

Estudo da capacidade portante de vigas de concreto armado submetidas à flexão com diferentes comprimentos de traspasse na armadura principal

Leonardo Thionfer Simon (1), Prof. MSc. Daiane dos Santos da Silva Godinho (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1) leonardothionfer@gmail.com, (2) dss@unesc.net

Resumo: Frequentemente, em estruturas de concreto armado, é necessário emendar barras de aço na armadura dos elementos estruturais, que ocorre quando há necessidade de vencer vãos maiores que doze metros (tamanho máximo em que as barras são comercializadas), ou para reaproveitamento de outros cortes, visando a economia dentro do canteiro de obras. Entre os diferentes tipos de emendas de barras que a norma recomenda, a mais utilizada na construção civil é a emenda por traspasse, principalmente pela sua facilidade e rapidez de execução. Essa emenda é realizada através da justaposição de barras na posição longitudinal, de maneira que os esforços de tração, a qual o elemento estrutural está submetido, seja integralmente transmitido entre uma barra e outra, garantindo a resistência necessária perante o esforço atuante. Sendo assim, neste estudo, foram ensaiadas nove vigas de concreto armado, com comprimento de 315 cm e seção transversal de 15 x 25 cm, submetidas à flexão, com diferentes comprimentos de traspasse na armadura principal tracionada. As vigas foram separadas em três grupos: Grupo A, com traspasses de 63 e 42 cm (calculados de acordo com a NBR 6118:2014), grupo B, com traspasses de 25,2 e 16,8 cm (40% inferior a norma) e, o grupo C, com armaduras montadas utilizando barras contínuas, que vão de apoio a apoio. Foram analisadas as fissurações, deslocamentos verticais, resistência para o deslocamento vertical máximo ($L/250$) e resistência até a ruptura das vigas. Os resultados indicam que os grupos A e B apresentam resistências similares, porém com eficiência menor quando comparado ao grupo C, causado pela falta de aderência entre o aço e o concreto na região da emenda por traspasse.

Palavras-chave: concreto armado; emenda por traspasse; comprimentos de traspasse; tensão de aderência aço-concreto.

Study of the load-bearing capacity of reinforced concrete beams submitted to bending with different lap lengths in the main reinforcement

Abstract: Frequently, in reinforced concrete structures, it is necessary to mend steel bars in the reinforcement of structural elements, which occurs when it is necessary to overcome gaps larger than twelve meters (the maximum size at which the bars are sold), or for reuse of others cuts, targeting the economy within the construction site. Amongst the different types of bar splices

recommended by the standards, the most used in civil construction is the lap splice, mainly for its ease and speed of execution. This splice is performed by juxtaposition of bars in the longitudinal position, so that the traction efforts, to which the structural element is subjected, are fully transmitted between one bar and another, ensuring the necessary resistance against the acting effort. Therefore, in this study, nine reinforced concrete beams, with a length of 315 cm and a cross section of 15 x 25 cm, were submitted to bending, with different lengths of lapping on the tensioned main reinforcement. The beams were separated into three groups: Group A, with 63 and 42 cm laps (calculated according to NBR 6118:2014), group B, with 25.2 and 16.8 cm laps (40% below the standard), and group C, with reinforcements mounted using continuous bars, which go from support to support. Cracks, vertical displacements, resistance to the maximum vertical displacement ($L/250$) and resistance until the breaking of the beams were analyzed. The results indicate that groups A and B present similar resistances, however with lower efficiency when compared to group C, due to the lack of adhesion between steel and concrete in the lap splice region.

Key-words: reinforced concrete; lap splice; lap lengths; steel-concrete bond stress.

Introdução

O concreto obtido através da mistura entre cimento, agregado graúdo, agregado miúdo e água, é ainda o material mais empregado nos tempos atuais da construção civil, por ser um material que tem boa trabalhabilidade, satisfatória capacidade de se moldar a diferentes tipos de estruturas, proporcionando mais opções de variações arquitetônicas, possui adensamento fácil, dentre outras características. Porém, sozinho não é adequado, haja visto que possui alta resistência a compressão, em contrapartida sua resistência a tração é baixa (cerca de 10% da sua resistência a compressão). Sendo a flexão o esforço mais comum encontrado em vigas, surge a necessidade de aliar ao concreto um material que desempenhe o papel de absorver os esforços de tração e apresente a maior capacidade de deformação, sendo mais comum a utilização do aço (CARVALHO; FILHO, 2014).

Segundo Carvalho e Filho (2014, p. 21), “o concreto e o aço têm coeficientes de dilatação térmica próximos e o concreto, ao envolver o aço, o protege satisfatoriamente, em condições normais, contra a oxidação e altas temperaturas”. Tais propriedades são fundamentais para o comportamento do concreto armado, pois em dias muito frios ou muito quentes, as estruturas dilatam e retraem, e a semelhança de dilatação entre os dois materiais diminui a incidência de fissuras e outras patologias.

A aderência entre o concreto e o aço é responsável pela ancoragem das armaduras e evita o escorregamento entre os dois materiais, ou seja, a aderência é fundamental para a existência das estruturas de concreto armado (TAVARES, 2014).

Segundo Fusco (1995, p. 135), a aderência existente entre a armadura de aço e o concreto permite o uso simultâneo dos dois materiais em peças estruturais, pois ela é responsável por transmitir ao aço os esforços de tração.

Segundo a NBR 6118:2014, item 9.3.2.1, o cálculo da resistência de aderência entre o aço e o concreto é necessário para o cálculo da ancoragem, comprimento das emendas e depende de diversos fatores, como por exemplo a rugosidade da superfície das barras, das situações de boa e má aderência, dos diâmetros de cada barra e da resistência do concreto.

As escolhas do tipo e diâmetros das barras de aço que irão compor o elemento estrutural, são obtidos através do dimensionamento. Para isso, são necessários os levantamentos das cargas atuantes e resistência dos materiais empregados.

As barras de aço, comercialmente, possuem comprimento máximo de 12 m, porém muitos elementos estruturais tem vãos maiores que essa dimensão, sendo necessário recorrer a utilização de emendas de barras. Segundo a NBR 6118:2014, “as emendas podem ser por traspasse, por luvas com preenchimento metálico, rosqueadas ou prensadas, por solda ou por outros dispositivos devidamente justificados”. Aliado a esse processo tem-se a questão econômica, que tem destaque entre os profissionais da construção civil, que incansavelmente buscam materiais eficientes de baixo custo e processos inovadores para reduzir o desperdício no canteiro de obras.

Segundo Casagrande (2010), para a execução das emendas de barras por traspasse há um desperdício de material, já para a execução das barras por solda não há desperdício, porém a mão de obra deve ser qualificada, visto que a norma exige a solda por caldeamento.

Devido a facilidade e rapidez na execução, a emenda por traspasse é o modelo mais utilizado na construção civil. Segundo a NBR 6118:2014, item 9.5.2.1, “consideram-se como na mesma seção transversal as emendas que se superpõem ou cujas extremidades mais próximas estejam afastadas de menos que 20% do comprimento do trecho de traspasse”.

De acordo com a NBR 6118:2014, existem fatores que influenciam no comprimento de traspasse. No caso de emendas na região comprimida da viga, tem-se o efeito favorável da pressão da ponta da barra e não é necessário que o comprimento seja majorado. Já no caso de

barras tracionadas o comprimento é majorado e o coeficiente depende da porcentagem de barras emendadas na mesma seção. Segundo a NBR 6118:2014, a emenda de barras introduz tensões de tração e de compressão no concreto na região da emenda, então deve-se limitar a quantidade de emendas em cada seção da peça. Em barras de alta aderência, quando as armaduras de tração estiverem dispostas em uma camada, emenda-se no máximo 100% das barras e, quando estiverem em mais de um camada, é permitido no máximo a emenda de 50% das barras.

Marcon e Silva (2014) confeccionou três vigas com comprimento de traspasse de 95 cm e três com comprimento de 21 cm. Segundo ensaios, o grupo com traspasse de 21 cm chegou a ruptura antes mesmo de atingir o deslocamento máximo de utilização ($L/250$).

Santos (2016) realizou um estudo com diferentes comprimentos de traspasse submetidos à flexão, dividindo o ensaio em três grupos. As barras com emenda, emendas com um número 36,37% abaixo do permitido por norma e sem emendas, iniciaram a fissuração com carga semelhante e nos dois primeiros grupos ocorreram na região do início do traspasse, enquanto que no grupo sem emenda as vigas sofreram fissuração no centro. E para os três grupos não houve fissuração longitudinal. O autor afirma que as vigas do grupo com traspasse calculado conforme a norma, sofreram rupturas com um valor 9,17% superior ao grupo fora de norma e sem emendas, sendo que os dois últimos grupos apresentaram resultados praticamente iguais.

Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo a análise experimental do comportamento de nove vigas de concreto armado dimensionadas com diferentes comprimentos de traspasse na armadura principal tracionada, que se localizam em distintas seções transversais. Os resultados serão comparados com os obtidos no estudo de Santos (2016), que utiliza a mesma área de aço, porém armadas com duas barras de aço (CA50) de 12,5 mm de diâmetro como armadura de combate à flexão, dispostas em uma camada e com emendas situadas na mesma seção transversal. As vigas são submetidas a ensaios de flexão a quatro pontos para a determinação da carga para o limite de deslocamento vertical ($L/250$) estipulado pela NBR 6118:2014, carga de ruptura, análise das fissurações, além do momento máximo resistido pelas vigas, para a análise das diferenças de capacidades portantes dos três tipos de grupos.

Materiais e Métodos

Para o estudo da capacidade portante de vigas de concreto armado submetidas à esforços de flexão com diferentes comprimentos de traspasse na armadura de tração, foram fabricadas nove vigas de concreto armado com comprimento total de 315 cm, proporcionando consequentemente um vão teórico de 305 cm, com seção transversal de 15 x 25 cm.

Para a armadura principal tracionada foram utilizadas cinco barras de aço (CA 50) com \varnothing de 8.0 mm dispostas em duas camadas, que proporcionou uma área de aço total de 2,5 cm². As barras de aço (CA60) de \varnothing 5.0 mm foram utilizadas como porta estribos.

Para os estribos foi utilizado como base o modelo 1 de cálculo da NBR 6118:2014. Os estribos possuem inclinação de 90 graus, enquanto que as bielas de compressão são inclinadas a 45 graus. Todos os estribos utilizados foram de \varnothing 5.0 mm, com espaçamento longitudinal de 10 cm, de acordo com o estudo de Santos (2016), para efeito de comparação.

As nove vigas foram divididas em três grupos (A, B e C), onde o grupo A foi dimensionado de acordo com o especificado por norma, o grupo B teve seu comprimento de traspasse reduzido em 40% do permitido por norma e o grupo C foi executado com barras de aço contínuas, que foram de apoio a apoio.

A tensão de aderência entre o aço e o concreto foi calculada conforme a NBR 6118:2014, item 9.3.2.1. Os coeficientes de cálculo foram utilizados levando em consideração o fato das barras serem nervuradas (2,25), o diâmetro da bitola ser inferior a 32 mm (1,00) e se situarem em região de boa aderência (1,00).

Com isso, o grupo A possuiu três comprimentos de emenda distintos, sendo duas emendas com 63 cm e outra com 42 cm. Os comprimentos de traspasse foram obtidos através da multiplicação dos comprimentos de ancoragem por 1,8 e 1,2 respectivamente. Os coeficientes de majoração foram adotados através da proporção máxima de barras tracionadas emendadas na mesma seção. Para o caso em estudo, as porcentagens das barras emendadas na mesma seção foram de 40% (localizados nas extremidades do vão) e de 20% (localizado no centro do vão). Com base nas porcentagens obtidas, foi possível determinar os valores dos coeficientes segundo a tabela 9.4 da NBR 6118:2014.

O grupo B teve comprimentos de traspasse de 25,2 e 16,8 cm, com índice de redução de 40% em relação ao grupo A. Já o grupo C, foi composto por armaduras de tração contínuas.

Os três grupos de vigas estão representados conforme as Figuras 1, 2 e 3, respectivamente.

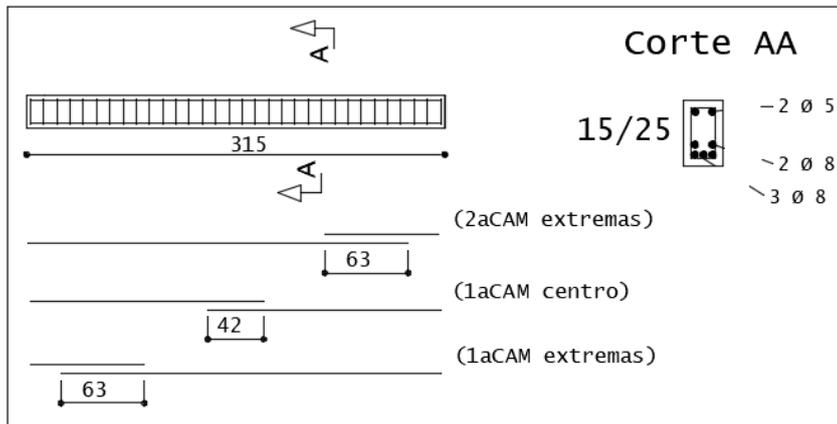


Figura 1. Vigas do Grupo A

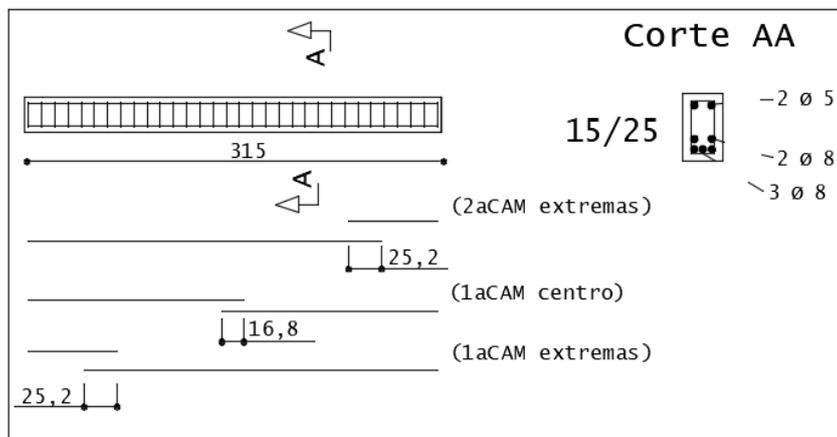


Figura 2. Vigas do Grupo B

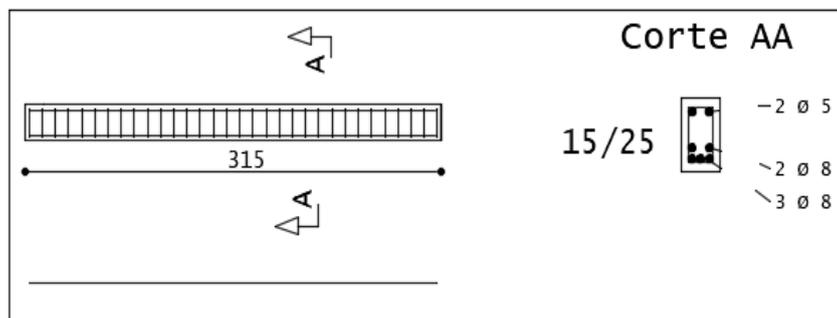


Figura 3. Vigas do Grupo C

Após o dimensionamento das armaduras, foi realizada a montagem das fôrmas das vigas. Para isso, foi utilizada madeira do tipo pinus com espessura de 2,50 cm (Figura 4-a) com o intuito de garantir a estanqueidade do concreto e dimensões das estruturas projetadas.

As barras de aço foram cortadas, dobradas e montadas (Figura 4-b) fora do local da concretagem, conforme o especificado em projeto. As barras utilizadas como estribos foram dobradas com pinos conforme recomenda a NBR 6118:2014. Para a amarração das armaduras foi utilizado arame recozido número 18.

Após a montagem e recebimento, as armaduras foram posicionadas dentro das fôrmas com o auxílio de espaçadores plásticos (Figura 4-c), a fim de garantir o cobrimento de 30 mm, tendo como parâmetro a classe II de agressividade, segundo a NBR 6118:2014, para ambientes urbanos, onde o risco de deterioração da estrutura é pequeno. Os espaçadores possuem como propósito, além de garantir o cobrimento, manter o correto posicionamento das armaduras.

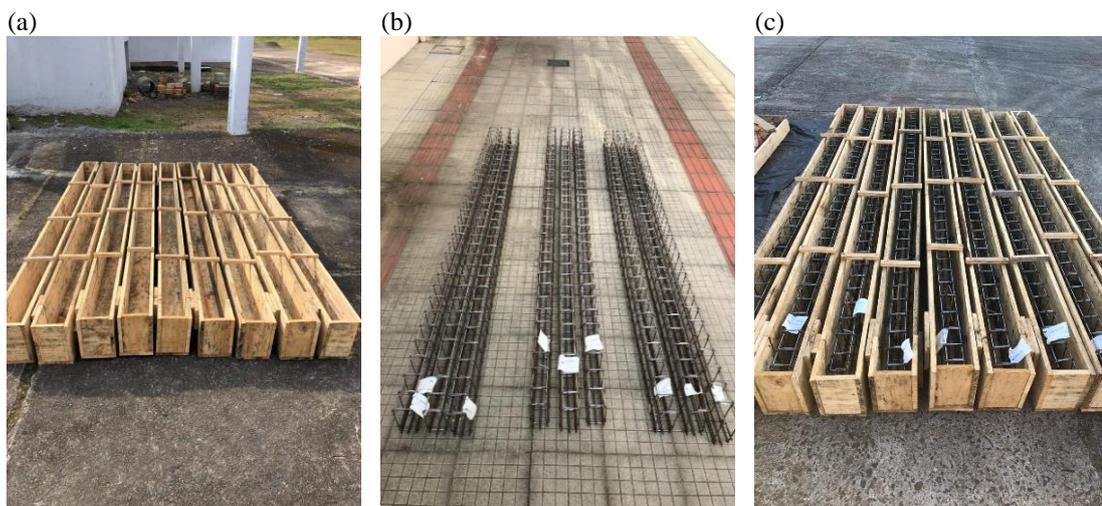


Figura 4. Armação das vigas: (a) fôrmas, (b) armaduras, (c) posicionamento das armaduras

Para a concretagem das vigas e corpos de prova, foi utilizado concreto usinado de resistência equivalente à 20MPa, para efeito de comparação ao estudo de Santos (2016). Após o recebimento do concreto, o material foi coletado para a realização do ensaio de abatimento do tronco de cone (*Slump Test*), para a verificação da trabalhabilidade do concreto, conforme orientação da NBR NM 67:1998. O abatimento ficou em 8 cm para as vigas em estudo. A Figura 5 apresenta (a) primeira camada do teste, (b) a finalização do preenchimento do molde e (c) a verificação do abatimento.

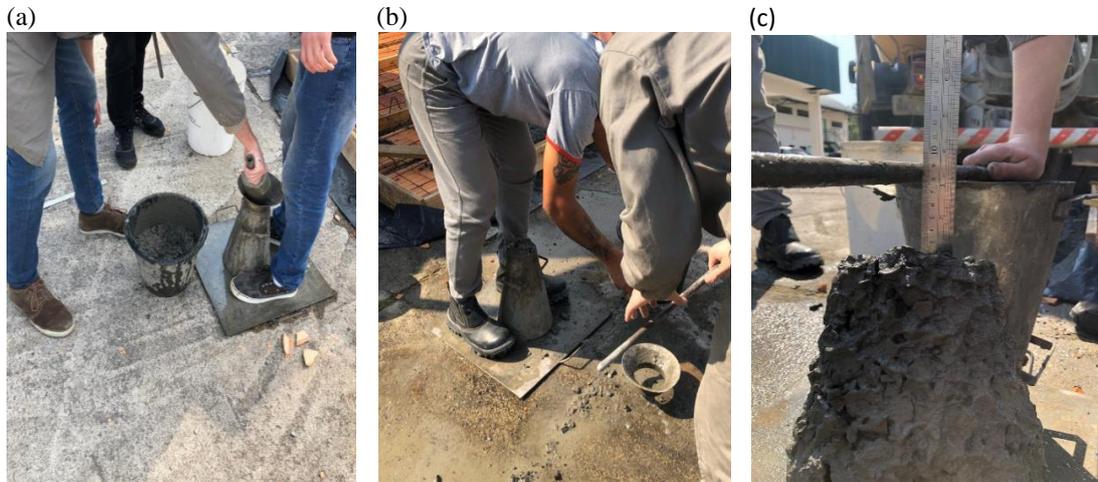


Figura 5. Slump Test: (a) primeira camada do teste, (b) finalização do preenchimento do molde, (c) verificação do abatimento

Em seguida foram moldados nove corpos de provas cilíndricos com \varnothing 10 cm e altura de 20 cm, com o objetivo de determinar as propriedades mecânicas do concreto, resistência à compressão axial, tração por compressão diametral e módulo de elasticidade.

Após a moldagem dos corpos de provas, as vigas foram concretadas. Para o adensamento foi utilizado vibrador por imersão, com o intuito de proporcionar ao concreto menos porosidade e mais uniformidade, o tornando menos permeável, impedindo assim a entrada de água e outros agentes agressivos. Após a concretagem iniciou-se o processo de cura por aspersão de água, que durou sete dias, conforme orientações da NBR 14931:2004. A Figura 6 apresenta os (a) corpos de prova, (b) a vibração do concreto e (c) as vigas concretadas.

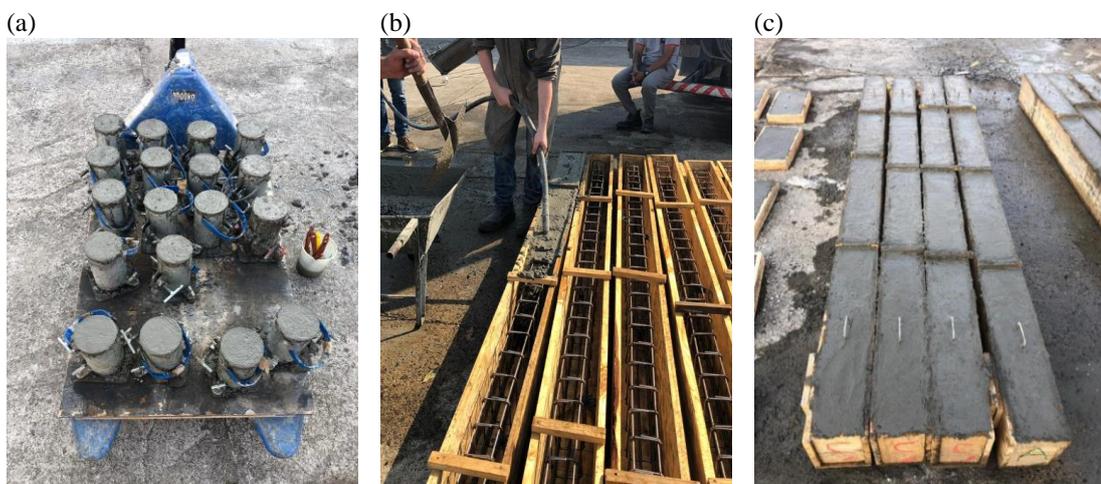


Figura 6. Processo de concretagem: (a) corpos de prova, (b) vibração do concreto, (c) vigas concretadas

A desforma das vigas ocorreu 15 dias após a concretagem e os ensaios de compressão axial, tração por compressão diametral e módulo de elasticidade dos corpos de provas cilíndricos foram realizados aos 32 dias. O ensaio de flexão a quatro pontos dos três grupos de vigas ocorreu aos 29 dias, conforme indica a Figura 7.

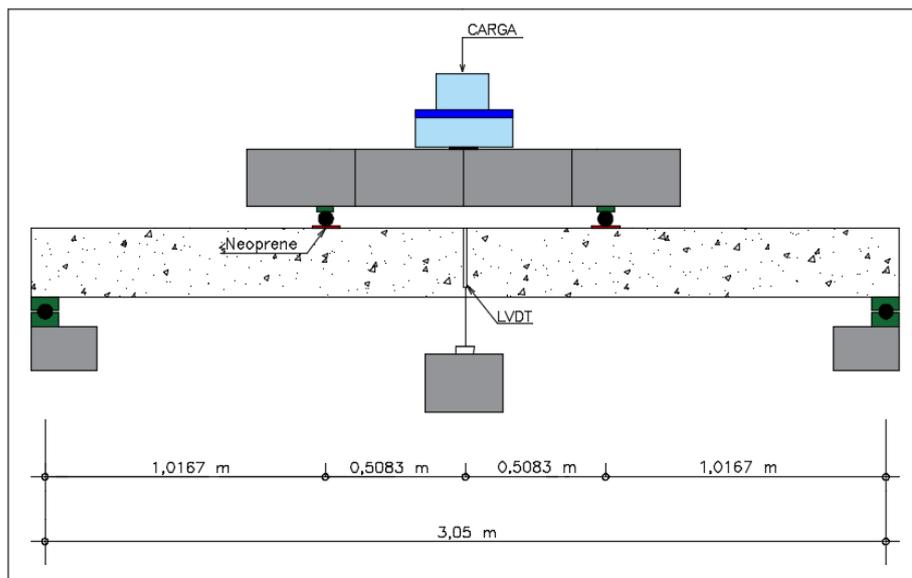


Figura 7. Ensaio de flexão a quatro pontos

Os ensaios foram executados no Laboratório Experimental de Estruturas (LEE), com utilização do pórtico metálico e cilindro hidráulico com capacidade de carga de 500 kN. As vigas foram aparelhadas no centro do vão teórico, com dois transdutores de deslocamento (LVDT), com leitura de 100 mm.

Neste ensaio obteve-se a carga necessária para o deslocamento vertical máximo de serviço permitido e a carga para ruptura. Conforme a NBR 6118:2014, obtém-se o deslocamento máximo dividindo o vão teórico da viga por 250 ($L/250$), resultando em 1,22 cm para as vigas em estudo.

Resultados e Discussões

Os ensaios dos corpos de prova foram realizados aos 32 dias, para controle tecnológico do concreto. Os resultados dos ensaios de compressão axial, tração por compressão diametral e módulo de elasticidade encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Controle tecnológico do concreto

Amostra	Resistência à Compressão Axial (MPa) – 32 dias	Tração por Compressão Diametral (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)
CP1	11,0	1,89	26,10
CP2	10,8	1,65	29,14
CP3	10,4	1,43	25,57
Média	10,73	1,66	26,94
Desvio Padrão	0,25	0,19	1,57

Conforme a Tabela 1, e seguindo os parâmetros da NBR 5739:2018, observou-se que o concreto não atingiu a resistência a compressão estipulada para o estudo. A tração por compressão diametral resultou em um valor de 1,66MPa, equivalente a 15,47% da compressão axial, superior aos limites de 8 a 15% descritos na norma NBR 7222:2011. O valor médio do módulo de elasticidade é 26,94GPa, correspondente ao módulo de deformação tangente inicial, conforme proposto pela NBR 8522:2008.

Os valores obtidos para as cargas na flecha máxima de 1,22 cm estão representados na Tabela 2 e os valores para carga de ruptura das vigas encontram-se na Tabela 3.

Tabela 2. Carregamento no L/250

Grupo Amostra	A (N) (kN)	B (FN) (kN)	C (SE) (kN)
1	29,37	29,39	30,29
2	30,72	30,43	28,08
3	30,95	30,30	27,07
Média	30,35	30,04	28,48
Desvio Padrão	0,70	0,46	1,34

Constatou-se que para as vigas do grupo A, foi necessário um carregamento 6,57% superior ao grupo C. Para o grupo A e B, atingiu-se o deslocamento máximo permitido por norma praticamente com a mesma carga, apesar das diferenças de dimensionamento entre elas. O grupo C, foi o que atingiu a flecha máxima com o menor carregamento.

Tabela 3. Carregamento na ruptura

Grupo Amostra	A (N) (kN)	B (FN) (kN)	C (SE) (kN)
1	44,91	44,88	51,34
2	48,27	46,05	48,96
3	47,38	45,56	49,25
Média	46,85	45,50	49,85
Desvio Padrão	1,42	0,48	1,06

Para a carga na ruptura, as vigas do grupo C, com barras levadas de apoio a apoio, sofreram ruptura com valor 6,40% superior ao grupo A e 9,56% superior ao grupo B. Os grupos A e B, com traspasse de norma e fora de norma, mostraram resultados estatisticamente iguais.

As figuras 8 e 9, demonstram o comportamento dos três grupos de vigas para o deslocamento máximo permitido por norma e para a ruptura.

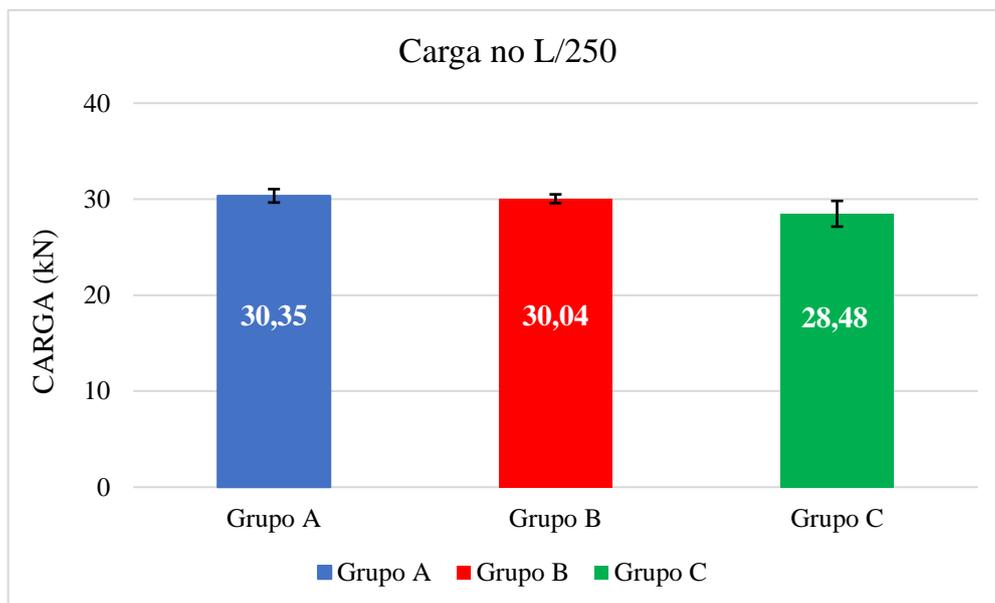


Figura 8. Carregamento no L/250

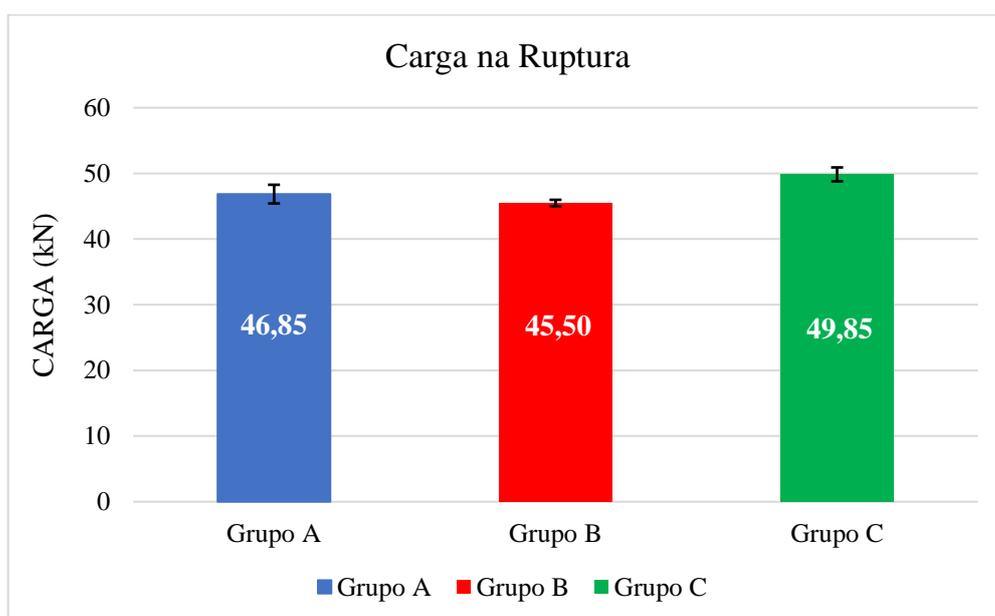


Figura 9. Carregamento na ruptura



Para a verificação da igualdade estatística entre as médias das amostras, tanto para o ensaio de carregamento do deslocamento máximo (L/250) quanto para a carga de ruptura, utilizou-se a análise de variância (ANOVA), com nível de confiança de 95%, que possui como finalidade avaliar as distâncias entre as médias de cada grupo em relação à média global, indicando ou não variância. Os resultados para o L/250 estão demonstrados na Tabela 4.

Tabela 4. ANOVA para L/250

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	6,01209	2	3,00604	2,39727	0,17173	5,14325
Dentro dos grupos	7,52367	6	1,25394		$\alpha = 0,05$	
Total	13,53576	8				

Para a flecha máxima estipulada por norma, a análise encontrou um valor de F abaixo do Fcrítico, e um valor de P maior que α (0,05). Portanto, constatou-se que não há diferença estatística entre as amostras.

Os resultados da variância estatística entre as amostras para a carga de ruptura encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5. ANOVA para ruptura

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	29,77207	2	14,88603	8,82263	0,01634	5,14325
Dentro dos grupos	10,12353	6	1,68726		$\alpha = 0,05$	
Total	39,8956	8				

Já para a ruptura, obteve-se um valor de F acima do Fcrítico, e o valor de P mostrou-se menor que α (0,05), ou seja, a análise indicou que há diferença estatística entre as amostras, tornando-se indispensável a utilização do método de TUKEY para a verificação de quais amostras se diferenciam. Os resultados de TUKEY estão representados na Tabela 6.

Tabela 6. Modelo estatístico de Tukey

TUKEY			
Q	4,34		
Dms	3,25		
COMPARAÇÃO ENTRE AS MÉDIAS			
GRUPO A/B	1,36	< dms	=
GRUPO A/C	3,00	< dms	=
GRUPO B/C	4,35	> dms	≠



Com o modelo Tukey de cálculo estatístico foi possível verificar qual diferença estatística nos grupos foi indicado pela ANOVA. Portanto, ficou evidenciado que as amostras do grupo B são estatisticamente diferentes das amostras do grupo C.

Com base nos resultados plotados do gráfico da Figura 10 é possível observar o comportamento das médias de cada grupo com relação à carga x deslocamento até atingirem a ruptura.

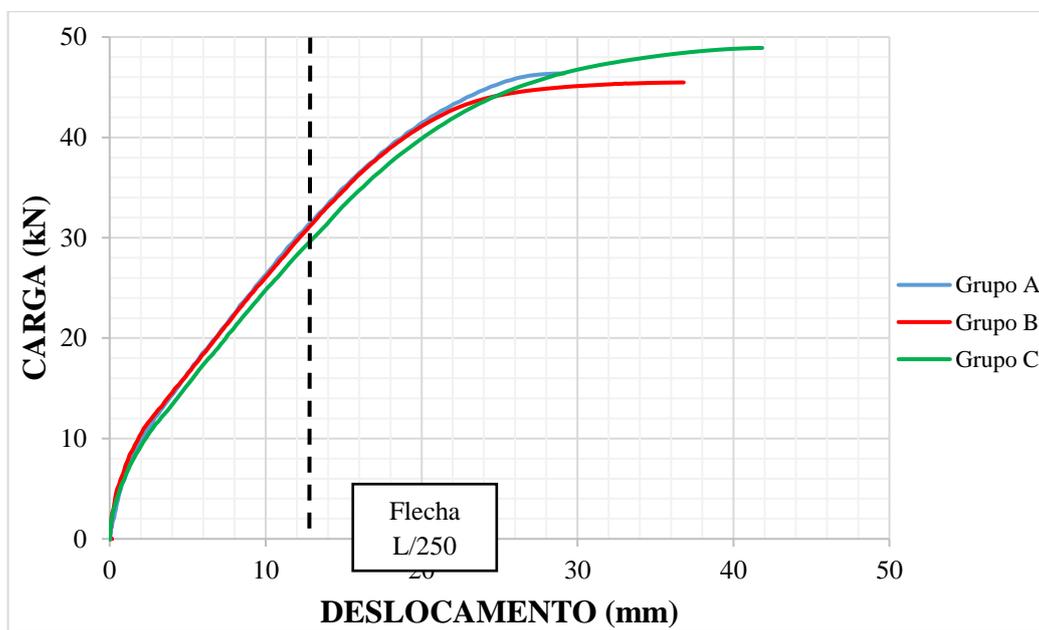


Figura 10. Curva carga x deslocamento

A partir do gráfico, foi possível observar que as vigas do grupo A e B atingiram cargas de ruptura semelhantes, com carga x deslocamento praticamente igual para a flecha máxima. Já as vigas do grupo C, atingiram a maior carga de ruptura, aliado ao maior deslocamento. Os resultados comprovam que a falta de aderência entre o concreto e o aço na região da emenda por traspasse foi fundamental para a ruptura das vigas dos grupos A e B.

Após o carregamento, observou-se que os três grupos de vigas iniciam a fissuração com carga semelhante, passando a atuar no estágio II de deformação, onde o concreto não resiste mais à tração. Nos grupos A e B, as fissuras ocorreram na região do início do traspasse central, não ocorrendo fissurações longitudinais. As mesmas tiveram início na região da borda tracionada e terminaram depois da linha neutra, caracterizando fissuras de flexão. As Figuras 11 e 12 evidenciam as fissuras dos dois grupos estudados.

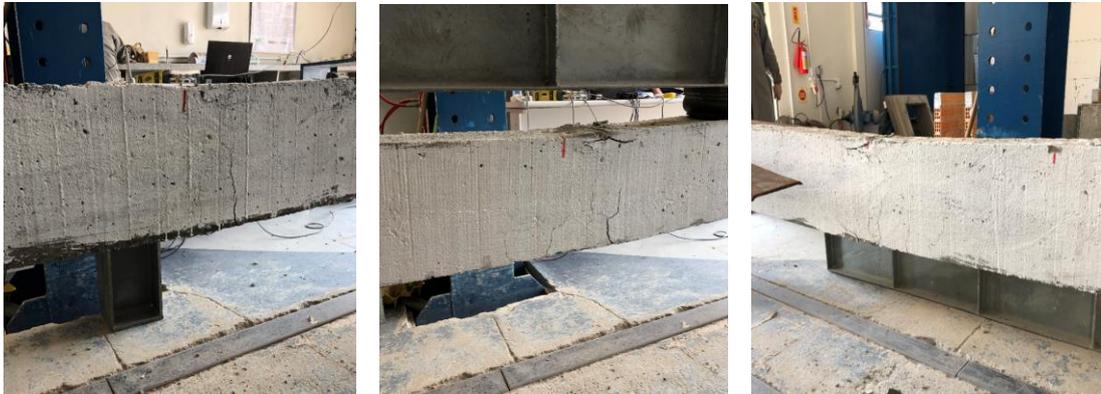


Figura 11. Fissuração das vigas do grupo A (N)

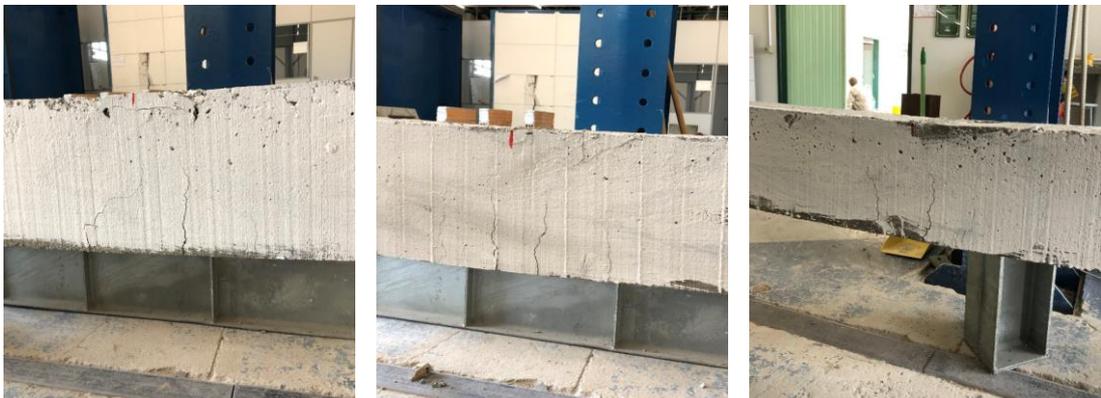


Figura 12. Fissuração das vigas do grupo B (FN)

Para o grupo C, as fissuras se concentraram no centro das vigas e foram até a linha neutra da peça, não apresentando, da mesma forma que os grupos A e B, fissuras longitudinais. A Figura 13 representa as fissurações deste grupo.



Figura 13. Fissuração das vigas do grupo C (SE)

Para os três grupos, é possível afirmar que a ruptura do concreto e o escoamento da armadura ocorreram simultaneamente, no estágio III de deformação, onde as fissuras tenderam a ultrapassar a linha neutra e o concreto acabou rompendo por plastificação.

Leonhardt e Mönnig (1997, p. 66) afirma que no estágio II, a viga possui comportamento elástico, enquanto que no estágio III o aço atinge o seu limite de escoamento, porém continua se deformando sem aumento significativo de tensão; a linha neutra desloca-se para cima e a zona de compressão do concreto diminui até o concreto atingir sua deformação plástica.

Os valores dos momentos de serviço e de cálculo estão demonstrados na Tabela 7.

Tabela 7. Momentos atuantes (kN)

M (kN)	Grupo A (N)	Grupo B (FN)	Grupo C (SE)
M _k	13,04	13,04	13,04
M _d	18,25	18,25	18,25
M _{ruptura}	24,91	24,22	26,43
M L/250	16,52	16,36	15,57

Para a realização da análise comparativa utilizou-se os resultados encontrados por Santos (2016) para flecha (L/250), além das cargas de ruptura. O autor separou as nove vigas em três grupos: grupo A (calculadas de acordo com a norma), grupo B (36,36% menor que o indicado pela norma) e grupo C (armadura com barras contínuas). A partir das Figuras 14 e 15 é possível visualizar os resultados obtidos.

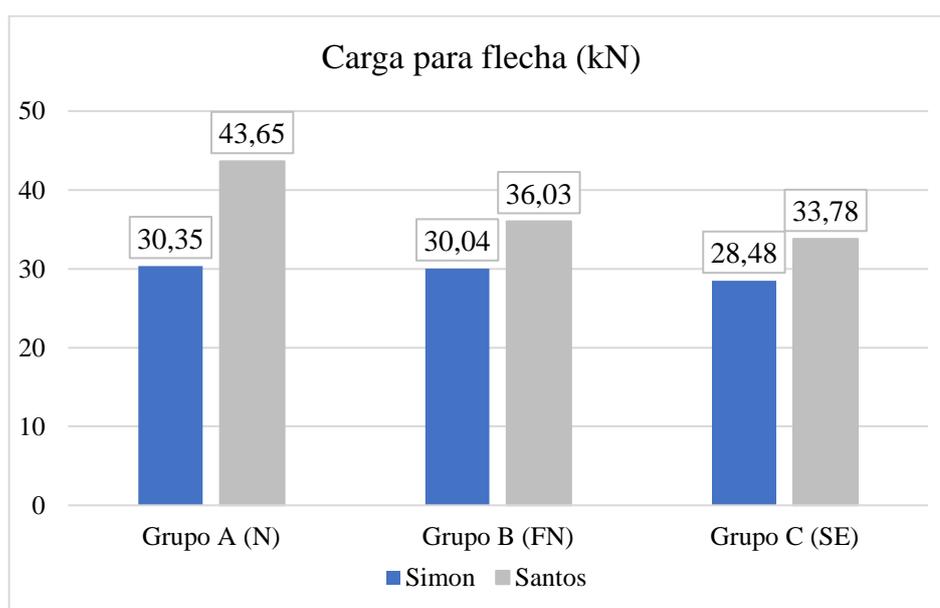


Figura 14. Carga para flecha (kN)

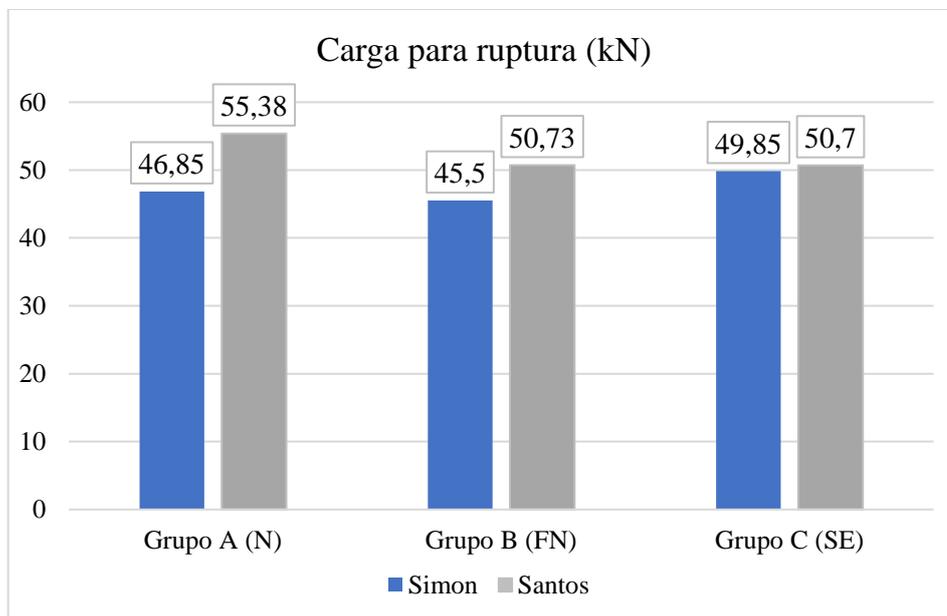


Figura 15. Carga para ruptura (kN)

A partir dos gráficos foi possível observar que para a carga de ruptura, o grupo C apresentou valores semelhantes, já para os grupos A e B os valores de Santos (2016) mostraram-se superiores. Tal superioridade é ocasionada pela falta de aderência na região do traspasse em função da resistência média do concreto ser de 10,73MPa, diferentemente do estudo de Santos que obteve como resistência média 22,02MPa.

Carvalho e Filho (2014, p. 228) afirma que a aderência entre o concreto e o aço é responsável por transmitir os esforços de tração para a armadura, fazendo com que os dois materiais trabalhem de maneira conjunta, garantindo que as barras de aço não deslizem dentro da massa de concreto.

Segundo a NBR 6118, a ancoragem está diretamente atrelada a resistência de aderência do concreto, que depende da sua resistência à compressão axial. Por sua vez, o concreto apresentou resistência inferior ao que foi adotado para o seu dimensionamento e por esse motivo, os resultados foram comprometidos. Sendo assim, ao substituir o f_{ck} de 20MPa por 10,73 MPa nas fórmulas da norma, seria exigido um traspasse maior. Com base nesses valores, os comprimentos de traspasse foram recalculados e resultaram em 95,4 e 63,6 cm, mostrando-se 51,43% maiores em relação aos comprimentos anteriormente calculados e adotados.

O Comitê Europeu Internacional Du Beton-Fip (1982) afirma que existem diversos fatores, além da resistência do concreto, que influenciam na tensão de aderência entre o aço e

o concreto, como por exemplo: a conformação superficial das barras, a posição das barras durante a concretagem, o diâmetro da armadura, a resistência de projeto do concreto à tração, entre outros. Sendo assim, é possível afirmar que o concreto de baixa resistência, influenciou de forma negativa nos resultados do estudo.

A partir do propósito de resistir as solicitações de carregamento e apresentar deslocamento vertical máximo dentro dos limites da NBR 6118:2014, para que o desempenho seja igual as vigas com barras contínuas, o grupo de referência para este estudo é o C (SE), de forma que os grupos A e B compararam-se a este para medir o comportamento de cada viga estudada.

Conclusão

No que diz respeito ao carregamento para a ruptura, as vigas do grupo C (compostas por barras contínuas) apresentam resultados superiores ao grupo A (calculadas de acordo com a NBR 6118:2014) e ao grupo B (40% abaixo do especificado pela norma). Os resultados inferiores ao grupo C ficam caracterizados pela falta de aderência entre o aço e o concreto, principalmente nas regiões das emendas, em função do concreto possuir resistência média à compressão axial de 10,73MPa.

Para a flecha máxima ($L/250$) os grupos A e B mostram cargas semelhantes e deslocamentos praticamente iguais, enquanto que o grupo C precisa da menor carga para atingir o deslocamento vertical máximo.

A NBR 6118:2014 indica que os traspases podem ser executados em diferentes seções, desde que respeitem a proporção máxima de emendas na mesma seção. Para o estudo tem-se a proporção máxima de 40%, sendo que as barras de tração possuem mais de uma camada, diferentemente do que ocorre com o estudo de Santos (2016), que possui 100% das emendas na mesma seção, situadas na região central das vigas. A partir disso, a análise aponta que os resultados mostram-se comprometidos, não tendo como parâmetro um comparativo eficaz entre os resultados obtidos, em função do concreto não apresentar a resistência de dimensionamento de 20MPa.

Finalmente, é possível afirmar que para este estudo, o traspasse inicialmente calculado de acordo com a norma não se aplica, pois apresenta resultados inferiores ao grupo de referência

e não garante a resistência de aderência necessária para a flexão. Do ponto de vista da eficiência e segurança os traspases foram recalculados tendo como base o f_{ck} de 10,73Mpa, que resulta em comprimentos de emendas de 95,4 e 63,6 cm, mostrando-se 51,43% maior do que o comprimento anteriormente adotado.

Sugestões para trabalhos futuros:

- ✓ Realizar o mesmo estudo porém com concreto em conformidade.
- ✓ Estudar vários detalhamentos com diferentes diâmetros e área de aço igual.

Referências

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto – Procedimentos, Rio de Janeiro. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – ensaio de compressão de corpos de prova cilíndrico. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222**: Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522**: Concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de provas cilíndricos. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado Segundo a NBR 6118:2014**. 3ª ed. São Carlos: Editora UFSCar, 2015. 415p.

Fusco, P. B. **Técnica de Armar as Estruturas de Concreto**. 1ª ed. São Paulo: Editora Pini Ltda, 1995. 382p.

LEONHARDT, F.; Mönnig, E. **Construções de Concreto: Princípios Básicos Sobre a Armação de Estruturas de Concreto Armado**. Volume 3. Rio de Janeiro: Editora Interciência Ltda, 1978. 273p.

LEONHARDT, F.; Mönnig, E. **Construções de Concreto: Princípios Básicos do Dimensionamento de Estruturas de Concreto Armado**. Volume 1. Rio de Janeiro: Editora Interciência Ltda, 1977. 305p.

SANTOS, A. **Estudo da Capacidade Portante de Vigas de Concreto Armado Submetidos à Flexão Com Diferentes Comprimentos de Traspasse na Armadura Principal**. 2016. 20f. Artigo Científico (Graduação) – Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2016.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. European Union, 1992-1-1:2004.

MARCON, J. P. B.; SILVA, B. V. **Estudo de Vigas de Concreto Armado Submetidas à Flexão com Diferentes Comprimentos de Traspasse na Armadura Principal**. 2014. 18f. Artigo Científico (Graduação) – Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2014.

CASAGRANDE, R. W. **Análise da Eficiência da Solda de Topo em Relação à Emenda por Traspasse em Armadura de Concreto Armado**. 2010. 52f. Projeto de Pesquisa (Graduação) – Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2010.

TAVARES, A. J.; BARBOSA, M. P.; BITTENCOURT, T. N.; LORRAIN, M. Aderência aço-concreto: simulação numérica dos ensaios de arrancamento pull-out e apulot usando o programa ATENA. **Revista Ibracon**, p. 149. 13 fev. 2014.

QUINTANA, C.B.; GUIMARÃES, G.B.; SHEHATA, L. D. Comportamento de emenda por traspasse de barras comprimidas em contato e separadas. **Revista Ibracon**, p. 274. Set. 2008.

BASTOS, P. S. S. **Ancoragem e emenda de armaduras**. Bauru: Sem editora, 2018. 44p.

Comitê Euro-International Du Beton – Bond action and bond behaviour of reinforcement. Paris, 1982. 153 p.