

## **ESTUDO EXPERIMENTAL DA ARMADURA MÍNIMA DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO SEGUNDO A NBR 6118:2014**

**RENNAN LIBERATO RODRIGUES<sup>1\*</sup>, EMANOEL CUNHA ARAÚJO<sup>2</sup>, LOHHANA PESSOA LINHARES<sup>3</sup>, RICARDO JOSÉ CARVALHO SILVA<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Acadêmico de Engenharia Civil, Universidade Estadual Vale do Acaraú, Sobral -CE, [rennanliberato@outlook.com](mailto:rennanliberato@outlook.com)

<sup>2</sup>Acadêmico de Engenharia Civil, Universidade Estadual Vale do Acaraú, Sobral -CE, [emanoel-cunha@hotmail.com](mailto:emanoel-cunha@hotmail.com)

<sup>3</sup> Engenheira Civil, Tianguá – CE, [lohana\\_lp@hotmail.com](mailto:lohana_lp@hotmail.com)

<sup>4</sup>Professor Doutor. Universidade Estadual Vale do Acaraú, Sobral –CE, [ricardo.carvalho222@gmail.com](mailto:ricardo.carvalho222@gmail.com)

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2017  
8 a 11 de agosto de 2017 – Belém-PA, Brasil

**RESUMO:** Após sete anos sem alterações significativas, em 2014, a ABNT NBR 6118, intitulada Projetos de Estruturas de Concreto – Procedimento, passou por um processo de correção e reelaboração de alguns de seus itens, incluindo o item que cita os processos para o dimensionamento de armaduras, modificando seus limites para redistribuição de momentos e as condições de ductibilidade das estruturas. Sendo assim, o presente trabalho traz uma breve análise sobre a mudança desses parâmetros, ilustrado com um estudo teórico-experimental com vigas de concreto armado. Foram confeccionadas 5 vigas – LP1, LP2, LP3, LP4 e LP5, sendo LP1, LP2 e LP3 dimensionadas com valores inferiores aos propostos na norma vigente, e LP4 e LP5 dimensionadas de acordo com versão mais recente da norma. Foram realizadas análises de flexão por meio do Ensaio de Sturttgart, acompanhada de deflectômetros que auxiliaram na medição da deformabilidade da viga. Os resultados obtidos mostram que as vigas que foram dimensionadas com valores menores aos da norma vigente não atingiram os requisitos de ductibilidade e resistência, enquanto as dimensionadas como é proposto pela norma, obtiveram êxito.

**PALAVRAS-CHAVE:** armadura, NBR 6118, estrutura.

### **CHANGES IN NBR 6118 AS THE MINIMUM ARMOR: A THEORETICAL-EXPERIMENTAL STUDY OF ARMED CONCRETE BEAMS**

**ABSTRACT:** After seven years without significant changes, in 2014, ABNT NBR 6118, entitled Projects of concrete structures - Procedure, underwent a process of correction and re-elaboration of some of its items, including the item that cites the processes for the dimensioning of reinforcements, Modifying its limits for redistribution of moments and the conditions of ductility of the structures. Thus, the present work brings a brief analysis on the change of these parameters, illustrated with a theoretical-experimental study with reinforced concrete beams. Five beams were made - LP1, LP2, LP3, LP4 and LP5, being LP1, LP2 and LP3 scaled with values lower than those proposed in the current standard, and LP4 and LP5 scaled according to the latest version of the standard. Flexural analysis was performed using the Sturttgart test, followed by deflectometers that aided in the measurement of beam deformability. The obtained results show that the beams that were dimensioned with smaller values than those of the current norm did not reach the requirements of ductility and resistance, while those dimensioned as proposed by the standard, were successful.

**KEY-WORDS:** reinforcements, NBR 6118, structure.

### **INTRODUÇÃO**

As estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas afim de atender os objetivos de conservar sua segurança, estabilidade e durabilidade durante a sua vida útil. A NBR 6118 (2014),

versão mais recente, traz como objetivo fixar requisitos básicos exigíveis para projetar e executar estruturas de concreto, avaliando o Estado Limite Último (ELU), situação em que a estrutura deixa de atender as finalidades de sua construção, tornando-se inseguras, e o Estado Limite de Serviço (ELS), quando a peça estrutural se torna inviável para uso.

Segundo Silva (2008), a NBR 6118 (2003) e sua respectiva atualização de 2007 trouxeram um avanço considerável para o cenário estrutural da época, trazendo em seu escopo uma série de alterações e inovações, comparada com a sua versão anterior, datada de 1980. Em sua mais recente atualização, a NBR 6118(2014) traz inúmeras modificações em seu texto, principalmente no que se refere as condições de limite último e condições de ductilidade, tornando-a mais rígida em relação a sua versão anterior.

De acordo com a NBR 6118 (2007), os limites para a redistribuição de momentos e condições de ductibilidade requerem uma atenção maior nas regiões onde as vigas estão apoiadas. No estado limite último, quanto menor a razão entre a profundidade da linha neutra ( $x$ ) e a altura útil da viga ( $d$ ), que determina a posição da linha neutra( $x/d$ ), maior é a capacidade de rotação da peça, ver Figura 1. Nesse caso, o aço torna-se fator limitante para a resistência da seção. Portanto, visando amenizar problemas e melhorar a ductibilidade na região dos apoios da viga, mesmo em casos em que as redistribuições de esforços não sejam feitas, o valor da razão  $x/d$ , para determinadas resistências característica do concreto ( $f_{ck}$ ), é dada pela seguinte equação:

$$x/d \leq 0,50 \text{ para concretos com } f_{ck} \leq 35 \text{ MPa} \quad (\text{Equação 1a})$$

$$x/d \leq 0,40 \text{ para concretos com } f_{ck} > 35 \text{ MPa} \quad (\text{Equação 1b})$$

Para fazer a redistribuição de esforço solicitado, nesse caso a de momentos, diminui-se o momento fletor ( $M_1$ ), multiplicando-o por um fator de redistribuição ( $\delta$ ), ver Figura 1. Segundo a NBR 6118(2007), a relação entre a posição da linha neutra ( $x/d$ ) e esse fator é representada pela equação 2:

$$\delta \geq 0,56 + 1,25 x/d \text{ para concretos com } f_{ck} > 35 \text{ MPa} \quad (\text{Equação 2a})$$

$$\delta \geq 0,44 + 1,25 x/d \text{ para concretos com } f_{ck} \leq 35 \text{ MPa} \quad (\text{Equação 2b})$$

Porém, com a atualização, a NBR 6118 (2014) muda esses parâmetros, o que muda todo o cálculo estrutural da peça. Segundo a norma citada, para proporcionar o melhor comportamento dúctil em vigas e lajes, é recomendado que a posição da linha neutra ( $x/d$ ) no estado limite último (ELU) seja dada pela seguinte equação:

$$x/d \leq 0,45 \text{ para concretos com } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \quad (\text{Equação 3a})$$

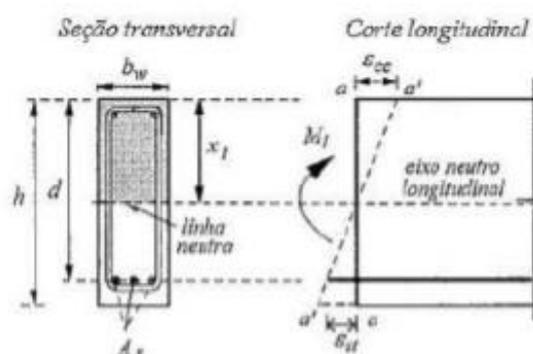
$$x/d \leq 0,35 \text{ para concretos com } 50\text{MPa} < f_{ck} \leq 90 \text{ MPa} \quad (\text{Equação 3b})$$

Na versão mais atualizada da norma em questão, o fator de redistribuição, que reduz o momento fletor, tem uma relação distinta com a posição da linha neutra ( $x/d$ ), como se pode notar na equação 4:

$$x/d \leq (\delta - 0,44)/1,25, \text{ para concretos com } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \quad (\text{Equação 4a})$$

$$x/d \leq (\delta - 0,56)/1,25, \text{ para concretos com } 50\text{MPa} < f_{ck} \leq 90 \text{ MPa} \quad (\text{Equação 4b})$$

Figura 1. Componentes virtuais da seção de uma viga



As duas normas recomendam que pode ser usado um fator de redistribuição diferente do recomendado, desde que a estrutura seja calculada mediante emprego de análise não linear ou de análise plástica, com verificação explícita da capacidade de rotação das rótulas plásticas.

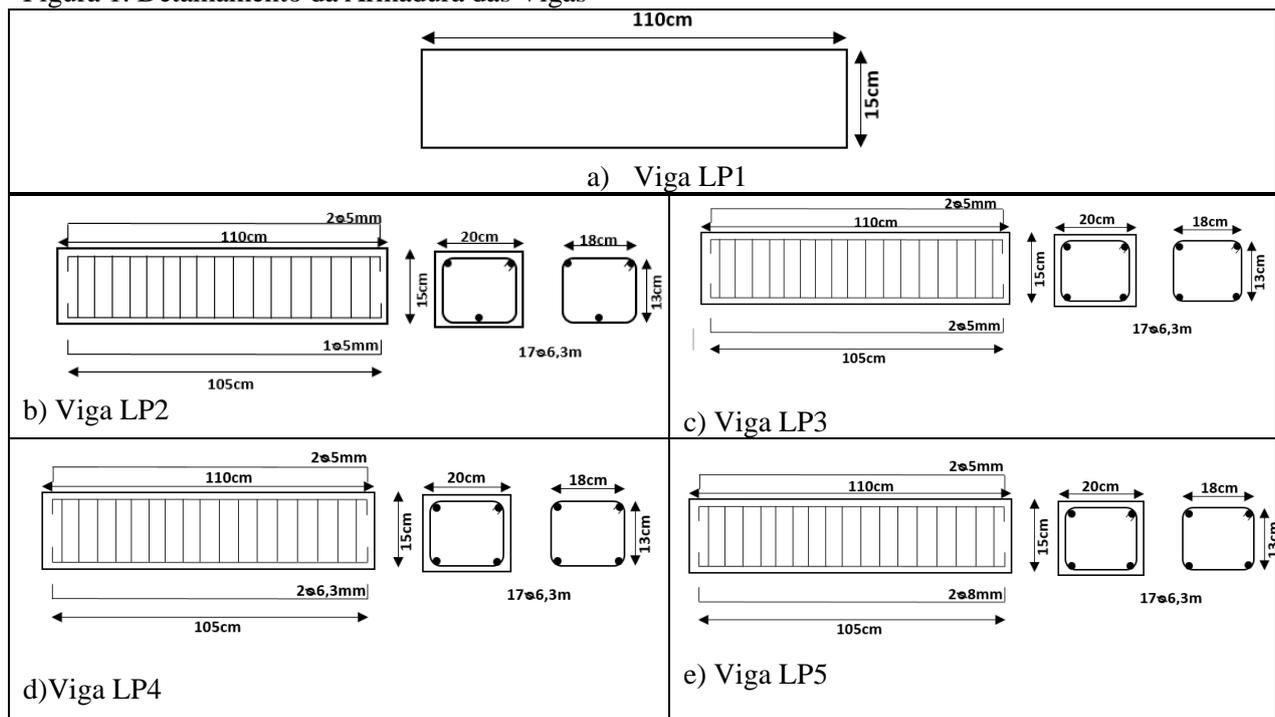
Visto tais diferenças, este trabalho visa atestar os novos métodos de cálculo proposto pela NBR 6118 (2014) a partir da análise de cinco vigas de concreto denominadas de série LP, onde as vigas LP1, LP2 e LP3 foram dimensionadas com valores inferiores aos exigidos na norma, sendo a viga LP1 dotada de nenhum tipo de armadura, e as demais tendo, em sua zona de flexão pura, uma barra de 5mm e duas barras de 5mm, respectivamente, sendo assim classificadas como peças de concreto simples estrutural. Já as vigas LP4 e LP5 foram corretamente dimensionadas, contendo em sua zona de flexão, com 2 barras de aço de 6,3mm e duas barras de aço de 8mm, respectivamente, sendo classificadas com vigas de concreto armado

As peças foram submetidas a esforços a fim de verificar deformações e rupturas, associando com o correto dimensionamento ou não da armadura em seu interior. As 5 vigas foram produzidas e ensaiadas pelo Grupo de Pesquisa de Estruturas e Materiais – GEM da Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA).

## MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse programa experimental, foram confeccionadas 5 vigas de seções retangulares de dimensões 20x15cm e com 110cm de comprimento, denominadas de Série LP. O concreto utilizado possui traço para atingir 30 MPa com 28 dias, com armaduras variadas em cada uma das vigas, como mostrado na figura 1.

Figura 1. Detalhamento da Armadura das Vigas

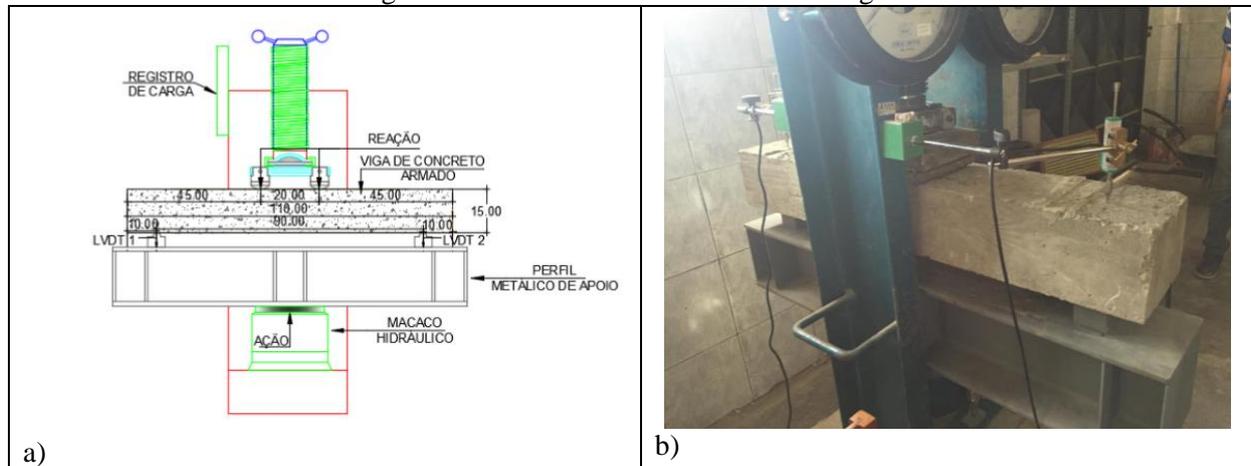


A viga LP1 não recebeu nenhum tipo de armadura ou reforço. Nas vigas LP2, LP3, LP4 e LP5 foram utilizadas duas barras nervuradas de aço CA-60 de 5mm como armaduras longitudinais secundárias, resistentes a compressão, e para os estribos foram utilizadas barras nervuradas de aço CA-50 de 6,3mm, espaçados. A viga LP2 teve sua armadura subdimensionada com apenas uma barra de aço de 5mm em sua zona de flexão. A viga LP3 também teve sua armadura dimensionada com valores inferiores aos da norma, com duas barras de aço de 5mm em sua zona de flexão. As vigas LP4 e LP5 foram dimensionadas de acordo com a norma, possuindo em sua zona de flexão duas barras de aço de 6,3mm e 8mm, respectivamente.

Para a aferição de resultados deste trabalho, foi utilizado o método de Ensaio de Stuttgart onde as cinco vigas foram biapoiadas simetricamente e gradualmente carregadas, com cargas de 10kN, como mostra a Figura 2. Após cada carregamento, foi observada a existência de fissuras e, com a

ajuda de um deflectômetro, foi medido a flecha causada por cada carregamento. Deste modo, foi possível estudar o comportamento da viga na região submetida à flexão pura (sem a presença do esforço cortante), no segmento central do vão, e flexão simples nos segmentos externos da viga e verificar os mecanismos de ruptura nas vigas estudadas e também a carga de ruptura, bem como a variação de deformação.

Figura 2. Detalhamento do Ensaio de Stuttgart



Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais e Estruturas do Departamento de Engenharia da Universidade Estadual Vale do Acaraú. As vigas foram ensaiadas em uma prensa universal (Figura 2b) com a utilização de adaptadores, que são formas metálicas, padrão, existentes com dois apoios distantes 90 cm entre si, e um dispositivo para a distribuição da carga em dois pontos simétricos.

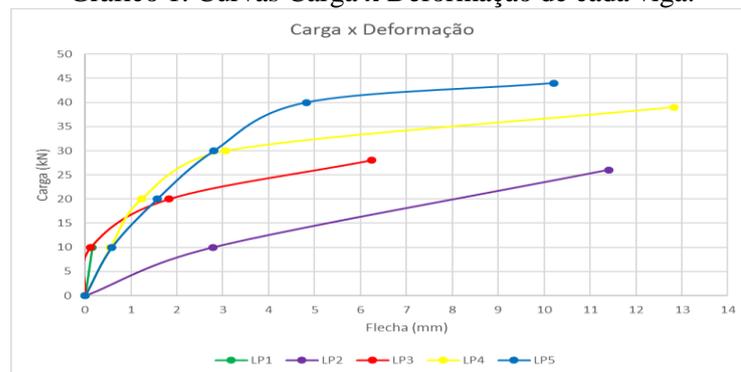
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o ensaio realizado, pode-se obter as cargas e modos de ruptura, bem como as medições de cada deflexão em seu ponto de ruína, apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados obtidos no Ensaio de Stuttgart.

Viga	Deflexão	Carga de Ruptura	Forma de Ruptura
LP1	0,155 mm	14 kN	Ruptura por Tração
LP2	11,415 mm	26 kN	Ruptura por Deformação Plástica Excessiva do Aço
LP3	6,235 mm	28 kN	Ruptura por Deformação Plástica Excessiva do Aço
LP4	12,82 mm	39 kN	Ruptura por Deformação Plástica Excessiva do Aço
LP5	10,21 mm	44 kN	Ruptura por Deformação Plástica Excessiva do Aço

Gráfico 1. Curvas Carga x Deformação de cada viga.



A viga LP1, que não era dotada de nenhuma armadura na zona de flexão pura, não resistiu aos esforços iniciais os quais foi submetida. Na primeira etapa, ou seja, no primeiro carregamento de 10 kN, a viga não apresentou nenhuma fissuração e uma deflexão de 0,155mm. Com esses dados, pode-se analisar que, como não havia aço que atuasse na flexão da estrutura, ela não apresentou ductilidade pois não apresentou fissuras e teve um deslocamento muito pequeno. Esta viga rompeu com 14 kN por tração, já que o concreto apresenta baixa resistência a esses esforços, e sem mostrar nenhuma fissura, não sendo permitida pela NBR 6118 (2014).

A viga LP2, apresentava uma barra de aço de 5mm na sua região de flexão, e foi submetida ao ensaio. Ao receber uma carga de 10 kN, a viga não apresentou fissuras e teve um deslocamento de 2,78mm. Após o segundo carregamento, ou seja, com uma carga de 20 kN, a viga permaneceu sem apresentar fissuras, rompendo com 26 kN com o aparecimento de sua primeira fissura e com sua deflexão medindo 11,405mm. Esta viga não é permitida pela NBR 6118 (2014), pois não apresenta ductibilidade, um dos condicionantes para uma boa qualidade de estrutura.

A viga LP3, dotada de duas barras de aço de 5 mm na sua zona de flexão, ao receber a carga de 10 kN, não apresentou nenhuma fissura e sua deflexão era de 0,12 mm. Com a carga de 20 kN, a viga apresentou sua primeira fissura visível com uma deflexão de 1,83 mm, rompendo com o aparecimento da sua segunda fissura com carga de 28 kN e deflexão de 6,325 mm. A viga apresentou pouca ductibilidade, não sendo permitida pela NBR 6118 (2014).

A viga LP4, com duas barras de aço de 6,3 mm em sua parte inferior, recebeu o primeiro carregamento de 10 kN, não apresentando fissuras e com deflexão de 0,55 mm. Aumentando a carga para 20 kN, a viga apresentou deflexão de 1,23 mm sem nenhuma fissura visível. Ao aplicar uma carga de 30kN, a viga apresentou duas fissuras visíveis com deslocamento de 3,06 mm. Com 39 kN de carregamento, a viga apresenta mais três fissuras visíveis e rompe, mostrando ductilidade. Esta viga foi dimensionada de acordo com a NBR 6118(2014).

A viga LP5, armada com duas barras de aço de 8 mm em sua zona de flexão, foi a viga que melhor reagiu aos carregamentos impostos. A viga permanece sem fissuras até o carregamento de 30 kN, com deflexão de 2,81 mm para este carregamento. Ao receber a carga de 40 kN, a viga apresenta 3 fissuras visíveis e deslocamento de 4,82 mm. A viga rompe com 44 kN, apresentando uma deflexão de 10,21 mm, mostrando ductilidade, estando dimensionada conforme a NBR 6118 (2014).

## CONCLUSÕES

Com os ensaios realizados e os resultados obtidos pode-se concluir que a norma atende os requisitos que mantem a segurança da peça, pois as vigas LP1 ( não apresentava armaduras principais), LP2 ( apresentava uma barra de aço na sua parte inferior) e LP3 (possuía 2 barras de aço em sua zona de flexão pura) não estão dimensionadas de acordo com a nova versão da Norma, o que fez com que elas não apresentassem ductibilidade, pois a viga LP1 não apresentou nenhuma fissura, a LP2 apresentou uma fissura no ato da ruína e a LP3 apresentou apenas uma fissura antes de romper.

Já as vigas LP4 (duas barras de 6,3 mm na sua zona de flexão) e LP5 (duas barras de 8 mm em sua parte inferior), as únicas dimensionadas de acordo com a Norma, obtiveram ductibilidade e uma resistência satisfatória, ou seja, a viga continuou resistindo a esforços mesmo com o aparecimento das primeiras fissuras e foram classificadas no domínio 2, que corresponde às situações em que o estado limite último é atingido pelo alongamento da armadura em 10% e o encurtamento da fibra mais comprimida de concreto é inferior a 0,35%.

Recomenda-se que, no intuito de aumentar a segurança e resistência da peça estrutural, não seja feito o superdimensionamento da armadura da estrutura, pois esta corre o risco de ser classificada do domínio 4, que é caracterizado pela ruptura do concreto comprimido sem que haja escoamento da armadura.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto De Estruturas de Concreto – Procedimento. NBR 6118. Rio De Janeiro: ABNT, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto De Estruturas de Concreto – Procedimento. NBR 6118. Rio De Janeiro: ABNT, 2014.
- Silva, R. R. da. Impactos das Mudanças na Norma NBR 6118 no Dimensionamento de Estruturas em Concreto Armado de Edifícios. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande de Sul. Porto Alegre, 2008.
- Linhares, L. P. Estudo Teórico-Experimental de Armaduras Mínimas Longitudinais para Vigas de Concreto Armado. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Estadual Vale do Acaraú. Sobral, 2017.