

A UTILIZAÇÃO DE AÇOS DE ALTA RESISTÊNCIA PARA FABRICAÇÃO E APLICAÇÃO DE PRÉ-MOLDADOS COMO SISTEMA CONSTRUTIVO

Lorenzo Altimari Rossetti (IC) e Pablo Augusto Krahll (Orientador)

Apoio: PIBIC CNPq

RESUMO

Este artigo apresenta uma análise comparativa do comportamento estrutural de um consolo em concreto pré-moldado utilizando aços de alta resistência, correspondente ao “CA-70”, em relação ao aço convencional CA-50. A pesquisa foi conduzida por meio de simulações no software ABAQUS, fazendo comparativos do comportamento do consolo usando os dois tipos de aço, mantendo constantes as dimensões do consolo, os materiais usados e a configuração e posicionamento das armaduras. O objetivo principal é avaliar como a substituição do aço CA-50 pelo “CA-70” impacta a resistência e o desempenho estrutural do consolo, proporcionando uma base sólida para possíveis reduções na densidade da armadura de elementos estruturais, em estudos futuros. Foi usado o Método dos Elementos Finitos no software ABAQUS para desenvolver um modelo de simulação preciso e atribuindo malhas para cada elemento estudado. Ao comparar os resultados das simulações, este trabalho contribui para o desenvolvimento de práticas no uso de aços de alta resistência, visto que é um produto novo no mercado da construção civil e ainda busca avaliações, que potencialmente leva a economias significativas. A análise busca não apenas validar o desempenho superior do “CA-70”, mas também abrir caminho para otimizações na concepção de estruturas pré-moldadas, promovendo uma construção mais sustentável e econômica.

Palavras-chave: CA-70, Pré-Moldado, Aços de Alta Resistência

ABSTRACT

This article presents a comparative analysis of the structural behavior of a precast concrete corbel using a high-strength steel, specifically the “CA-70” (yield strength 700MPa), in comparison to conventional CA-50 (yield strength 500MPa) steel, the most used in Brazil. The research was conducted through simulations in the ABAQUS software, comparing the corbel's behavior using both types of steel, with constant corbel's dimensions, materials used, and reinforcement configuration and positioning. The primary objective is to assess how replacing CA-50 steel with “CA-70” impacts the corbel's strength and structural performance, providing a solid basis for potential future studies on reducing reinforcement density in structural



elements. The Finite Element Method was employed in ABAQUS to develop an accurate simulation model and assigning meshes to each studied element. By comparing the simulation results, this study contributes to the development of best practices in the use of high-strength steels, as “CA-70” is a relatively new product in the construction market and still requires extensive evaluation, potentially leading to significant material and cost savings. The analysis aims not only to validate the superior performance of “CA-70” but also to pave the way for optimizations in the design of precast structures, promoting more sustainable and cost-effective construction.

Keywords: Precast, CA-70, High-Strength Steel

1. INTRODUÇÃO

Atualmente no Brasil, o aço CA-50 é disparadamente o mais utilizado nas construções de qualquer porte, sendo amplamente comercializado pelas diversas empresas siderúrgicas para o setor da Construção Civil. Sua utilização é tamanha, que esse aço possui uma norma regulamentadora exclusiva para suas especificidades técnicas, a ABNT NBR 7480:2007.

Mesmo assim, ainda existem casos em que alguns elementos estruturais possuem uma densidade de armadura tão alta que se torna extremamente difícil tanto a montagem quanto a conferência, além de ter um custo muito elevado pela quantidade de material e até complexidade das dobras. Por esse motivo, a criação de uma nova categoria de aços é muito bem vista, a qual traria mais resistência por barra, a fim de diminuir a densidade de armadura em elementos fundamentais de grandes obras, reduzir desperdícios de material e até mesmo o custo final de uma obra.

Nos últimos anos, algumas empresas tradicionais no ramo da siderurgia, como ArcelorMittal (2023) e Gerdau (2022) iniciaram o processo de criação de aços com alta resistência, superior aos comumente utilizados CA-50, e até mesmo o CA-60. Essa grande inovação na Construção Civil promete uma resistência de escoamento em torno de 700MPa (o equivalente ao “CA-70”), e pode revolucionar a maneira de se projetar e construir não apenas no Brasil, mas no mundo todo. Além de um aumento significativo na resistência por barra, o novo produto também possui um impacto ecológico importante, por consumir menos ferro em sua composição.

Tal inovação, por se tratar de algo novo e recém inserido no mercado brasileiro, necessita de avaliação nas mais diversas aplicações, em ensaios tanto com as barras separadas, quanto com elas inseridas em elementos estruturais específicos. Nesse sentido, é extremamente relevante a análise desse material aplicado em estruturas de consolos para suporte de vigas em formatos pré-moldados, a fim de aumentar o desempenho mecânico do consolo e reduzir a densidade de armadura que o compõe.

O sistema construtivo mais utilizado no Brasil é a alvenaria, que atende com sucesso ao desafio de se construir no prazo desejado e com qualidade as construções de casas e edifícios habitacionais ou para escritórios, principalmente. Ela se mantém ativa no Brasil há muitas décadas, passando por evolução técnica e desenvolvimento das normas brasileiras. Foi durante a década de 1960 que chegaram ao Brasil os primeiros reflexos do grande avanço do concreto pré-moldado (CPM) na Europa, tornando-se opção no mercado brasileiro como uma nova proposta construtiva para complementar (ou até substituir) a alvenaria tradicional.

Os principais diferenciais desse sistema estão na rapidez da obra, na redução de custos (entre serviços intermediários como fôrmas, andaimes e escoramento) e de desperdícios de materiais (resíduos), tornando a obra mais organizada e limpa. Esses

aspectos tornam a utilização do CPM uma forte tendência no setor de Construção Civil do Brasil.

Segundo El Debs (2017, p. 14),

“[...] As características do CPM possibilitam benefícios bastante importantes para a construção, tais como: diminuição do tempo de construção, melhor controle dos componentes pré-moldados e redução do desperdício de materiais na construção. (...) Merece destaque ainda o fato de que, com o CPM, estariam sendo melhoradas as condições de trabalho na construção civil [...]”

A Figura 1 apresenta uma ligação viga pilar típica de concreto pré-moldado.

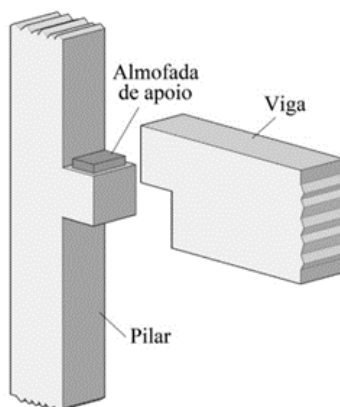


Figura 1 – Ligação viga-pilar pré-moldada com dente e consolo de concreto. Fonte: El Debs (2017)

A união dessas duas inovações, provindas de épocas diferentes, pode significar um grande avanço para a Construção Civil, onde a utilização dos aços de alta resistência na armação do CPM, aplicadas em diferentes elementos e etapas da construção (como fundação, lajes, pilares e vigas), pode conferir todas as vantagens prometidas a este sistema construtivo. Além de maior resistência estrutural, podem ser garantidas à obra:

- Redução do volume de aço utilizado em todas as etapas da construção;
- Facilidade no processo de concretagem;
- Economias financeiras significativas, a partir da diminuição da quantidade de armadura consumida.

1.1 JUSTIFICATIVA

As principais normas brasileiras que envolvem estruturas pré-moldadas e aço para estruturas de concreto armado são, respectivamente, NBR 9062 e NBR 7480. O novo “CA-70” utilizado em pré-moldados configura um produto novo, o qual ainda não foi introduzido ao

mercado, e, portanto, ainda não possui comprovações e estudos suficientes para apresentação de recomendações de projeto nas normas brasileiras.

Sendo assim, por esse mesmo motivo, faz-se necessário e incentivado o desenvolvimento de pesquisas e estudos científicos que possam envolver o produto e sua aplicação em diferentes obras que o mercado possa exigir.

1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

A pesquisa tem como objetivo geral determinar, analisar e estudar o comportamento de pré-moldados que sejam fabricados com aços CA50-S/AR (CA-50 Soldável de Alta Resistência) da ArcelorMittal (2023) e suas aplicações em obras de diferentes portes e para diferentes fins. Se comprovada sua eficiência e segurança, a pesquisa também poderá ajudar nas aprovações e regulamentações do novo produto e viabilizar seu uso no mercado.

Dentre os objetivos específicos, tem-se:

- Analisar e discutir as aplicações de aços de alta resistência em estruturas de concreto;
- Aprender e utilizar o software ABAQUS que aplica o Método dos Elementos Finitos para simulações de estruturas;
- Calibrar no ABAQUS um modelo de ligação em estruturas de concreto pré-moldado;
- Desenvolver simulações das ligações calibradas utilizando os aços de alta resistência.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Em seu material técnico sobre o CA50 Soldável de Alta Resistência S/AR (2022, p. 2), a ArcelorMittal (2023) apresenta o produto com

“[...] resistência à tração maior que o CA50 comum e baixo teor de carbono, o que garante uma ótima soldabilidade, sem se tornar mais quebradiço, mantendo o módulo de elasticidade de 200 GPa do CA50, conforme indicado em norma, além de possuir adição de elementos de liga que aumentam a resistência à tração do produto, atingindo um patamar de escoamento mínimo de 700 MPa, conservando as demais propriedades mecânicas como ductibilidade [...]”.

Entre outros benefícios em sua aplicabilidade, o CA50 Soldável de Alta Resistência oferece “[...] *menos congestionamento de barras, especialmente nas juntas; melhor colocação de concreto e consolidação devido a menos congestionamentos; redução do consumo de materiais, aumentando assim a produtividade na obra [...]*”. A Tabela 1 apresenta as características do CA50 S/AR comparado ao CA50 tradicional.

Categoria do Aço	Limite Mínimo de Escoamento	Limite Mínimo de Ruptura	Relação Elástica Mínima	Alongamento após Ruptura
	(MPa)	(MPa)	(%)	(%)
CA 50	500	540	1.08	8,0
CA 50 S/AR	700	760	1.08	8,0

Tabela 1 – Comparação CA-50 convencional com CA-50 S/AR (2022)

Segundo nota técnica do Concrete Reinforcing Steel Institute (2020, p. 1, 9), “[...] *pesquisas possibilitaram o reforço de aços de maiores resistências por ser uma opção viável em uma variedade de aplicações em reforço de estruturas de concreto [...]*”. Em outra nota técnica (2020, p. 6), o Concrete Reinforcing Steel Institute cita os aços de alta resistência como “[...] *uma opção viável para uma variedade de aplicações em reforço para estruturas de concreto [...]*” além de possibilitar “[...] *menores custos de colocação devido ao menor número de barras a serem utilizadas, tamanhos de membros menores e mais espaço utilizável devido ao membro menor tamanhos [...]*”.

Ainda sobre a aplicação de aço de alta resistência, segundo o ACI Structural Journal em sua edição de julho de 2022, entre os aços de alta resistência, “[...] *aquele com grau de ferro Fe 550 se mostra ser o melhor em termos de peso da armação necessária para transferir uma carga desejada aos suportes da estrutura de modo seguro, independentemente do tipo de concreto armado utilizado [...]*”. Nesta mesma edição, é relatado que a “[...] *ductilidade das seções das vigas aumenta com o uso de vergalhões de alta resistência, independentemente do grau de concreto utilizado, e a capacidade de cisalhamento (dilatação do concreto) das vigas de CA também é afetada ao utilizar vergalhões de alta resistência, devido à redução nos requisitos da área transversal de tensão do aço nas vigas. (...) O uso de vergalhões de alta resistência pode necessitar de concreto com resistência adequada para compatibilizar com os requerimentos de alta ligação de tensão que se desenvolveria em tais vigas, e seu uso na zona de compressão de vigas não é economicamente aconselhável [...]*”.

2.1 METODOLOGIA

2.1.1 CASO INVESTIGADO

Para realizar uma comparação entre os efeitos do aço convencional e do aço de alta resistência, foi selecionado o estudo de Curty (2009) que envolve o uso de consolos curtos pré-moldados com detalhes sobre a geometria do consolo e a armadura utilizada. O foco principal do estudo não é o mesmo desta pesquisa, porém a aplicação de um consolo apoiado em um pilar (ambos em concreto armado) com detalhes de dimensionamento e posicionamento o faz extremamente útil e aplicável na elaboração deste artigo.

No desenvolvimento do modelo no software ABAQUS, foram seguidas as dimensões e posições das figuras 2 e 3 abaixo. Feito o modelo de simulação, as partes de aço foram inseridas adequadamente dentro do pilar e do consolo, seguindo uma espessura de revestimento de 25mm.

As simulações foram feitas baseando o pilar como apoio ao consolo, portanto a análise foi baseada no comportamento exclusivamente do consolo pré-moldado. Mesmo assim, ocorreram reações que impactaram na estrutura do pilar, o que já era esperado ao usar o pilar como apoio.

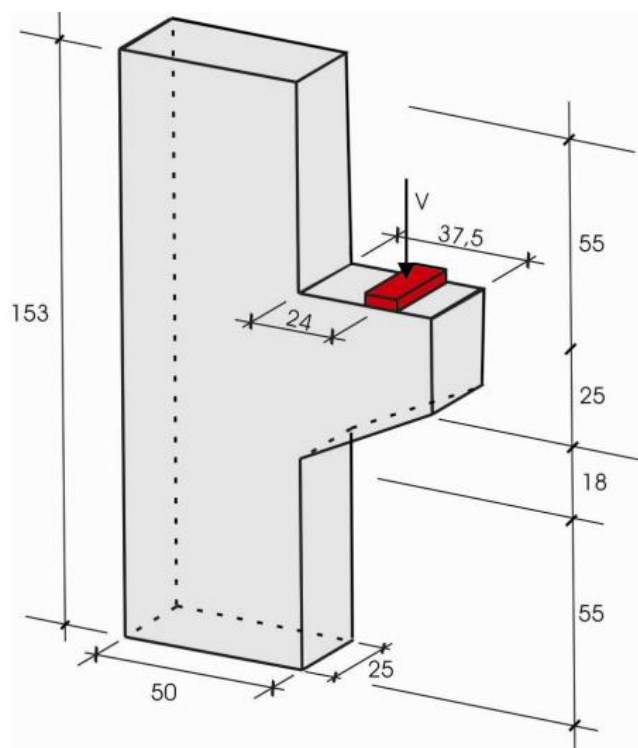


Figura 2 – Dimensões do consolo de referência (em mm). Fonte: Curty (2009).

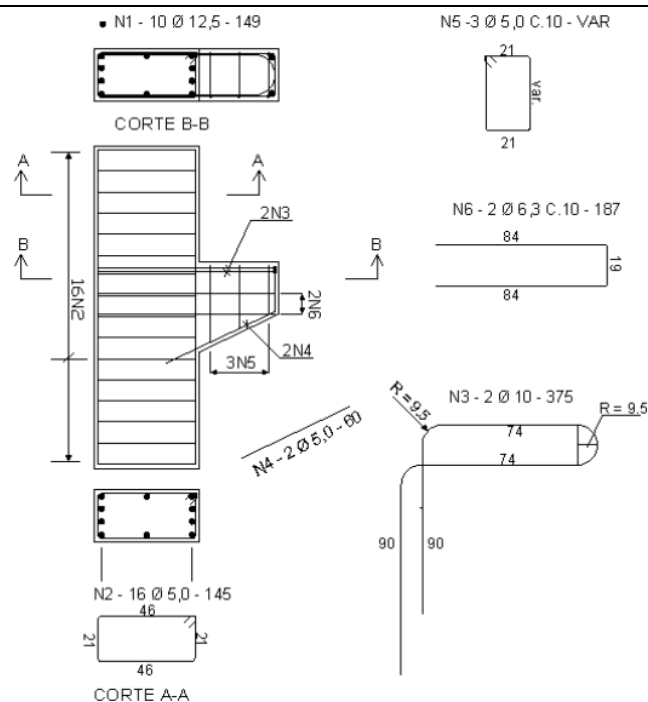


Figura 3 – Dimensões e formatos das partes da armadura (em mm). Fonte: Curty (2009).

2.1.2 ELEMENTOS FINITOS UTILIZADOS

Para criação do modelo de simulação no software ABAQUS, foram criadas malhas para cada uma das partes demonstradas no item anterior. O modelo do consolo anexo ao pilar foi feito como elemento sólido, tendo concreto como material. Já as partes de aço, inseridas tanto no consolo como no pilar, foram elementos de treliça.

Em todos os casos, foram criadas malhas para possibilitar a simulação pelo Método dos Elementos Finitos. As malhas dividem os corpos desejados em pequenas partes iguais, as quais são conectadas por nós, para serem analisadas uma a uma na intersecção desses nós. Essas partes são os elementos finitos, e quanto menor a área dessas partes, mais elementos serão criados para preencher o corpo e, portanto, mais precisa será a simulação. As figuras 4, 5 e 6 abaixo mostram as malhas criadas para algumas das partes criadas no ABAQUS que possibilitaram a simulação.

Vale ressaltar que foi criada uma seção para separar os elementos do pilar e do consolo, com o intuito de manter uma malha regular e mais bem definida e refinada.

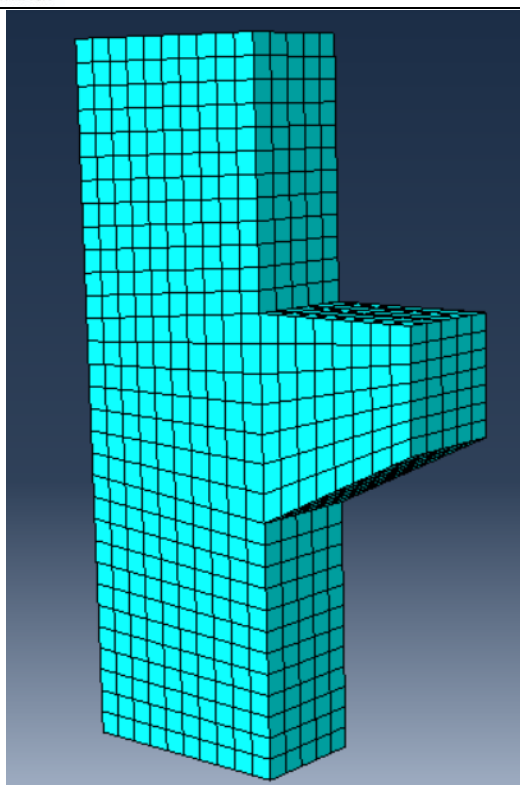


Figura 4 – Malha criada para pilar e consolo de simulação. Fonte: autoria própria.



Figura 5 – Malha criada para os estribos do pilar de simulação. Fonte: autoria própria.

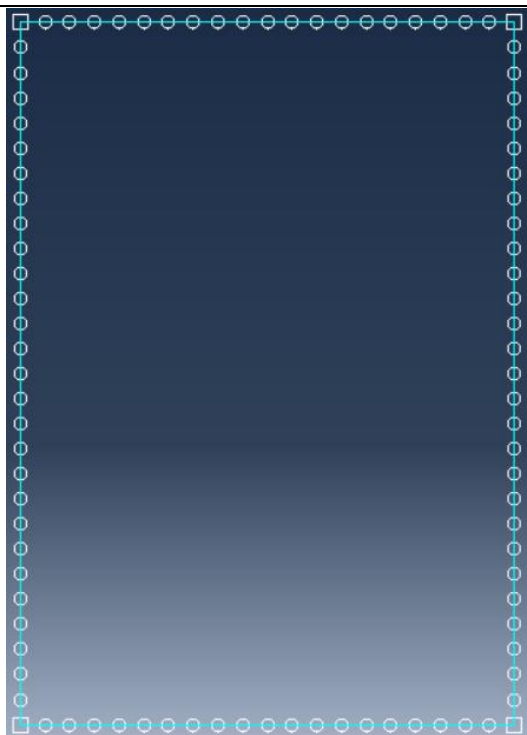


Figura 6 – Malha criada para os estribos do consolo de simulação. Fonte: autoria própria.

2.1.3 CONDIÇÕES DE CONTORNO

Para realização da simulação, o pilar em que o consolo está anexado foi travado tanto na base quanto no topo em todas as direções (x, y, z), para evitar resultados distorcidos por deslocamentos do pilar. Assim, foi evitado qualquer tipo de desalinhamento e/ou imprecisão.

Sobre a face superior do consolo, foi aplicado um deslocamento uniformemente distribuído com intensidade de 20mm na direção de y. Para entendimento do software, o deslocamento foi adicionado com intensidade negativa, a fim de mudar seu sentido para o oposto de y, assim “empurrando” o consolo para baixo.

2.1.4 MODELOS PARA OS MATERIAIS

MODELO PARA CONCRETO

A análise das simulações segue o modelo “Carreira e Chu”, que é uma abordagem amplamente utilizada em análises de elementos finitos relacionadas à resistência e comportamento de materiais de concreto armado. Ele busca descrever a curva tensão-deformação ($\sigma - \epsilon$) do concreto, tanto na compressão quanto na tração.

O modelo “Carreira e Chu” é muito útil principalmente quando se trata de simular o comportamento de estruturas de concreto e prever falhas em função da deformação e do carregamento.

Foram criados dois materiais para realização das simulações, o primeiro foi o concreto. Ele foi utilizado tanto para o pilar quanto para o consolo, seguindo um modelo com módulo de elasticidade em 30.000MPa e coeficiente de Poisson em 0,2.

Durante as simulações, ocorreram fissuras no concreto, o que sobrecarregou as barras de aço e causou o rompimento delas, desestabilizando a estrutura. Porém, o concreto não perde toda sua capacidade mecânica no exato momento em que ele fissura, existe uma relação tensão versus abertura de fissura que descreve a resistência do concreto, mesmo após fissurado, e como ela diminui com o aumento das fissuras. Essa relação é descrita pelo modelo de Hordijk.

Segundo Hordijk (1991, p. 66),

“A evolução da fissura é determinada pela relação entre a abertura da fissura e a tensão normal da fissura.”

O modelo de Hordijk descreve o comportamento pós-fissuração do concreto em simulações estruturais, especialmente em projetos de concreto armado. Esse modelo é fundamental para entender a resposta do concreto após a formação de fissuras, uma vez que ele não se torna imediatamente incapaz de resistir a tensões, mas mantém uma capacidade residual de tração, que diminui progressivamente com a abertura das fissuras. Ele ajuda a prever como a estrutura se comportará sob cargas crescentes, levando em consideração tanto a capacidade de tração residual do concreto, quanto a contribuição do aço.

Em condições normais, o concreto é conhecido por sua resistência à compressão, mas seu comportamento sob tração é menos robusto, levando à formação de fissuras quando as tensões de tração excedem a resistência do material. O modelo proposto por Hordijk é importante porque demonstra a capacidade residual do concreto em suportar cargas, o que permite uma redistribuição das tensões ao longo da estrutura.

A relação tensão versus abertura de fissura (curva σ - w), desenvolvida por Hordijk, é uma representação gráfica que descreve como a tensão no concreto varia em função da abertura da fissura após a tração. Inicialmente, quando a tração é aplicada, o concreto se comporta de forma linear até o ponto em que as fissuras começam a aparecer. Após a formação das fissuras, a curva apresenta uma diminuição na capacidade de resistência à tração à medida que a abertura da fissura aumenta.

Esta abordagem técnica do comportamento pós fissuração do concreto permite a realização de análises mais detalhadas e precisas, levando em conta a complexa interação entre a fissuração do concreto e o comportamento do aço. É fundamental para a análise estrutural, garantindo a segurança e a eficiência das estruturas projetadas.

MODELO PARA OS AÇOS CONVENCIONAL E ALTA RESISTÊNCIA

Para o uso das partes de aço, foi necessário a criação de um modelo para as propriedades convencionais (CA-50) e alterar sua tensão de escoamento após os resultados para o aço de alta resistência ("CA-70"), o qual é o tema principal deste artigo. Ambos foram feitos no ABAQUS, que simula o aço baseado no modelo matemático plástico perfeito.

O modelo convencional utilizou tensão de escoamento em 500MPa, enquanto o de alta resistência teve 700MPa, conforme relatório da indústria apresentado anteriormente.

Após simulações com os resultados de ambas as propriedades, foi possível desenvolver um comparativo entre as duas categorias de aço e concluir sobre suas aplicações e diferenças.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

3.1 RESULTADOS

As simulações feitas usando o aço convencional (CA-50) mostrou fissuras do concreto na região do pilar logo acima do consolo, como mostra a figura 7 pelo destaque dos quadrados em vermelho, no passo de carga máxima. Quando o concreto fissura, ele perde seu apoio estrutural progressivamente (como indica o modelo de Hordijk), fazendo com que a estrutura se apoie na armadura. É nesse momento que a armadura começa a se plastificar até atingir seu limite e romper, causando o deslocamento do consolo.

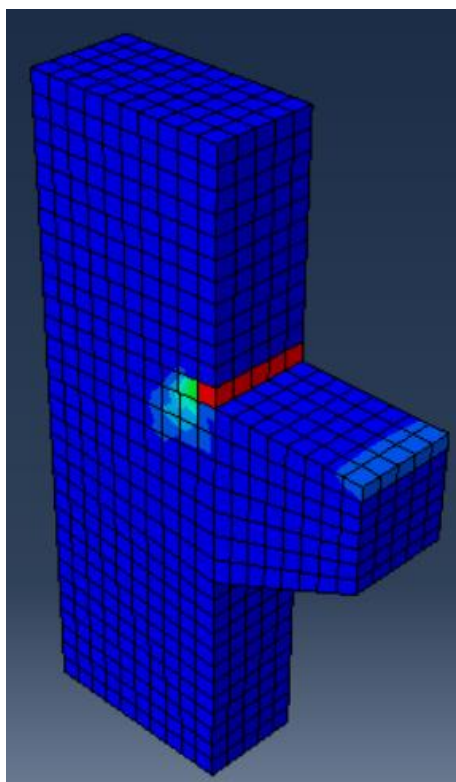


Figura 7 – Fissuração do concreto no pico de carga após simulação com aço convencional. Fonte: autoria própria.

Ao analisar o comportamento apenas da armadura, separando-a do concreto, nota-se que as barras de aço atingiram seu limite de escoamento na mesma região da fissura do concreto e, portanto, plastificaram. Ali, o aço foi tracionado até se romper no limite de escoamento (500MPa), enquanto a região abaixo do consolo não foi rompida, mas recebeu uma compressão muito significativa. A figura 8 mostra o comportamento das barras de aço isoladamente.

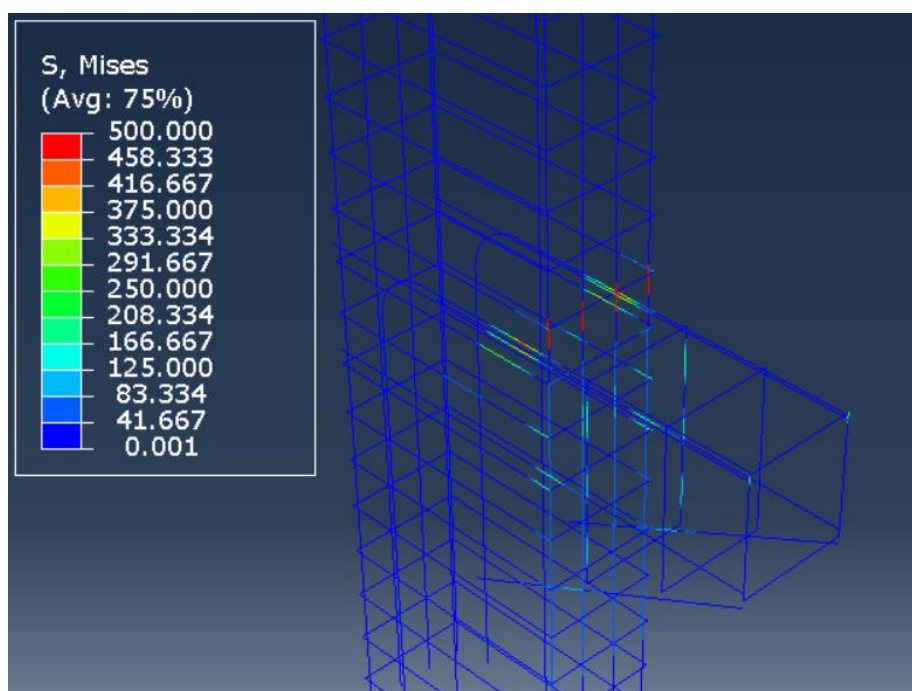


Figura 8 – Armadura de CA-50 atingiu limite máximo de escoamento, por tração acima do consolo, e por compressão abaixo dele. Fonte: autoria própria.

Também é possível perceber, na figura 8, que a armadura de dentro do pilar recebeu reflexos da fissuração, e também foi comprometida. A curva força versus deslocamento do modelo usando aço convencional é demonstrada na figura 9 a seguir, com o passo de carga máxima de 403,154kN no deslocamento de 0,314mm.

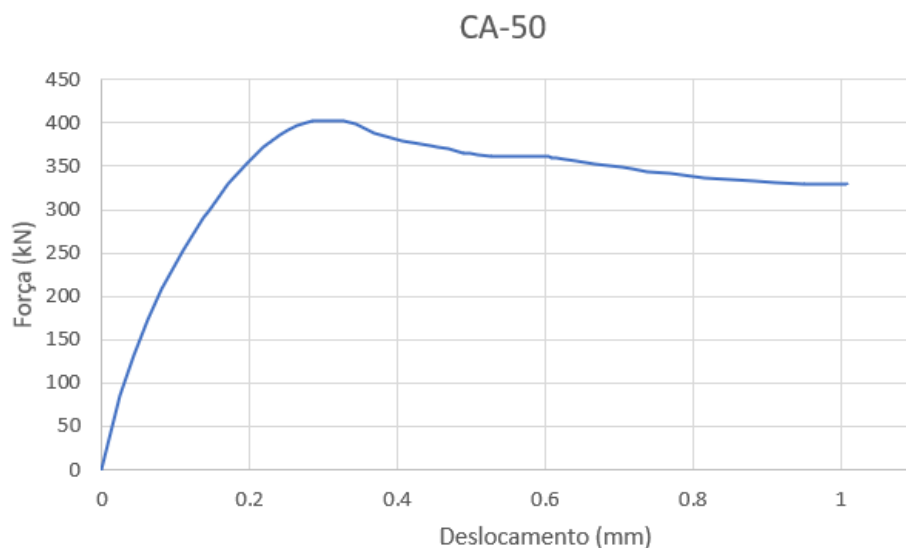


Figura 9 – Curva força versus deslocamento do consolo usando armadura em aço convencional.

Fonte: autoria própria.

A próxima simulação foi feita com o mesmo modelo, mantendo todas as características idênticas para uma comparação precisa e justa, mas desta vez utilizando armadura com aço de alta resistência (“CA-70”). A fissuração do concreto ocorreu numa região muito próxima à anterior, também com reflexos no pilar. A figura 10 mostra o momento do pico de tensão, no qual o concreto fissa. Quando isso ocorre, a armadura é sobrecarregada e acaba plastificando, causando a deformação do consolo.

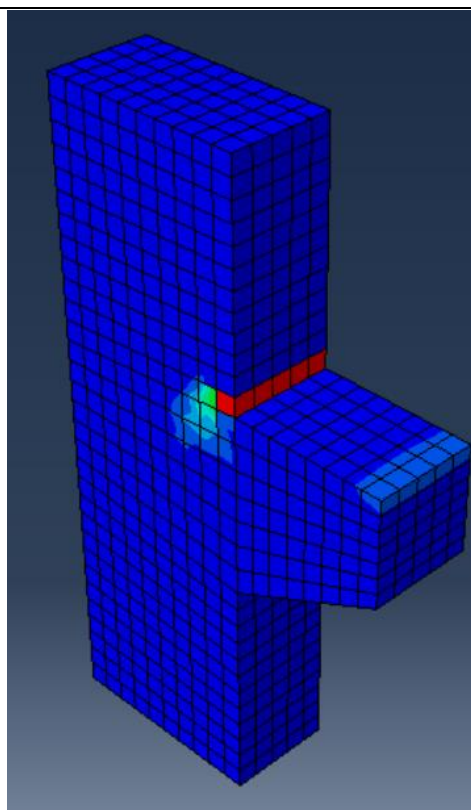


Figura 10 – Fissuração do concreto no pico de tensão após simulação com aço de alta resistência.

Fonte: autoria própria.

Analisando a armadura de alta resistência separadamente nota-se um comportamento muito semelhante, mais uma vez. As barras de aço logo acima do consolo foram tracionadas até a falha, enquanto nos outros pontos que sofreram efeitos da tensão, foi notada uma compressão significativa. A maior discrepância, que ainda assim não é tão grande, é na armadura do pilar, que no caso do “CA-70” não alcançou o limite de escoamento, mas no CA-50 ele foi alcançado. A figura 11 mostra esse comportamento da armadura.

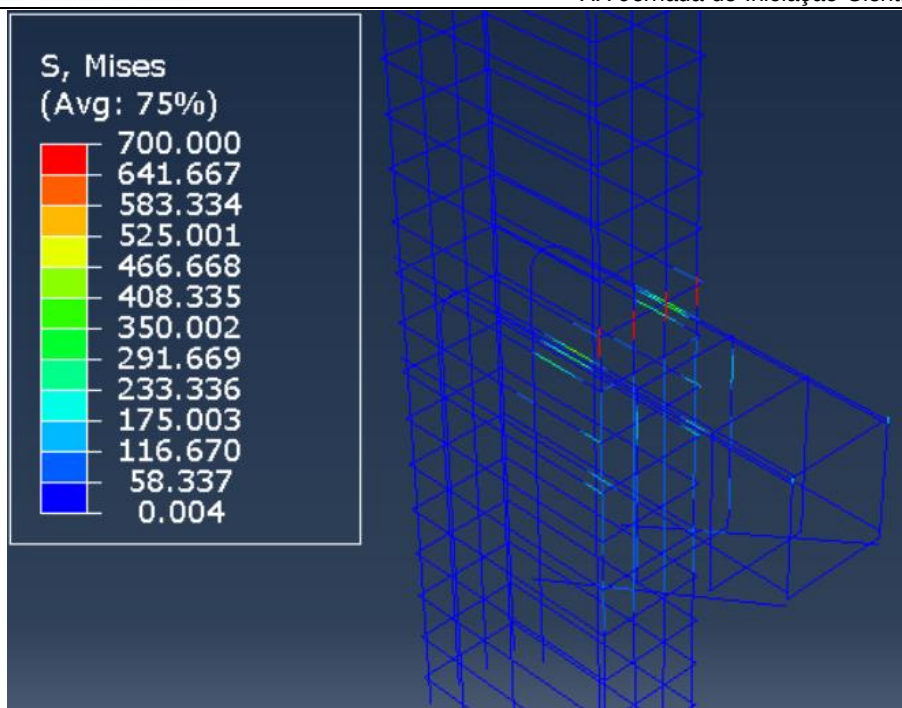


Figura 11 – Armadura de “CA-70” atingiu limite máximo de escoamento, por tração acima do consolo, e por compressão abaixo dele. Fonte: autoria própria.

A curva força versus deslocamento do mesmo modelo é descrita na figura 12 a seguir, com uma carga de pico de 401,924kN no momento de deslocamento de 0,309mm. Tanto a carga de pico quanto o deslocamento nela são extremamente próximos.

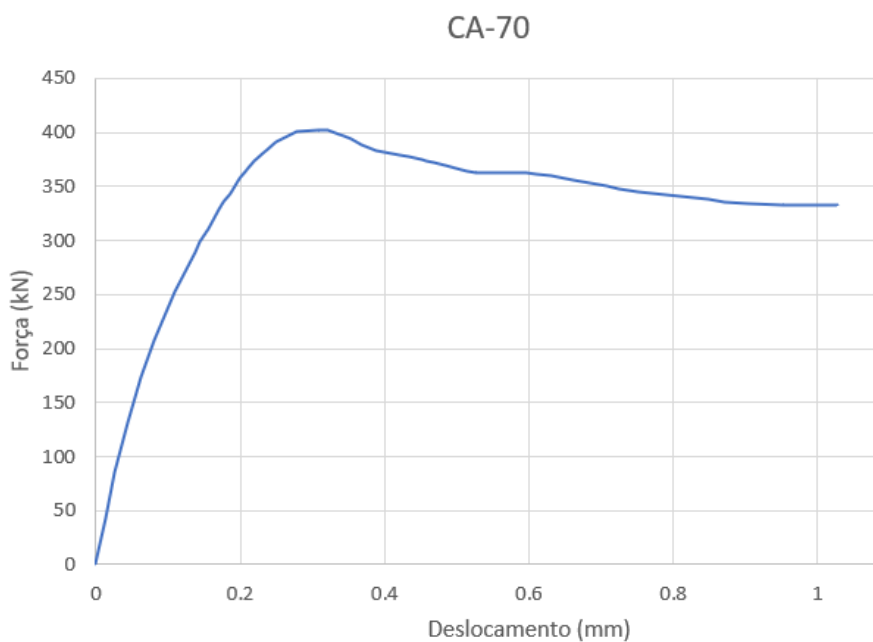


Figura 12 – Curva força versus deslocamento do consolo usando armadura em aço de alta resistência. Fonte: autoria própria.

3.2 CONCLUSÕES

Com base nos resultados da simulação realizada no software ABAQUS, que utiliza o Método dos Elementos Finitos (MEF), observou-se que a diferença entre o desempenho das armaduras de aço convencional (CA-50) e de alta resistência (“CA-70”) foi mínima. O pico de carga registrado para o aço convencional foi de 403,154 MPa, enquanto o aço de alta resistência apresentou um valor ligeiramente inferior, de 401,924 MPa.

Para o melhor efeito comparativo entre as duas soluções, durante a simulação, as condições de carga, as dimensões do consolo e a quantidade e posicionamento da armadura foram mantidas constantes, a fim de oferecer as mesmas condições em ambos os casos. Isso ressalta que, do ponto de vista das tensões desenvolvidas na superfície do consolo pré-moldado estudado, a utilização de aço de alta resistência não trouxe uma vantagem significativa no desempenho direto do elemento estrutural.

No entanto, é importante destacar que o uso de aço de alta resistência pode trazer outros benefícios importantes no projeto estrutural. Uma das principais vantagens é a possibilidade de redução da quantidade de aço necessária para atingir o mesmo desempenho estrutural que o aço convencional seria capaz. Com a maior resistência do material, menos armadura pode ser utilizada, o que pode resultar em economia de material, diminuição do peso da estrutura, melhor organização na obra e maior eficiência no processo construtivo. Ainda mais se o uso desse material for alinhado com a adoção de pré-moldados como sistema construtivo, que garante maior rapidez, agilidade, organização e menores custos para a obra.

Portanto, apesar dos resultados de tensão similares na simulação, o aço de alta resistência em consolos pré-moldados tende a ser vantajoso, especialmente em projetos que buscam otimização de recursos e redução de materiais, em elementos onde a quantidade e a densidade de armadura são fatores críticos. Esses fatores podem tornar o uso de “CA-70” uma escolha preferível em certas aplicações, contribuindo para a sustentabilidade e a eficiência econômica dos projetos de engenharia civil.

4 REFERÊNCIAS

ACI Structural Journal, title No. 119-S77. **OPTIMUM HIGH-STRENGTH REINFORCING BAR GRADE FOR REINFORCED CONCRETE FLEXURAL MEMBERS**. Technical paper, julho, 2022.

ARCELORMITTAL. **ArcelorMittal 50 Soldável de Alta Resistência. CA50 S AR**. 1. ed. ArcelorMittal, julho de 2023.



CRSI Technical Note. **Guide to the Use of Grade 80 Reinforcing Bars in ACI 318-19**. 2020.

CRSI Technical Note. **Guide to the Use of Grade 100 Reinforcing Bars in ACI 318-19**. 2020.

CURTY, Larissa Azevedo. **Estudo Experimental dos Consoles Curtos de Concreto Armado Reforçados com Compósitos de Fibras de Carbono**. PUC-Rio, agosto de 2009.

EL DEBS, Mounir Khalil. **CONCRETO PRÉ-MOLDADO: FUNDAMENTOS E APLICAÇÕES**. 2. ed. Oficina de Textos, 2017.

GERDAU. **VERGALHÃO GERDAU GG-70**. Gerdau, maio, 2022.

HORDIJK, Dirk Arend. **Local approach to fatigue of concrete**. 1991. Tese (Doutorado) – Delft University of Technology, Delft, 1991.

Contatos: lorenzzo.rossetti@rossettifilhos.com.br (IC)

pablo.krahl@mackenzie.br (Orientador)