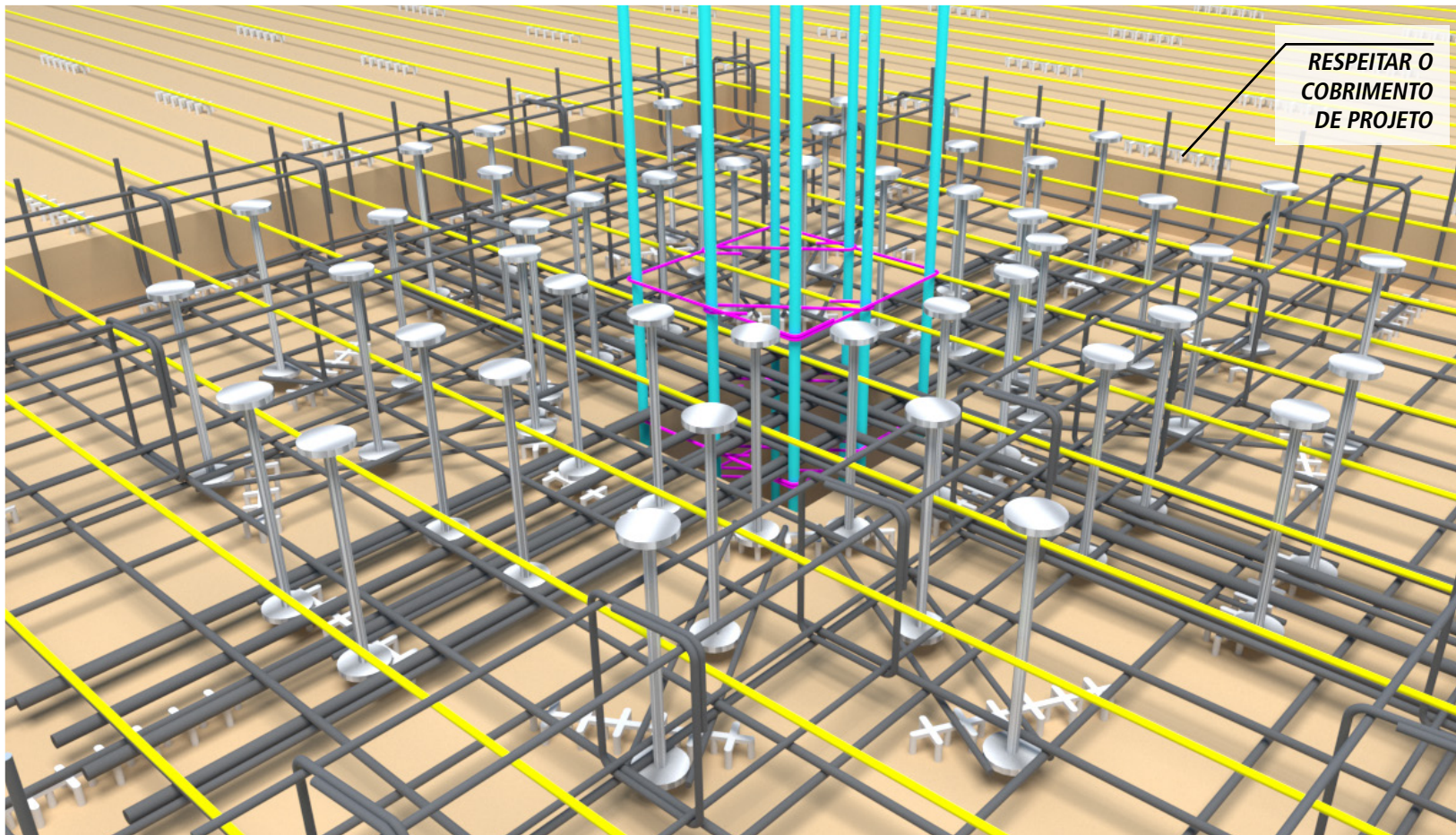


Figura 5.14
ETAPA 7 | Posicionamento das armaduras positivas da direção A da laje

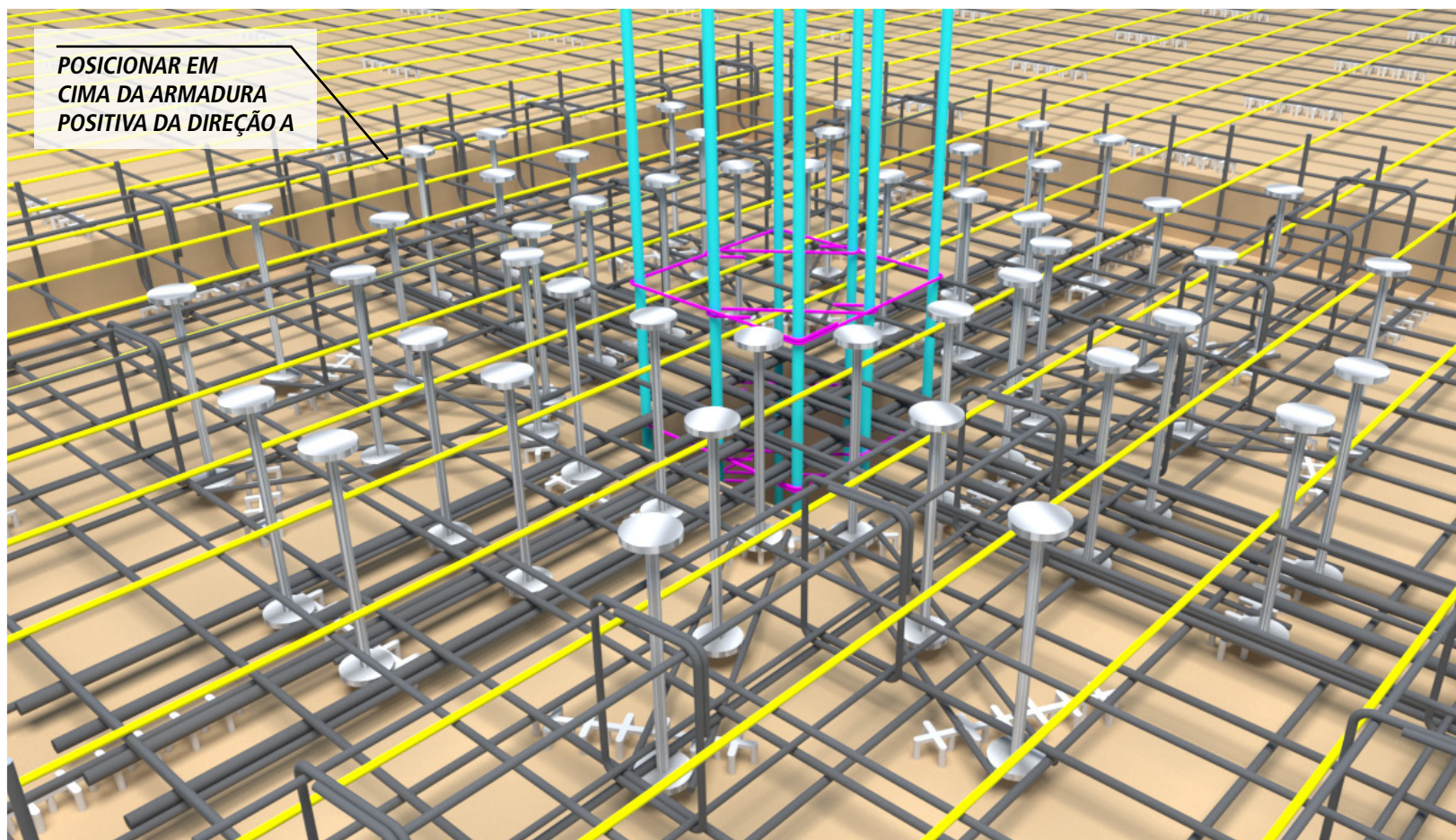


Figura 5.15
ETAPA 8 | Posicionamento das armaduras positivas da direção B da laje

CAPÍTULO 5

ARMADURAS DE LAJES-COGUMELO E LAJES LISAS

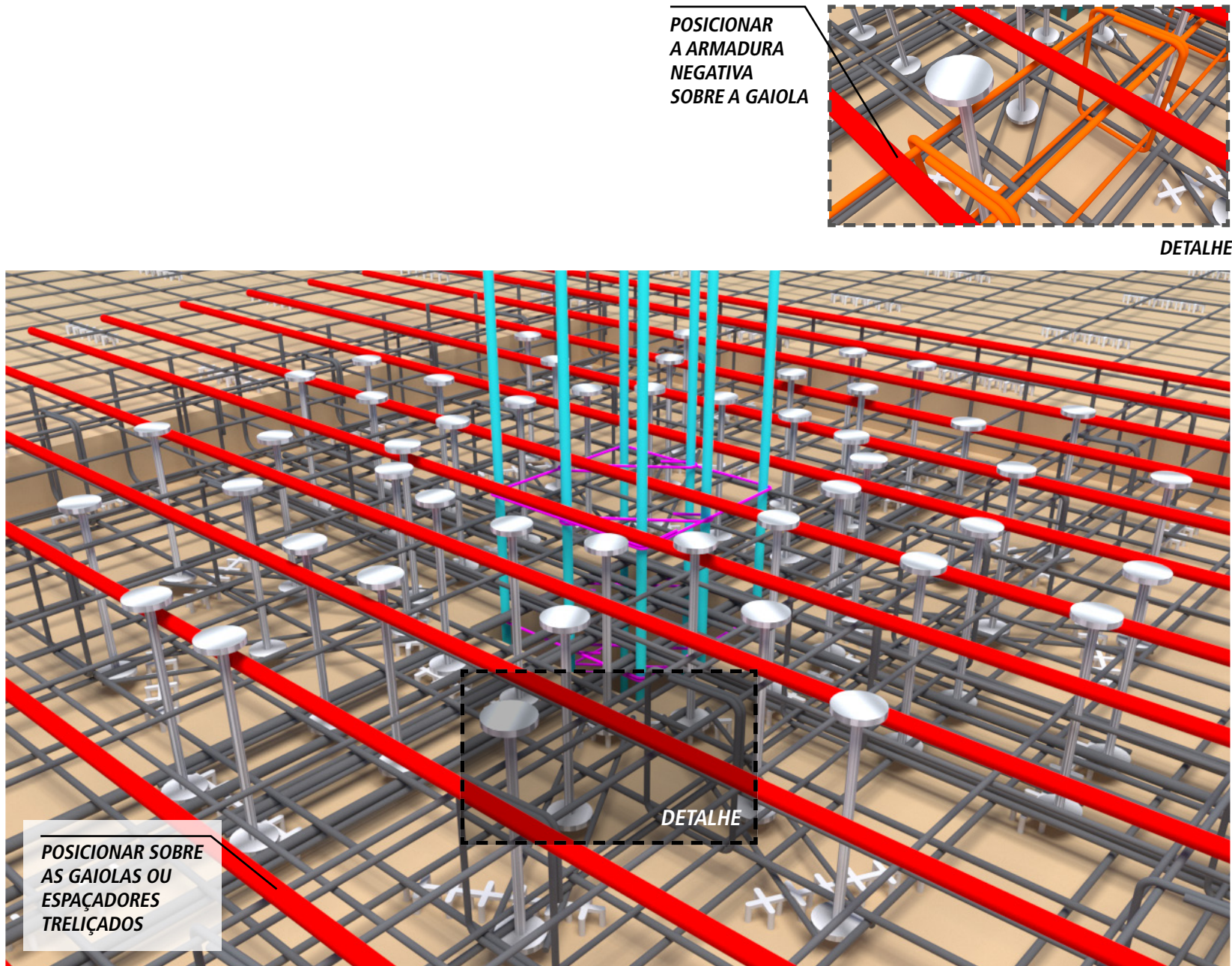
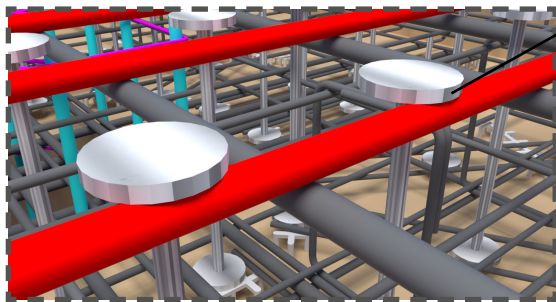
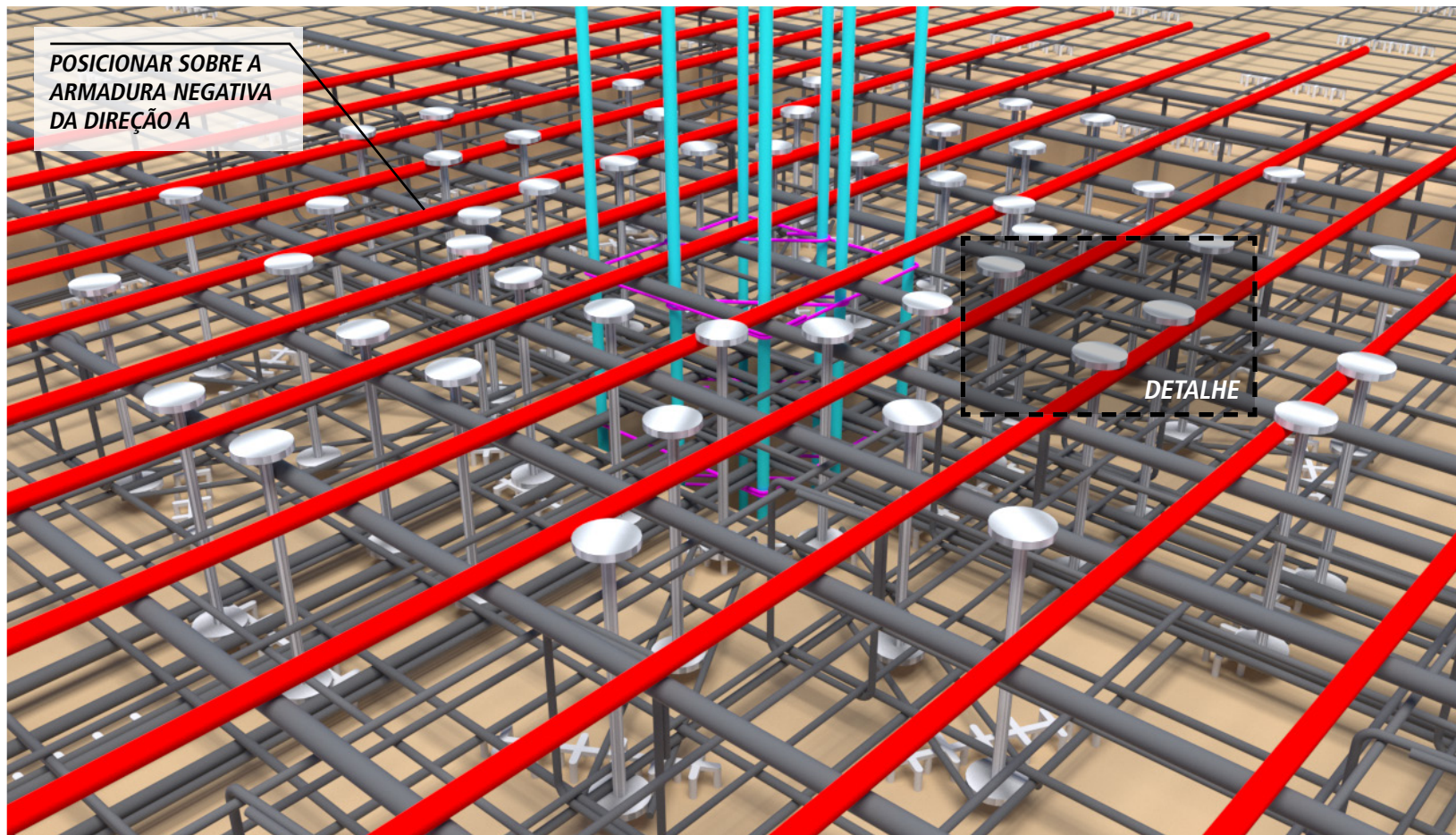


Figura 5.16
ETAPA 9 | Posicionamento das armaduras negativas da direção A da laje



POSICIONAR
EMBAIXO DA
CABEÇA DOS
CONECTORES

DETALHE



POSICIONAR SOBRE A
ARMADURA NEGATIVA
DA DIREÇÃO A

DETALHE

Figura 5.17

ETAPA 10 | Posicionamento das armaduras negativas da direção B da laje

CAPÍTULO 5

ARMADURAS DE LAJES-COGUMELO E LAJES LISAS

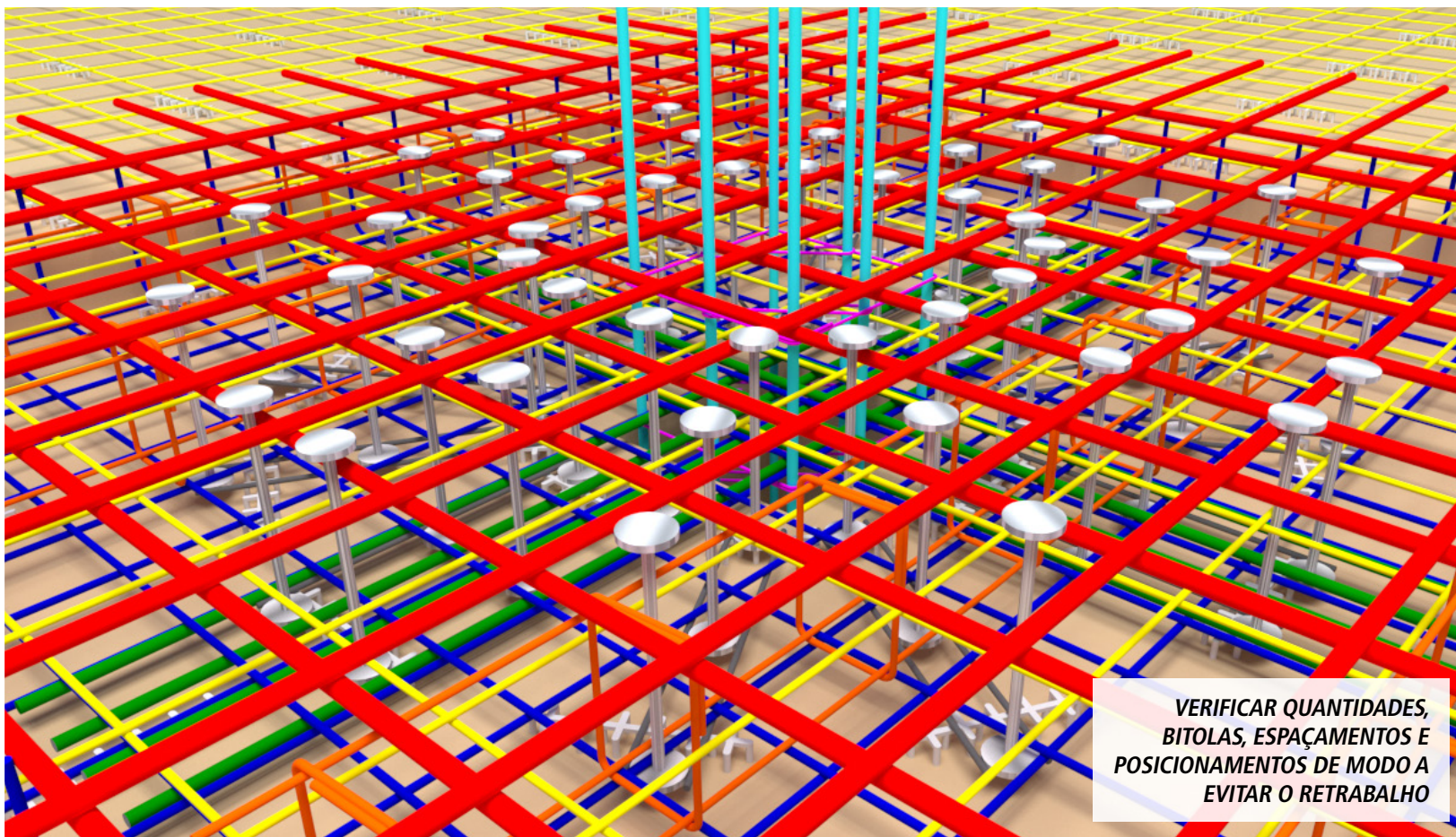


Figura 5.18
ETAPA 11 | Verificação de quantidades, bitolas, dos espaçamentos e posicionamento final





MANUAL DE BOAS PRÁTICAS

CAPÍTULO 6 *Durabilidade* *das armaduras*

Elaborado por
Maurício Silveira Martins
e Bianca Meo



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

DEGRADAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

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

Ao observar as principais manifestações patológicas (**Figura 6.1**), destaca-se a importância da correta execução das estruturas, pois fissuras e defeitos executivos figuram entre os principais causadores de patologias em estruturas de concreto.

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



Figura 6.1
Principais manifestações patológicas em estruturas de concreto armado
(Fonte: MARTINS, 2019)

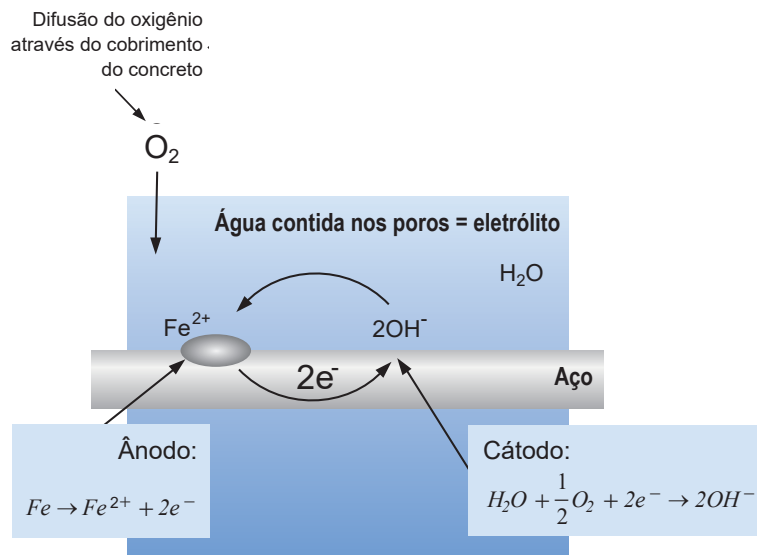


Figura 6.2
Célula de corrosão simplificada em concreto carbonatado (Fonte: adaptado de GENTIL, 2011)

CORROSÃO DAS ARMADURAS

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

A armadura embutida no concreto intacto se encontra protegida da corrosão em razão da alta alcalinidade da água presente nos poros deste material (HELENE, 1986; GENTIL, 2011). O pH elevado – entre 12,7 e 13,8 – favorece a formação de uma camada de óxido passivante, compacta e aderente sobre a superfície da armadura, que a protege indefinidamente de qualquer sinal de corrosão, desde que o concreto de cobrimento preserve sua integridade (WOLYNEC, 2013).

A despassivação da armadura pode ocorrer pela redução do pH do concreto por carbonatação ou pela penetração de íons cloreto (Cl^-) na matriz do concreto (GENTIL, 2011; RIBEIRO, 2018). A corrosão desencadeada pela carbonatação ocorre naturalmente em qualquer tipo de atmosfera, enquanto a corrosão por Cl^- ocorre em ambiente marinho (ARAUJO E PANOSSIAN, 2010) ou quando há a incorporação de cloretos à mistura do concreto.

Dessa forma, fica claro que há risco nos principais ambientes com alta demografia, como grandes centros urbanos e regiões costeiras do país.

O processo de corrosão da armadura embutida em concreto está fundamentado nos princípios da corrosão eletroquímica em que a armadura funciona como um eletrodo misto, sobre a qual ocorrem reações anódicas e catódicas, sendo a solução contida nos poros do concreto, o eletrólito (GENTIL, 2011; RIBEIRO, 2018). A **Figura 6.2** ilustra, de modo simplificado, a célula de corrosão formada em concreto carbonatado (com redução do pH).

Quando a corrosão da armadura ocorre, o dano ao concreto é subsequente. O produto de corrosão do aço-carbono é volumoso e precipita na interface entre o aço e o concreto, o que gera tensões que podem causar a fissuração do concreto (GENTIL, 2011). É por este motivo que muitas vezes o concreto “estoura” próximo à barra corroída, conforme pode ser visto na **Figura 6.3**.

De uma forma simplificada, o processo da corrosão das armaduras no concreto é caracterizado por duas fases. A primeira fase, chamada iniciação, refere-se à penetração dos agentes agressivos que modificam o concreto ao redor da armadura (carbonatação e penetração de cloretos). A segunda fase, chamada propagação, refere-se ao processo de corrosão do aço-carbono em si e seu desenvolvimento no concreto armado. A **Figura 6.4** ilustra as duas etapas mencionadas.

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



Figura 6.3
Fissuras e deslocamentos do revestimento e do concreto em pilar principal de edificação residencial em São Paulo (Fonte: MARTINS, 2019)

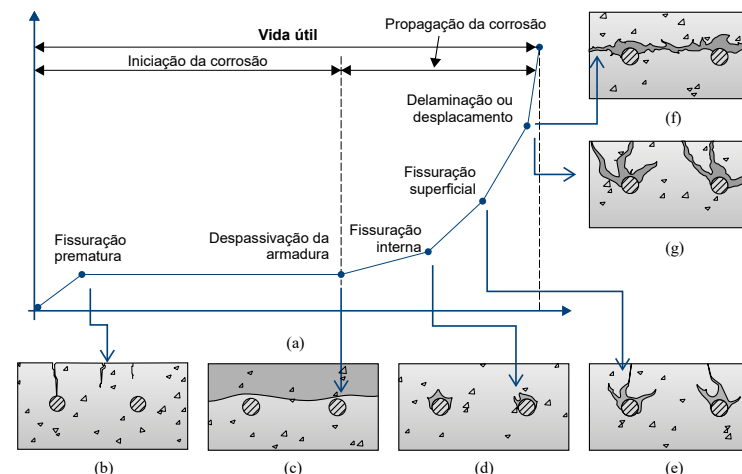


Figura 6.4
Processos de corrosão no concreto armado e suas etapas (Fonte: Araujo et al., 2017)

Tabela 6.1

Vida útil de projeto (VUP) de edificações no Brasil (Fonte: ABNT NBR 15575)

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

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

DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

Como visto anteriormente, a durabilidade é referenciada com a garantia da vida útil de projeto (VUP) expressa em anos. Para a maioria das estruturas, temos 50 anos como VUP mínima e 100 anos para obras de infraestrutura e obras especiais.

A norma de desempenho *ABNT NBR 15575* estabelece três níveis de desempenho dos sistemas: mínimo, intermediário e superior. Destacamos, na **Tabela 6.1**, os níveis mínimo e superior. A referida norma ainda reforça que, para atingir a VUP mínima, é necessário atender, simultaneamente, aos cinco aspectos descritos na **Figura 6.5**.

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

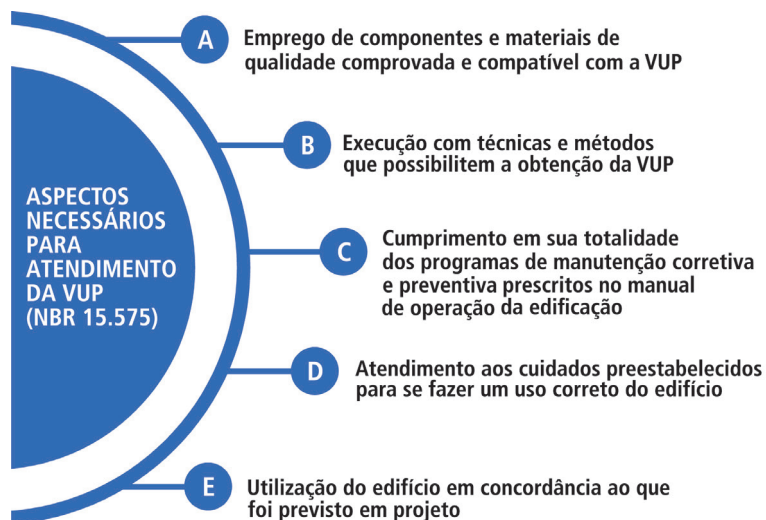


Figura 6.5

Aspectos necessários para atingir a VUP mínima

De forma prática, podemos entender a importância do projeto, a execução e a manutenção da edificação para atendimento dos 5 aspectos descritos na *ABNT NBR 15575*, em seis momentos, segundo a **Figura 6.6**.

Dessa forma, fica evidente a necessidade de projeto adequado e emprego de materiais com elevada durabilidade para que, em conjunto com técnicas construtivas adequadas, seja possível garantir ao sistema estrutural a durabilidade especificada em projeto.

Assim como, mesmo utilizando materiais com tais características, é fundamental a adoção das boas práticas de montagem das armaduras das estruturas de concreto armado, para garantir a correta execução e garantia de cobrimento das peças. Dessa forma, é possível entregar ao usuário uma edificação durável e segura.



Figura 6.6
6 momentos importantes no projeto, na execução e na manutenção da edificação

CUIDADOS ADICIONAIS PROTEÇÃO DAS BARRAS DE ESPERA

A proteção da barra de espera deve ser realizada tanto no trecho exposto à atmosfera quanto na parte da superfície do concreto da região de sua inserção. A proteção tem o objetivo de prevenir ou mitigar a corrosão atmosférica, bem com a formação de macrocélula de corrosão (ARAUJO E MARTINS, 2020).

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

Uma busca entre produtos disponíveis no mercado nacional mostrou que há argamassas cimentícias industrializadas específicas e com aditivos especiais para a proteção de barras de espera de obras não concluídas, inclusive com adição de inibidores de corrosão. Como exemplo, podemos citar os seguintes produtos: Nafufill KMH (MC-Bauchemie), Eucorepair Ferroprotec (Viapol) e MasterEmaco P122 (BASF). Explica-se que os inibidores são compostos químicos que, quando em determinadas concentrações junto às superfícies de armaduras, podem retardar a corrosão ou reduzir muito a taxa de corrosão, sem alterar substancialmente as propriedades físicas, químicas e mecânicas do concreto (ARAUJO E MARTINS, 2020).

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

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

No momento da utilização futura das barras de espera, é necessária uma avaliação visual desarmada do estado da barra. Caso o revestimento e a barra estejam intactos, não haverá necessidade de remoção da argamassa para concretagem da peça.

CONCRETO APARENTE

Quando o concreto for aparente, ou arquitetônico, cuidados adicionais são necessários desde o traço até a execução da estrutura para garantir baixa porosidade, aspecto visual adequado e homogêneo e durabilidade. Recomendações relevantes para a garantia da durabilidade de concretos aparentes são reforçadas pela NACE International 4, em documento de prática padrão de número SP0187-2017, intitulado "Projeto de concreto armado para controle da corrosão". Nele são estabelecidas classes de exposição de acordo com as condições ambientais. Para a corrosão desencadeada por carbonatação, temos quatro classes distintas, dentre estas, as classes de maior agressividade, como a classe XC3: ambientes com moderada umidade e a classe XC4: ciclos de molhamento e secagem.



MANUAL DE BOAS PRÁTICAS

CONCLUSÃO
Quais são os
próximos passos?



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

Com mais de 40 anos de experiência em projetos e obras de diversas escalas e complexidades, a França e Associados acredita que o detalhamento presente na documentação liberada à obra, além de ser corretamente dimensionado, claro e legível, não pode deixar de ser integralmente exequível. Isso não apenas impede a abertura de brechas para interpretações erradas e impactos negativos quanto à segurança, mas também transforma o papel do projetista estrutural no canteiro de obras. Com um projeto bem feito e de fácil compreensão, o projetista estrutural, ao visitar a obra, estará presente apenas para orientar procedimentos pontuais e reiterar boas práticas, em vez de ser considerado um agente fiscalizador.

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

Além disso, é importante enfatizar que a presença do projetista estrutural na obra, durante as etapas de concretagem, algo ainda pouco comum hoje, pode beneficiar a promoção de melhores processos, fechando a lacuna entre o projetado e o construído no setor da engenharia de estruturas.

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

Além de manter as boas práticas na montagem de armaduras de pilares, vigas e lajes sempre atualizadas, os próximos passos deste projeto contemplam o detalhamento da montagem das armaduras de elementos especiais, como reservatórios, escadas e fundações.

Parte do conteúdo deste manual já está disponível 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*. Utilizando animações curtas e objetivas, a França e Associados tem como intuito tornar este material cada vez mais acessível e dinâmico. Acesse nossos principais canais de comunicação por meio dos QR Codes na próxima página.



francaeassociados.com.br



França e Associados
Projetos Estruturais



@franca_e_associados



@francaeassociados



Jorge Nakajima (Satoro)



Larissa Arakawa Martins

MANUAL DE BOAS PRÁTICAS

*REFERÊNCIAS &
AGRADECIMENTOS*



AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM G109-7: **Standard Test Method for Determining Effects of Chemical Admixtures on Corrosion of Embedded Steel Reinforcement in Concrete Exposed to Chloride Environments**. ASTM International, West Conshohocken, 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ACI 421.1R-08 **Guide to Shear Reinforcement for Slabs**. Reported by Joint ACI-ASCE Committee 421, 2008.

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 7480:2007 - **Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação**. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12655:2015 - **Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 14931:2004 - **Execução de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15575-1:2013 - **Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2013.

ARAÚJO, J. M. de. **Curso de Concreto Armado**. 4ª edição. Rio Grande: Editora Dunas, 2014.

ARAÚJO, A. de et al. **Corrosão do aço-carbono em concreto armado**. In: Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos, 2017, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: COTEQ, 2017.

ARAUJO, A. de; MARTINS, M. S. **Corrosão do Aço-Carbono no Canteiro de Obras:** cuidados no recebimento, no armazenamento e na proteção de barras de espera. 2020. Disponível em: <https://www2.gerdau.com.br/catalogos-e-manuais>. Acesso em: 31 de março de 2021.

ARAUJO, A. de; PANOSSIAN, Z. **Durabilidade de estruturas de concreto em ambiente marinho:** estudo de caso. Fortaleza: Intercorr, 2010.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto:** microestrutura, propriedades e materiais. 2ª edição. São Paulo: IBRACON, 2014.

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

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

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

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

Os autores deste manual agradecem à Gerdau pelo apoio a este projeto e pela elaboração do capítulo 6 sobre Durabilidade das Armaduras. Em especial, agradecemos a Maurício Silveira Martins pelo incentivo e por acreditar na importância deste trabalho para a comunidade da construção civil. Também agradecemos a Bárbara Marta Silva Andrade de Albuquerque e Bianca Marques Meo pelo suporte durante o processo de desenvolvimento deste material, desde sua concepção, passando pelos trâmites administrativos, à revisão e à finalização do trabalho.

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

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

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

Agradecemos à equipe da França e Associados Projetos Estruturais, tanto aos antigos quanto aos atuais colaboradores, por contribuírem com mais de 40 anos de experiência e colaboração. Em especial, agradecemos aos diretores Ricardo Leopoldo e Silva França e Reinaldo Hideyuki Kaizuka, pela fonte constante de conhecimento e incentivo na divulgação das boas práticas para todos - colaboradores, clientes da França e Associados Projetos Estruturais e o público em geral.

Agradecemos aos engenheiros Maurizio Vairo e Gustavo Licht Fortes pela revisão e validação dos conceitos apresentados neste manual.

Finalmente, dedicamos este trabalho a nossas famílias, em especial a Karin, Mirela e Diogo, pela compreensão e incentivo durante o desenvolvimento deste manual.

Primeira Edição **Maio, 2021**
Tiragem **300 exemplares**
Impressão **Forma Certa, Barueri, SP**
Papel **Offset 120 g/m² e Cartão Supremo 250 g/m²**
Tipografia **Família Frutiger**

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

Com mais de 40 anos de experiência com projetos e obras de diversas escalas e complexidades, a França e Associados Projetos Estruturais acredita que o detalhamento presente na documentação liberada à obra, além de ser corretamente dimensionado, claro e legível, não pode deixar de ser integralmente exequível. Desse modo, este manual vem promover bons exemplos e encorajar um olhar crítico sobre os procedimentos de montagem de armaduras em obra, habilitando os profissionais envolvidos e gerando um ciclo virtuoso para a cadeia produtiva da construção civil como um todo.

ISBN: 978-65-00-21242-6



9 786500 212426