



## **Dimensionamento do Concreto Reforçado com Fibras para edificação de paredes de concreto moldado in loco, segundo NBR 16935:2021**

**João Marcos Araujo Soares Santos<sup>1</sup>, Marcelo Pedreira da Silva<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Feira de Santana / Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental - UEFS / joaomarcos.engc@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade Estadual de Feira de Santana/ Departamento de Tecnologia – UEFS/ mpsilva3@uefs.br

### **Resumo**

O sistema de paredes de concreto moldadas in loco, apresenta como elemento estrutural principal, o painel em concreto. Os painéis, em virtude das cargas, são predominantemente submetidos a esforços de compressão e são dimensionados sob a situação de flexocompressão, muito embora tensões de tração possam ocorrer ao longo do plano da parede. Portanto, a ABNT NBR 16055:2012 provisiona a utilização de armaduras na seção transversal do elemento, configurando-se assim uma peça em concreto armado. Alternativamente, existem outras técnicas para reforçar o concreto e melhorar sua resistência à tração, sendo o Concreto Reforçado com Fibras (CRF) uma das alternativas técnicas mais promissoras. A aplicação do CRF em elementos estruturais vem sendo constantemente estudada, sendo os painéis de concreto um destes. A ABNT NBR 16935:2021 apresenta-se como a primeira norma que regulamenta a utilização do CRF em estruturas no Brasil. Logo neste trabalho foi aplicado as diretrizes pertinentes ao CRF dispostas pela ABNT NBR 16935:2021 voltadas a um projeto de estrutura de uma edificação simplificada em paredes de concreto moldadas in loco, considerando-se substituição total das armaduras em tela soldadas, comumente utilizadas. Foram selecionados dados de 3 fabricantes de macrofibras, que apresentam ensaios de determinação de tensões residuais em ensaio de flexão de 3 pontos, de concretos utilizando suas fibras em diferentes dosagens. Para a determinação das tensões nas paredes da estrutura estudada, foram consideradas ações verticais e horizontais, que em função das excentricidades de aplicação geram tensões de tração e compressão ao longo do plano da parede. Assim, em função dos resultados de tensões encontrados, foram aplicadas as verificações previstas pela NBR 16935:2021 para o CRF. Por fim, os resultados encontrados apontam que é possível uma substituição total das armaduras em telas soldadas, utilizando-se fibras de vidro álcali resistente em dosagem de 10 kg/m<sup>3</sup>, para a edificação em estudo.

### **Palavras-chave**

Parede de concreto; Concreto Reforçado com Fibras; Projeto de Estrutura.

### **Introdução**

O sistema de paredes de concreto moldadas in loco, apresentou-se como uma solução imediata à necessidade de construção de edificações residenciais, demandadas pelo crescimento imobiliário brasileiro visto no final da primeira década do século 21.

Esse sistema é constituído de paredes de concreto, lajes maciças e elementos de fundação superficial, sendo as paredes definidas conforme Fusco (1995), como elementos estruturais de superfície que apresentam como funcionalidade principal, resistir a cargas verticais.



As paredes de concreto, em virtude da tipologia das cargas atuantes, são projetadas pra resistir aos efeitos de flexocompressão e cisalhamento, onde os esforços de compressão ocorrem ao longo do corpo da parede, enquanto que as tensões de tração ocorrem localizadamente em decorrência da presença de momentos fletores localizados ao longo do plano da parede (BRAGUIN, 2013; ABNT, 2012). Estes elementos são projetados em Concreto Armado (CA), e a ABNT NBR 16055:2012 provisiona a utilização de uma taxa de armadura vertical mínima de aço.

O CA, utilizado nestes elementos estruturais, caracteriza-se como uma técnica amplamente difundida, utilizada para armar e contornar a fragilidade e baixa capacidade de deformação do concreto simples, quando submetidos a esforços de tração. No entanto não somente o CA foi desenvolvido como técnica de armação do concreto simples, mas como também a do Concreto Reforçado com Fibras (CRF), que se caracteriza pela aplicação de fibras à matriz cimentícia.

Lee, Choi e Kim (2023) apresentam pesquisas que vêm sendo conduzidas aplicando-se fibras de aço, fibras de vidro, fibras sintéticas e fibras naturais, a diferentes elementos para atestar a viabilidade da aplicação. Autores como Choudary et.al (2020), Hasani et.al (2021) e Hussain (2020), apresentam estudos utilizando-se o CRF, com diferentes fibras e aplicações, que verificam aumentos na capacidade de resistência à compressão, tração, flexão, ductilidade, tensão residual, absorção de energia e tenacidade do concreto. Portanto verificam-se vantagens técnicas na aplicação do CRF, sobretudo em painéis de concreto, conforme aponta Carnio (2018), onde a técnica figura como alternativa à utilização de telas soldadas.

A Diretriz SINAT 001 – Revisão 3 (SINAT, 2017), do Sistema Nacional de Avaliações Técnicas de Produtos Inovadores (SINAT), trouxe o primeiro texto que sustentava a aplicação do CRF em paredes de concreto, aplicados a casas térreas unifamiliares, sobrados unifamiliares, casas sobrepostas e edificações multifamiliares de até 5 pavimentos. Assim denotando parâmetros de resistência residual mínimos necessários para a utilização do CRF nas paredes e condições para as verificações no Estado Limite Último (ELU) e Estado Limite de Serviço (ELS).

Logo o artigo tem como objetivo dimensionar uma edificação em paredes de CRF moldadas in loco, em conjunto com as diretrizes apresentadas pela NBR 16935:2021 (ABNT, 2021), que com o seu lançamento normatiza o CRF com material estrutural no Brasil.

## **Metodologia**

A metodologia consistiu na realização de revisão bibliográfica sobre o CRF e sua aplicação estrutural. Um estudo de caso foi realizado com uma edificação multifamiliar de 5 pavimentos, em que o sistema de paredes de concreto é utilizado, sendo uma análise estrutural inicialmente executada, para obtenções dos esforços nos painéis.

Com os resultados obtidos de esforços, foram aplicadas as diretrizes encontradas na NBR 16935:2021 para a caracterização do material e realizado o dimensionamento dos painéis segundo a NBR 16055:2012, considerando os resultados dos ensaios de flexão de 3 Pontos de CRF disponibilizados por fabricantes de fibras nacionais encontrados.

Para condução dos processos de verificação das paredes em CRF, primeiro é necessário conhecer o tipo da fibra, o teor de fibra na matriz de concreto e conseqüentemente os resultados dos ensaios à flexão de 3 pontos, normatizado pela NBR 16940:2021 em que são determinadas as tensões residuais à tração na flexão, para tal tipo de fibra e respectivo teor.



Dados de 3 fabricantes de macrofibras com capacidade de oferecer reforço estrutural, foram utilizados, informando características da fibra, como comprimento, diâmetro, fator de forma, módulo de elasticidade e outras propriedades, como também as tensões residuais obtidas nos ensaios de flexão de 3 pontos de concretos, que utilizam tal fibra para determinado teor adicionado.

Assim as fibras aqui foram identificadas como Fibra A, Fibra B e Fibra C. As Fibras A e B, são de fibras de polipropileno enquanto que as Fibras C, são de vidro álcali resistente (AR). Na Tabela 1, são apresentados os valores das tensões residuais nos ensaios de flexão de 3 pontos, para cada um dos fabricantes e teores de fibras, regulamentados pela NBR 16940:2021, para obtenção dos parâmetros de caracterização das resistências residuais do CRF.

**Tabela 1 - Tensões residuais**

| Fibra | Dosagem (Kg/m <sup>3</sup> ) | $f_L$ (MPa) | $f_{R1}$ (MPa) | $f_{R2}$ (MPa) | $f_{R3}$ (MPa) | $f_{R4}$ (MPa) | $f_{R1,k} / f_{L,k}$ | $f_{R3,k} / f_{R1,k}$ | L (mm) |
|-------|------------------------------|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------------|-----------------------|--------|
| A     | 4,0                          | 5,63        | 1,84           | 1,63           | 1,68           | 1,65           | 0,327                | 0,913                 | 51     |
| A     | 5,0                          | 6,22        | 2,2            | 2,30           | 2,1            | 2,1            | 0,354                | 0,955                 | 51     |
| A     | 5,6                          | 4,74        | 2,2            | 2,26           | 2,4            | 2,43           | 0,464                | 1,091                 | 51     |
| B     | 3,0                          | 4,92        | 1,95           | 1,82           | 1,82           | 1,73           | 0,396                | 0,933                 | 50     |
| B     | 4,0                          | 4,95        | 2,45           | 2,54           | 2,53           | 2,34           | 0,495                | 1,033                 | 50     |
| B     | 5,0                          | 4,9         | 2,79           | 2,95           | 3,00           | 2,76           | 0,569                | 1,075                 | 50     |
| C     | 10,0                         | 4,35        | 3,67           | 3,99           | 3,61           | 3,12           | 0,844                | 0,984                 | 43     |

As tensões residuais a flexão de cada uma das fibras, foram analisadas, a fim de verificar se estas apresentam-se em conformidade com as relações mínimas entre resistências definidas pela ABNT 16935:2021, sendo as relações  $f_{R,3k}/f_{R,1k} \geq 0,5$  e  $f_{R,1k}/f_{Lk} \geq 0,4$  condições mínimas de que o CRF necessita para aplicação estrutural.

Portanto analisando-se os dados apresentados na Tabela 1, a Fibra A, somente poderá ser utilizada em caso de dosagem de fibras igual a 5,6 Kg/m<sup>3</sup>; a Fibra B, poderá ser utilizada somente em casos de dosagens iguais a 4,0 e 5,0 Kg/m<sup>3</sup> e a Fibra C é passível de utilização para a dosagem de 10 Kg/m<sup>3</sup>, sendo esta dosagem a única disponibilizada.

### Estudo de Caso

A edificação de estudo da aplicação do CRF, caracteriza-se como uma edificação multifamiliar com 5 Pavimentos, como visto na Figura 1, com pé direito de 3 metros entre pavimentos, sendo a planta baixa dos pavimentos apresentada na Figura 2.

A ABNT (2012) denota que a espessura mínima das paredes com altura de até 3 m deve ser igual a 10 cm (ABNT,2012) e de 10 cm de lajes maciças, portanto essas dimensões serão consideradas como iniciais.

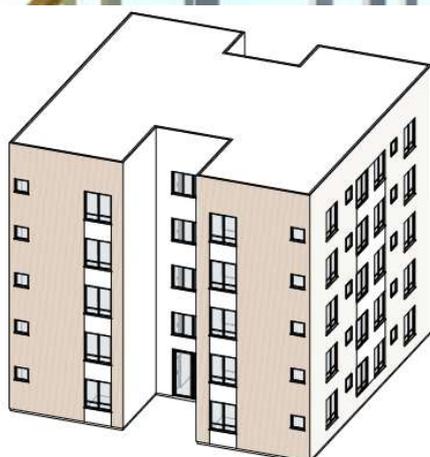


Figura 1 – Modelo 3D

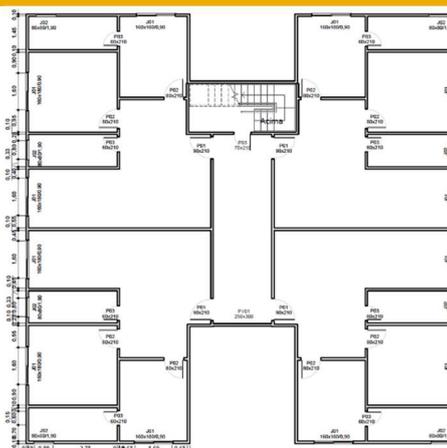


Figura 2 – Planta Baixa do pavimento

### Carregamentos Verticais Considerados

Os carregamentos adotados em função do uso das lajes da edificação, foram determinados conforme a NBR 6120:2019 (ABNT, 2019), sendo estes apresentados na Tabela 2. O peso próprio dos elementos, foi determinado com o valor do peso específico do concreto armado igual a 2500 kgf/m<sup>3</sup>, segundo a ABNT (2019).

Tabela 2 – Carregamentos Considerados

| Ação       | Tipo de Carga                            | Valor (kgf/m <sup>2</sup> ) |
|------------|--|-----------------------------|
| Permanente | Peso próprio das lajes e paredes         | 250                         |
| Permanente | Carga de telhado na cobertura            | 100                         |
| Permanente | Forno de gesso acartonado                | 40                          |
| Permanente | Carga de revestimento (todas as lajes)   | 25                          |
| Permanente | Reservação d'água (15000 L) em Cobertura | 681                         |
| Variável   | Uso Escada                               | 300                         |
| Variável   | Uso Cobertura                            | 100                         |
| Variável   | Uso nos Pavimento Habitáveis             | 150                         |

As paredes apresentam-se solicitadas, em função da ação das lajes, das reações de apoio dos lintéis formados e das reações de apoio das escadas. As cargas sobre as paredes e lintéis foram determinadas através do método das charneiras plásticas conforme previsto na NBR 6118:2014.

No estudo foi considerada a interação entre as paredes, conforme previsto a NBR 16055:2012, sendo utilizado o método do Grupo de Isolado de Paredes (GIP). Ramalho e Corrêa (2003) denotam um GIP como um conjunto de paredes solidárias entre si, de forma que existem forças de interação suficientes nos cantos e bordas entre paredes adjacentes, capazes de assegurar o espalhamento dos carregamentos vindos dos pavimentos correntes acima e conseqüentemente a uniformização destes ao longo do comprimento das paredes do grupo.

No modelo de GIP, a determinação dos carregamentos das paredes do grupo é definida, somando-se todas as forças em cada uma das paredes e dividindo a soma pelo comprimento total das paredes do grupo, assim denotando um carregamento uniformizado para todas (Braguim, 2013).

Na Figura 3 observa-se a identificação das paredes verticais, horizontais e dos lintéis, enquanto que a divisão dos GIP para o estudo são apresentados na Figura 4.

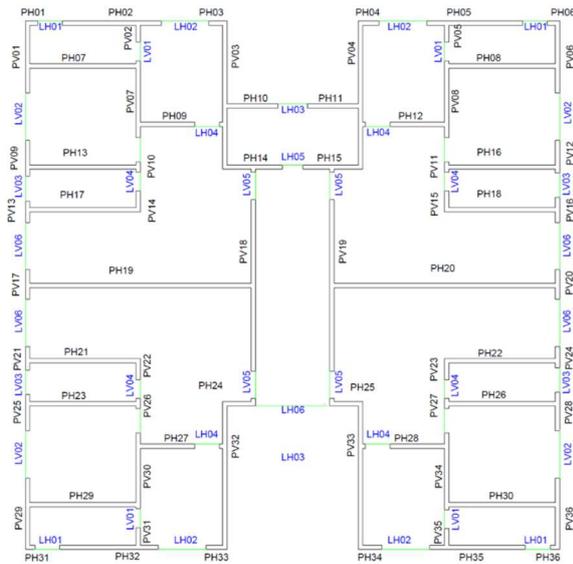


Figura 3 – Divisão das Paredes e Lintéis

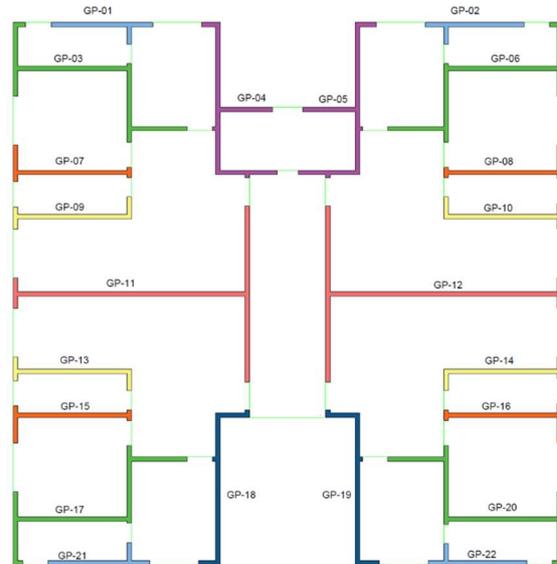


Figura 4 - Divisão dos GIP

### Carregamentos Horizontais

As diretrizes da NBR 16055:2012 estipulam que as paredes de concreto armado devem ser dimensionadas obrigatoriamente levando em conta as cargas horizontais provenientes do vento e do desaprumo (ABNT, 2012).

Na determinação da ação do desaprumo, devem ser somadas as ações verticais permanentes e variáveis e em seguida multiplicadas pelo valor do ângulo de desaprumo, calculado seguindo-se a equação (1). Portanto na Tabela 3 é apresentado os valores das forças de desaprumo nas direções X e Y da edificação.

$$\theta = \frac{1}{170\sqrt{H}} \quad (1)$$

Tabela 3 - Ação Horizontal de Desaprumo

| Altura<br>(m) | $\Theta$<br>(rad) | $P_{,cob}$<br>(kN) | $P_{,tipo}$<br>(kN) | $F_{d,xcob}$<br>(kN) | $F_{d,ycob}$<br>(kN) | $F_{d,xtipo}$<br>(kN) | $F_{d,ytipo}$<br>(kN) |
|---------------|-------------------|--------------------|---------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 15,0          | 0,0015            | 3158,05            | 2872,22             | 4,80                 | 4,80                 | 4,36                  | 4,36                  |

As forças horizontais resultantes da ação do vento em edificações foram calculadas conforme a NBR 6123:1988, usando os parâmetros da Tabela 4. A velocidade do vento básica considera a localização em Feira de Santana, Bahia.

Tabela 4 - Parâmetros para determinação das forças de arrasto

| $V_0$<br>(m/s) | $L_x$<br>(m) | $L_y$<br>(m) | H<br>(m) | CATEG. | CLASSE | $S_1$ | $S_3$ | $V_k$ | $C_{a,x}$ | $C_{a,y}$ | $A_{e,x}$<br>(m <sup>2</sup> ) | $A_{e,y}$<br>(m <sup>2</sup> ) |
|----------------|--------------|--------------|----------|--------|--------|-------|-------|-------|-----------|-----------|--------------------------------|--------------------------------|
| 30             | 18,45        | 18,5         | 15,0     | IV     | A      | 1     | 1     | 30    | 1,12      | 1,12      | 56,47                          | 56,61                          |

Com base nos parâmetros estabelecidos, são calculadas as forças de arrasto para cada pavimento, em função do fator  $S_2$ , utilizado para calcular a velocidade característica do vento, que varia com a altura



do pavimento. A Tabela 5 exhibe os valores das forças de arrasto em cada pavimento da edificação nas direções x e y.

**Tabela 5 - Forças de Arrasto**

| Nº | H <sub>i</sub> (m) | S <sub>2</sub> | V <sub>k</sub> (m/s) | q <sub>1,vento</sub> (N/m <sup>2</sup> ) | F <sub>a,x</sub> (kN) | F <sub>a,y</sub> (kN) |
|----|--------------------|----------------|----------------------|--|-----------------------|-----------------------|
| 1  | 3                  | 0,744          | 22,33                | 305,64                                   | 19,326                | 19,379                |
| 2  | 6                  | 0,809          | 24,27                | 360,96                                   | 22,824                | 22,886                |
| 3  | 9                  | 0,849          | 25,48                | 397,85                                   | 25,157                | 25,225                |
| 4  | 12                 | 0,879          | 26,37                | 426,29                                   | 26,955                | 27,028                |
| 5  | 15                 | 0,903          | 27,09                | 449,74                                   | 28,438                | 28,515                |

Logo verifica-se que as ações do vento são mais significativas que as ações de desaprumo.

### **Pórtico Planos Associados**

O método dos Pórticos Planos Associados foi adotado para analisar os esforços nas paredes verticais e horizontais devido à ação do vento na estrutura. A modelagem dos pórticos e a obtenção dos valores dos esforços foram realizadas usando o *software* bidimensional de análise estrutural Ftool, sendo considerado que as lajes atuam como diafragma rígido transmitindo as cargas de vento para as paredes.

No método as paredes isoladas são modeladas como barras verticais de eixo a eixo dos lintéis, enquanto que as paredes com aberturas também são representadas como barras verticais, incorporando barras horizontais para simular a rigidez dos lintéis, com propriedades adequadas aos elementos estruturais correspondentes (SILVA, 1996).

### **Esforços em Função da Excentricidade Mínima**

A NBR 16055:2012 estabelece que as paredes precisam ser projetadas levando em conta o efeito de flexo-compressão, considerando as cargas que atuam sobre elas, e isso deve incluir a consideração de uma excentricidade mínima, que é definida como o valor mais elevado entre as excentricidades mínima definida pela equação (2) e pela excentricidade gerada pela ação do vento.

$$e_{min} = 1,5 + 0,03t \quad (2)$$

Ao avaliar os deslocamentos observados nos pórticos planos associados às paredes resistentes em cada direção de ação do vento, observa-se que o deslocamento máximo é de apenas 0,142 mm. Isso indica que os deslocamentos resultantes da ação do vento são pequenos, e, portanto, a excentricidade mínima de 1,8 cm deve ser considerada.

Após a determinação do valor da excentricidade mínima, é possível calcular o momento fletor que atua no plano da parede, considerando as cargas verticais permanentes e acidentais aplicadas, ocasionando a formação de uma zona tracionada e outra comprimida na parede.

Portanto com os valores de momento fletor gerados pela consideração da excentricidade da aplicação das cargas, foram realizadas as combinações no ELU que geram as maiores tensões de compressão e tração nas paredes.



A NBR 6118:2014 determina as combinações de ações para análise do ELU, como as combinações últimas normais, que apresentam formulação para determinação conforme equação (3).

$$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_q (F_{q1k} + \sum \psi_{0j} F_{qjk}) \quad (3)$$

Foram considerando os coeficientes de majoração de 1,4 para cargas permanentes e cargas acidentais; quando desfavoráveis, as cargas de vento foram minoradas por um coeficiente igual a 0,6; enquanto quando desfavoráveis, as cargas acidentais estas foram minoradas por um coeficiente igual a 0,5.

Ao total foram determinadas 12 combinações de ações, partindo do princípio de sobreposição de esforços, considerando as 4 direções de ação do vento, sendo 6 para as paredes resistentes verticais e 6 para as paredes resistentes horizontais. As combinações foram construídas a fim de determinar a máxima tensão de compressão nas paredes e a máxima tensão de tração quando a ação do vento apresenta comportamento desfavorável.

Nas análises realizadas para todas as combinações, a tensão máxima de compressão encontrada nas paredes é de 3,20 MPa na PV20, ocorrendo na combinação em que o vento atua a 270°, considerando a carga acidental das lajes como a variável principal. Por outro lado, a maior tensão de tração é de 0,575 MPa na PH06, na combinação em que o vento atua a 180°, sendo esta a situação em que a influência do vento é desfavorável.

Para exemplificação do processo para ambas paredes mais solicitadas na Tabela 6 são apresentados os resultados de tensão gerado pelos momentos fletores, os quais foram combinados.

**Tabela 6 – Momentos e tensões solicitantes nas paredes considerando-se excentricidade**

| PAR. | L<br>(m) | g<br>(kN/m) | q<br>(kN/m) | M <sub>e,G</sub><br>(kN.m) | M <sub>e,Q</sub><br>(kN.m) | I <sub>x,y</sub><br>(m <sup>4</sup> ) | σ <sub>C,G</sub><br>(MPa) | σ <sub>T,G</sub><br>(MPa) | σ <sub>C,Q</sub><br>(MPa) | σ <sub>T,Q</sub><br>(MPa) |
|------|----------|-------------|-------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| PV20 | 1,03     | 86,71       | 19,19       | 1,600                      | 0,354                      | 8,54E-05                              | 0,936                     | -0,936                    | 0,207                     | -0,207                    |
| PH06 | 0,46     | 72,05       | 13,62       | 0,597                      | 0,113                      | 3,83E-05                              | 0,778                     | -0,778                    | 0,147                     | -0,147                    |

### Dimensionamento a Compressão

A NBR 16055:2012 apresenta a equação (4) como a formulação para calcular a resistência da parede, levando em consideração que a ação do vento gere uma pressão de até 1 kN/m<sup>2</sup>, além das reduções de resistência devido à instabilidade localizada, conforme definido no item 15.9 da NBR 6118:2014, bem como as excentricidades mínimas especificadas (ABNT, 2012).

$$n_{d,resist} = \frac{(0,85f_{cd} + \rho * f_{sca})t}{k_1[1 + 3k_2(2 - k_2)]} < \frac{(0,85f_{cd} + \rho * f_{sca})t}{1,643} < 0,4f_{cd}A_c \quad (4)$$

Fazendo a consideração que as paredes em CRF não possuíam armaduras, será desconsiderado na equação (4) a parcela de resistência fornecida pela armadura, assim de notando a equação (5).

$$n_{d,resist} = \frac{0,85f_{cd} * t}{k_1[1 + 3k_2(2 - k_2)]} < \frac{0,85f_{cd} * t}{1,643} < 0,4f_{cd}A_c \quad (5)$$

Assim, aplicando a equação (5), considerando que os coeficientes k<sub>1</sub> e k<sub>2</sub> são determinados em função da esbeltez das paredes e do tipo de vinculação, na Tabela 7 os resultados para as tensões resistentes das paredes mais solicitadas, são apresentados.

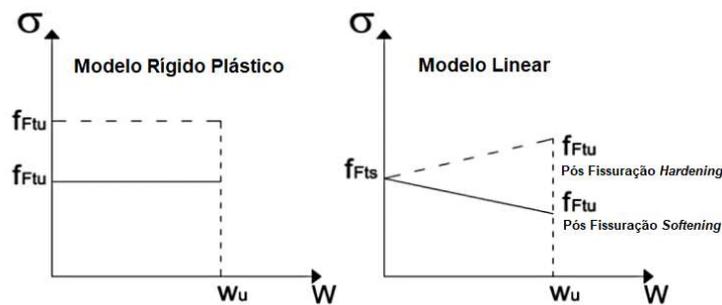
**Tabela 7 – Tensões resistentes de cálculo**

| Trecho de Parede | Tipo de Vinculação | H (m) | L (m) | $\beta$ | Le   | $\lambda$ | $k_1$ | $k_2$ | $n_{d,resist}$ (kN/m) | $\sigma_{d,resist}$ (Mpa) |
|------------------|--------------------|-------|-------|---------|------|-----------|-------|-------|-----------------------|---------------------------|
| PV20a)           | Tipo 02            | 3,00  | 0,51  | 5,85    | 0,90 | 31,18     | 0,89  | 0,00  | 595,24                | 5,95                      |
| PV20b)           | Tipo 02            | 3,00  | 0,51  | 5,85    | 0,90 | 31,18     | 0,89  | 0,00  | 595,24                | 5,95                      |
| PH06             | Tipo 02            | 3,00  | 0,46  | 6,52    | 0,90 | 31,18     | 0,89  | 0,00  | 595,24                | 5,95                      |

Logo verifica-se que as tensões solicitantes nas paredes, vistas na Tabela 2 são menores que as resistentes, portanto, é atendido o ELU de compressão.

### Dimensionamento a Tração

A NBR 16935:2021 (ABNT, 2021) apresenta dois modelos para análise e determinação das tensões residuais à tração direta em função de leis constitutivas para cada modelo, vistos na Figura 6, sendo um o modelo rígido-plástico e outro o modelo linear, onde o modelo rígido-plástico, denota-se como mais simplificado do que o modelo linear.



**Figura 6 - Leis constitutivas de tensão abertura de fissura para tração direta**

Fonte: Adaptado de FIB (2010).

As paredes de concreto, apresentam-se submetidas sob efeito de flexo-compressão, esse efeito resulta em uma distribuição de tensões de tração e compressão ao longo da seção transversal do elemento, que pode ser considerada complexa devido à variabilidade dessa distribuição.

Portanto neste estudo foi considerado o modelo linear por admitir uma distribuição de tensões ao longo da seção transversal, com condições de adaptação mais próximas da realidade das paredes estruturais, dentre os modelos simplificados disponibilizados pela NBR 16935:2021.

Os valores das resistências residuais obtidos e apresentados na Tabela 1 devem ser utilizados para obter os valores de resistência à tração direta, utilizando-se as equações (6) e (7).

$$f_{F,ts} = 0,45f_{R,1} \quad (6)$$

$$f_{F,tu} = f_{F,ts} - \frac{w_u}{CMOD_3} (f_{F,ts} - 0,5f_{R,1} + 0,2f_{R,3}) \geq 0 \quad (7)$$

Dentre os termos presentes na equação (6), o termo  $w_u$  deve ser determinado, sendo que este representa a abertura última de fissuração de projeto, podendo ser ele menor ou igual ao  $CMOD_3=2,5$  mm.



O FIB (2010) apresenta uma metodologia para calcular o valor de  $w_u$ , sendo esta baseada na determinação do valor de  $l_{cs}$ , como visto na equação (8), caracterizado como o menor valor entre o valor do espaçamento médio entre fissuras ( $S_{rm}$ ) e a distância  $y$  da linha neutra até a borda da fibra mais tracionada da seção transversal.

$$\varepsilon = \frac{w}{l_{cs}} \quad (8)$$

Logo de forma simplificada, será adotado que o valor  $S_{rm}$  é igual ao comprimento da fibra analisada e a distância  $y$ , igual a 50 mm, metade da espessura das paredes, mesmo sabendo que por estar sob efeito de flexocompressão a linha neutra não se encontraria necessariamente na seção média.

Para definição de  $w_u$ , a qual apresentará valor crítico, será considerada a condição extrema definida na NBR 16935:2021 para a deformação última ( $\varepsilon_{fu}$ ) igual a 20‰, que considera uma distribuição de tensões variável na seção transversal. Portanto multiplicando-se o valor de  $\varepsilon_{fu}$  pelo valor de  $l_{cs}$ , determina-se o valor  $w_u$ , onde caso ele seja maior ou igual ao  $CMOD_3$ , deverá ser adotado valor de  $CMOD_3$  para o de  $w_u$ . Assim na Tabela 8 são apresentados os valores de  $w_u$ , a serem considerados para cada uma das fibras utilizadas para o dimensionamento.

**Tabela 8 – Valores de  $w_u$**

| Tipo      | $L_{Fibra}$<br>(mm) | $y$<br>(mm) | $l_{cs}$<br>(mm) | $\varepsilon_{fu}$ | $CMOD_3$<br>(mm) | $w_u$<br>(mm) |
|-----------|---------------------|-------------|------------------|--------------------|------------------|---------------|
| Fibra A   | 51                  | 50          | 50               | 2,00%              | 2,50             | 1,00          |
| Fibra B-1 | 50                  | 50          | 50               | 2,00%              | 2,50             | 1,00          |
| Fibra B-2 | 50                  | 50          | 50               | 2,00%              | 2,50             | 1,00          |
| Fibra C   | 43                  | 50          | 43               | 2,00%              | 2,50             | 0,86          |

Os valores de  $f_{F,tsd}$  e  $f_{F,tud}$ , com todos os parâmetros definidos, podem ser determinados utilizando as equações (5) e (6), que são transformadas em valor característico pela equação (9), apresentada pela NBR 6118:2014, na determinação da tração direta inferior.

$$f_{R,k} = 0,7 * f_R \quad (9)$$

Assim são determinadas as resistências de cálculo, as ponderando com coeficiente  $\gamma_c$  igual a 1,5, determinado como valor ponderador das resistências a tração do CRF. Logo na Tabela 9 os valores de cálculo para resistências dos concretos com as fibras analisados.

**Tabela 9 – Valores de resistências residuais de cálculo**

| Tipo      | $f_{R,1}$<br>(MPa) | $f_{R,3}$<br>(MPa) | $f_{F,ts}$<br>(MPa) | $f_{F,tsk}$<br>(MPa) | $f_{F,tsd}$<br>(MPa) | $f_{F,tu}$<br>(MPa) | $f_{F,tuk}$<br>(MPa) | $f_{F,tud}$<br>(MPa) |
|-----------|--------------------|--------------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| Fibra A   | 2,20               | 2,40               | 0,990               | 0,693                | 0,462                | 0,837               | 0,586                | 0,390                |
| Fibra B-1 | 2,45               | 2,53               | 1,103               | 0,772                | 0,515                | 0,884               | 0,619                | 0,413                |
| Fibra B-2 | 2,79               | 3,00               | 1,256               | 0,879                | 0,586                | 1,047               | 0,733                | 0,488                |
| Fibra C   | 3,67               | 3,61               | 1,652               | 1,156                | 0,771                | 1,319               | 0,923                | 0,615                |

Os resultados indicam que apenas a Fibra C oferece um CRF com resistência à tração direta última de cálculo igual a 0,615 MPa, o que é superior à tensão de tração máxima encontrada nas combinações



de ações, que é de 0,575 MPa. Portanto, para as paredes estruturais em CRF, poderia ser adotada a fibra de vidro AR, com uma dosagem de 10 Kg/m<sup>3</sup>.

## Conclusões

Em relação ao estudo de caso desenvolvido neste trabalho, utilizou-se uma adaptação dos modelos de dimensionamento da norma brasileira de projetos de parede de concreto, a NBR 16055:2012, com a norma de projetos em CRF a 16935:2021.

Concluiu-se então a possibilidade da produção de um projeto de uma edificação multifamiliar de 5 andares, utilizando a parede de CRF já que o elemento estrutural se encontra submetido predominantemente a compressão. Sendo possível a substituição total da armadura mínima definida pela NBR 16055:2012, transferindo a responsabilidade para o CRF de resguardar a estrutura minimamente de possíveis tensões de tração.

Logo necessita-se desenvolvimento da NBR 16055:2012, para que esta assegure a utilização de CRF, trazendo diretrizes que determinem as condições de utilização do material nas paredes.

## Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações. 66 p. Rio de Janeiro, 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16055: parede de concreto moldada no local para a construção de edificações – requisitos e procedimentos. 41 p. Rio de Janeiro, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. 238 p. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16935: Projeto de estruturas de concreto reforçado com fibras – Procedimentos. 33 p. Rio de Janeiro, 2021.
- BRAGUIM, T. C. Utilização de Modelos de Cálculo para Projeto de Edifícios de Paredes de Concreto Armado Moldadas no Local. 2013. 227 p. Tese (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
- CARNIO, M. A. Paredes moldadas no local em concreto reforçado com fibras. CONCRETO & Construções: Sistemas construtivos paredes de concreto, alvenaria estrutural e pré-fabricados de concreto, [s. l.], ed. 90, p. 47-52, Abr-Jun 2018.
- CHOUDHARY, S. et al. Analysis of steel fiber reinforced concrete wall panels under compression, flexural and impact loading. Materials Today: Proceedings, v. 38, p. 2471-2475, 2021.
- FÉDÉRATION INTERNACIONALE DU BÉTON (FIB). FIB Bulletin 55. Model Code 2010, Final draft - Volume 1. Lausanne, 2010. 318 p.
- FUSCO, P. B. Técnicas de armar estruturas de concreto. 1. ed. São Paulo: PINI, 1995. 382 p.
- HASANI, M. et al. Mechanical and durability properties of fiber reinforced concrete overlay: Experimental results and numerical simulation. Construction and Building Materials, Irã, v. 268, Janeiro 2021.
- HUSSAIN, I. et al. Comparison of mechanical properties of concrete and design thickness of pavement with different types of fiber-reinforcements (steel, glass, and polypropylene). Case Studies in Construction Materials, Paquistão, v. 13, Agosto 2020.
- LEE, H; CHOI, M. K; KIM, B. Structural and Functional Properties of Fiber Reinforced Concrete Composites for Construction Applications. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2023.
- RAMALHO, M.A.; CORRÊA, M.R.S. Projeto de edifícios de Alvenaria Estrutural. 1 ed. São Paulo: Pini Ltda., 2003. 174p.
- SILVA, Ilka Maria da. Análise de edifícios de alvenaria estrutural sujeitos às ações do vento. 1996. 85f. Dissertação – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.
- SISTEMA NACIONAL DE AVALIAÇÕES TÉCNICAS (SINAT). Diretriz SINAT No. 001 – Revisão 3 – Diretriz para Avaliação Técnica de paredes estruturais de concreto moldadas no local. Ministério das Cidades – Secretaria Nacional da Habitação. Brasília, fevereiro de 2017.