

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL

Secretaria Nacional da Habitação

Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H)

Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT)

Diretrizes para Avaliação Técnica de Produtos

DIRETRIZ SINAT

Nº 001 – Revisão 04

Diretriz para Avaliação Técnica de paredes estruturais de concreto moldadas no local

(Concreto Leve ou Concreto Reforçado com Fibra de Vidro)

Brasília, maio de 2022

SUMÁRIO

1. OBJETO.....	1
1.1 Campo de aplicação	1
1.2 Restrições de uso	3
1.3 Terminologia e simbologia	4
1.4 Documentos técnicos complementares	6
2. CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO	10
2.1 Indicação das limitações de uso do produto.....	10
2.2 Caracterização das paredes	10
2.3 Caracterização das fôrmas	10
2.4 Caracterização dos materiais.....	10
2.4.1 Caracterização dos constituintes do concreto	10
2.4.2 Caracterização do concreto	10
2.4.3 Caracterização da armadura	14
2.4.4 Caracterização das fibras	16
2.5 Caracterização das interfaces entre paredes e demais elementos e componentes	16
2.6 Caracterização da execução.....	17
3. REQUISITOS E CRITÉRIOS DE DESEMPENHO	17
3.1 Desempenho estrutural.....	17
3.1.1 Concepção de projeto	17
3.1.2 Armadura mínima para paredes de concreto leve com armadura de aço galvanizado	19
3.1.3 Estabilidade e resistência do sistema estrutural (ELU)	20
3.1.4 Deformações ou estados de fissuração do sistema estrutural (ELS).....	20
3.1.5 Resistência a impactos de corpo mole e de corpo duro	21
3.1.6 Ações transmitidas por portas para as paredes	21
3.1.7 Cargas transmitidas por peças suspensas.....	21
3.2 Segurança contra incêndio	21
3.2.1 Dificultar a inflamação generalizada	21
3.2.2 Dificultar a propagação do incêndio.....	22
3.2.3 Minimizar o risco de colapso estrutural.....	22
3.3 Segurança no uso e operação	22
3.4 Estanqueidade	22
3.5 Desempenho higrotérmico	23
3.5.1 Desempenho térmico	23
3.5.2 Período de condensação	23
3.6 Desempenho acústico.....	24
3.6.1 Isolação sonora dos elementos da envoltória (parede e cobertura) – ensaio de campo - $D_{2m,nT,w}$..	24
3.6.2 Isolação sonora entre ambientes promovida por paredes internas - ensaio de campo - $D_{nT,w}$	24
3.7 Durabilidade e manutenibilidade.....	24
3.7.1 Análise dos mecanismos de deterioração do concreto e das armaduras	25
3.7.2 Premissas de projeto e execução visando a durabilidade e a manutenibilidade	26
3.7.3 Resistência a choque térmico.....	27
4. MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO PRODUTO	27
4.1 Métodos para caracterização do produto	27
4.2 Métodos para avaliação do desempenho	28
4.2.1 Desempenho estrutural.....	28
4.2.2 Segurança contra incêndio	29
4.2.3 Segurança no uso e operação.....	29
4.2.4 Estanqueidade à água	29
4.2.5 Desempenho higrotérmico.....	29
4.2.6 Desempenho acústico.....	30

4.2.7 Durabilidade e manutenibilidade	30
5. ANÁLISE GLOBAL DO DESEMPENHO DO PRODUTO.....	30
6. CONTROLE DA QUALIDADE.....	30
6.1 Critérios específicos para o controle tecnológico do Concreto Leve.....	31
6.2 Critérios específicos para o controle tecnológico do CRFV	31

DIRETRIZ SINAT PARA AVALIAÇÃO TÉCNICA DE PAREDES ESTRUTURAIS DE CONCRETO ARMADO MOLDADAS NO LOCAL

1. Objeto

O produto alvo desta Diretriz são as paredes estruturais, moldadas no local, constituídas de:

- Concreto Leve armado e armadura de aço galvanizado;
- Concreto Leve armado e armadura de fibra de vidro na forma de tela; e
- Concreto Reforçado com Fibra de Vidro – CRFV, com reforços em vãos com barras de aço ou em barras de FRP (*Fiber-Reinforced Polymer*).

As definições referentes a esses concretos são apresentadas no item 1.3.

As paredes de concreto leve armado com aço galvanizado ou armadura de fibra de vidro, definido no item 1.3, podem ser utilizadas na construção de casas térreas unifamiliares, sobrados unifamiliares, incluindo casas sobrepostas e edifícios multifamiliares com térreo mais um pavimento.

As paredes de CRFV, definido no item 1.3, podem ser utilizadas na construção de casas térreas unifamiliares, sobrados unifamiliares, casas sobrepostas e edificações multifamiliares até cinco pavimentos.

As paredes objeto desta Diretriz se caracterizam por serem paredes estruturais, moldadas no local com fôrmas removíveis.

As paredes incorporam os vãos para portas e janelas, eletrodutos de pequeno porte, rebaixos de pequeno porte para alojamento de tubulações hidráulicas de diâmetro máximo 25 mm, componentes de fixação para coberturas e outros elementos específicos, quando for o caso.

As paredes são submetidas, predominantemente, a esforços de compressão. O princípio das paredes é o modelo de estrutura composta por lâminas ou painéis, como prevê a ABNT NBR 16055, e não por pórticos, como previsto na ABNT NBR 6118. Portanto, a ABNT NBR 6118 não se aplica integralmente ao dimensionamento das paredes.

As lajes podem ser executadas simultaneamente ou posteriormente à execução das paredes e devem atender às disposições da ABNT NBR 6118 e ABNT NBR 14931.

As soluções de interface das paredes com as instalações devem considerar as exigências de manutenibilidade das instalações ao longo da vida útil da edificação. As instalações com tubos de diâmetro superior a 25 mm não podem ser embutidas nas paredes, mas sim alojadas em shafts.

1.1 Campo de aplicação

Esta Diretriz se aplica a:

- Paredes moldadas no local, de concreto Leve, definido no item 1.3, armado com tela de aço galvanizado, utilizadas na construção de casas térreas unifamiliares, sobrados unifamiliares, casas sobrepostas e edifícios multifamiliares com térreo mais um pavimento;
- Paredes moldadas no local, de Concreto Leve, definido no item 1.3, armado com tela de fibra de vidro Alcali-Resistente (AR) protegida com resina poliéster, utilizadas na construção de casas térreas unifamiliares, sobrados unifamiliares, casas sobrepostas e edifícios multifamiliares com térreo mais um pavimento;
- Paredes moldadas no local de CRFV utilizadas na construção de casas térreas unifamiliares, sobrados unifamiliares, casas sobrepostas e edificações multifamiliares até cinco pavimentos, com lajes de vão livre máximo de 5,60 m e sobrecarga máxima de

300 kgf/m². Para as edificações com mais de dois pavimentos, as dimensões mínimas, em planta, devem ser de 8 m.

Para essas paredes aplicam-se as seguintes limitações dimensionais:

- Altura máxima: 300 cm;
- Espessura mínima: 100 mm;
- Comprimento mínimo: maior ou igual a dez vezes a sua espessura;
- Comprimento máximo de parede sem contraventamento: 560cm.

Para as paredes tratadas nesta Diretriz aplicam-se os seguintes concretos:

- Concreto leve, definido no item 1.3, com as seguintes características:
 - a) Resistência à compressão (f_{cj}) na desenforma: ≥ 1 MPa;
 - b) f_{ck} , aos 28 dias: ≥ 15 MPa;
- CRFV, definido no item 1.3, com as seguintes características:
 - a) Resistência característica a tração ($f_{ctM,k}$): entre 3,5 MPa e 4,0 MPa;
 - b) f_{Lm} (Limite de proporcionalidade médio): entre 3,8 MPa e 4,2 MPa;
 - c) f_{R1m} (Resistência residual média para CMOD = 0,5 mm): valor mínimo 1,5 MPa;
 - d) f_{R3m} (Resistência residual média para CMOD = 2,5 mm): valor mínimo 1 MPa;
 - e) Consumo mínimo 300 g/m³ de microfibra polimérica para minimizar o efeito de “lascamento” em situações de incêndio. Essas fibras devem atender a ABNT NBR 16942, ser álcali-resistentes, com comprimento entre 12 e 20 mm, diâmetro entre 12 e 18 micra, correspondente à Classe I da ABNT NBR 16942, e ter comprimento mínimo total de 2.500 km/m³.

Nota: Para efeito de quantificação da fibra, pode-se utilizar a seguinte fórmula:

$$M = 1,96. \varnothing^2 . Y$$

Sendo:

M é a massa de fibra por m³ de concreto (g/m³), respeitando o valor mínimo de 300 g/m³;

\varnothing é o diâmetro da fibra expresso em μ m (micrômetro);

Y é a massa específica da fibra expresso em g/cm³.

OBSERVAÇÃO: Os valores acima especificados para o CRFV devem ser encarados como referência para a dosagem do CRFV em seções com presença de tensões de tração, torsão e tensões tangenciais em geral. No caso em que predominam tensões de compressão (outras tensões podem ser negligenciáveis a critério do projetista da estrutura), pode-se tomar como referências os valores de **1,15** para f_{R1m} e **0,45** para f_{R3m} .

Para paredes de concreto leve são admitidas lajes pré-moldadas de concreto (conforme ABNT NBR 14859, ABNT NBR 14861 e ABNT NBR 9062) como lajes de forros de edificações térreas unifamiliares. O cálculo estrutural deve prever avaliações com relação às ligações entre paredes e lajes.

Para paredes de CRFV podem ser utilizadas lajes maciças de concreto, moldadas no local, pré-lajes ou lajes maciças pré-fabricadas de concreto, desde que solidarizadas às paredes (conforme ABNT NBR 14859, ABNT NBR 14861 e ABNT NBR 9062).

1.2 Restrições de uso

Esta Diretriz não se aplica a:

- Paredes estruturais de concreto armado e armadura de aço, se aplica a ABNT NBR 16055;
- Paredes de concreto com agregado leve;
- Paredes de concreto celular espumoso¹;
- Paredes de concreto com armadura principal em FRP (*Fiber-Reinforced Polymer*);
- Outros componentes, elementos construtivos e instalações convencionais, como fundações, lajes, instalações elétricas e hidráulicas, e coberturas
- Paredes com espessura menor que 100 mm;
- Paredes de concreto pré-moldadas;
- Paredes de concreto moldadas *in loco* com fôrmas incorporadas;
- Paredes curvas;
- Paredes submetidas a carregamento predominantemente horizontal, como muros de arrimo ou reservatórios;
- Fundações, elementos de fundações, paredes diafragma, paredes de contenções e solo grampeado;
- Paredes que não se enquadrem no item 1.1;
- Lajes.

Ressaltam-se as seguintes limitações, de ordem geral para o concreto leve, considerando-se somente aspectos de projeto estrutural: resistência à compressão (f_{cj}), em geral “j” de 12h a 24h, na desenforma, maior ou igual a 1 MPa e resistência característica a compressão (f_{ck}) mínima, aos 28 dias, maior ou igual a 15 MPa. Adicionalmente, a armadura metálica utilizada no concreto leve deve ser galvanizada por imersão a quente (ABNT NBR 16300) e apresentar proteção de zinco com espessura mínima de 30 μm .

As edificações que utilizam paredes estruturais em concreto leve com armadura de aço galvanizado somente podem ser produzidas nas regiões de classe de agressividade ambiental I e II (rurais e urbanas, respectivamente), conforme ABNT NBR 6118, ou seja, não podem ser utilizadas nas regiões de classe de agressividade ambiental III ou IV (ambientes “marinho e industrial” e “industrial/respingos de maré”). São considerados ambientes marinhos aqueles distantes da orla marinha até 2.000 m ou com concentração de cloretos, segundo avaliação pelo método da vela úmida, ABNT NBR 6211.

Para os projetos com sistemas de paredes estruturais de concreto deve-se fazer uma análise do potencial de surgimento de problemas de umidade, em razão da condensação de umidade interna às unidades (ver item 3.5). Assim, o DATEC deve apresentar uma análise de projeto tipo e, para cada empreendimento, sugere-se que essa análise seja feita, considerando ao menos os aspectos a seguir listados:

¹Concreto celular espumoso é um concreto leve obtido pela introdução, nas argamassas, de bolhas de ar, com dimensões milimétricas, homogêneas, uniformemente distribuídas, estáveis, incomunicáveis e indeformadas ao fim do processo, cuja densidade de massa aparente no estado fresco deve estar compreendida entre 1.300 kg/m³ e 1.900 kg/m³ (ABNT NBR 12645).”

- Implantação das unidades (posição em relação ao Norte), ou, em caso dessa não estar previamente definida, as mesmas estabelecidas no item A.1.3-b do Anexo A da ABNT NBR 15575-1;
- Dados climáticos do local de implantação do empreendimento;
- Topografia do terreno e seu impacto sobre a incidência de vento (coeficiente de pressão da ABNT NBR 6123);
- Projeto de arquitetura (dimensões em planta dos cômodos, dimensões dos caixilhos – área de ventilação, ático ventilado ou não, e pé-direito);
- Possibilidade de renovação de ar pela existência de ventilação cruzada;
- Abertura de ventilação, principalmente em banheiro e cozinha (sem exigência da ABNT NBR 15575).

O DATec deve indicar eventuais limitações de uso específicas para o sistema avaliado.

1.3 Terminologia e simbologia

Para efeito desta Diretriz adotam-se as definições constantes na ABNT NBR 6118, ABNT NBR 16055, ABNT NBR 15575, ABNT NBR 16935 e nos demais documentos técnicos complementares.

São definições específicas desta Diretriz:

- **Concreto Leve:** concreto com massa específica seca compreendida entre 1850 kg/m^3 e 2000 kg/m^3 e resistência a compressão mínima de 15 MPa, obtido a partir do concreto com massa específica seca compreendida entre 2200 kg/m^3 e 2600 kg/m^3 e resistência à compressão mínima de 25 MPa e máxima de 40 MPa, com adição de incorporador de ar na forma de aditivo. A incorporação de ar no concreto normal é obtida por meio da adição do aditivo incorporador de ar, do tempo da mistura do concreto e da eficiência de mistura da massa no estado fresco intrínseca ao equipamento. A compatibilidade entre aditivos e do aditivo com o cimento deve ser verificada conforme especificado na ABNT NBR 11768;
- **Concreto Reforçado com Fibra de Vidro – CRFV:** material compósito, caracterizado por uma matriz cimentícia entremeada por macrofibras de vidro álcali resistentes, descontínuas e homoganeamente dispersas, com massa específica seca,, compreendida entre 2200 kg/m^3 e 2800 kg/m^3 ;
- **FRP:** “material compósito obtido pela impregnação de reforço na forma de fibras por polímero, no inglês, *fiber-reinforced polymer*” (IBRACON, 2021). Podem ser:
 - **AFRP:** polímero reforçado com fibras de aramida, do inglês *aramid fiber-reinforced polymer*;
 - **BFRP:** polímero reforçado com fibras de basalto, do inglês *basalt fiber-reinforced polymer*;
 - **CFRP:** polímero reforçado com fibras de carbono, do inglês *carbon fiber-reinforced polymer*;
 - **GFRP:** polímero reforçado com fibras de vidro, do inglês *glass fiber-reinforced polymer*.
- **Macrofibra de vidro:** filamento ou conjunto de filamentos cortados, apropriados para mistura homogênea em concretos de cimento Portland. O diâmetro equivalente deve ser $\geq 0,30 \text{ mm}$. Deve ser álcali resistente. A resistência ao meio alcalino é obtida pela composição específica do vidro, normalmente a partir do uso de óxido de zircônio.

- **Microfibra polimérica:** mono filamento cortado, apropriado para mistura homogênea em concretos de cimento Portland. São consideradas fibras não estruturais para aplicação em paredes de concreto. São empregadas para controlar fissuras por retração plástica, bem como minimizar o efeito de lascamento do concreto em situações de incêndio. O diâmetro equivalente deve ser $\leq 0,30$ mm. Deve ser álcali resistente. A resistência ao meio alcalino deve ser garantida pelo polímero, devendo ser de polipropileno, poliamida (náilon) ou polietileno.
- **Resistência característica a tração do CRFV:** considerando que os resultados de resistência do material variam aleatoriamente, obedecendo a uma distribuição Normal / curva bicaudal, para um determinado nível de significância a resistência característica é aquela que apresenta uma probabilidade pré-determinada de não ocorrerem valores inferiores a ela;
- **Ensaio de flexão com entalhe:** ensaio de flexão de corpo de prova prismático de CRFV que apresenta na sua seção central um entalhe com a finalidade de induzir o desenvolvimento de fissura, conforme método da norma ABNT NBR 16940;
- **Limite de proporcionalidade – LOP:** tensão na extremidade superior do entalhe, calculada a partir de uma carga máxima aplicada no meio do vão, para um valor de CMOD contido no intervalo de 0 a 0,05 mm, assumida em uma seção não fissurada (F_L) (ABNT NBR 16940);
- **Crack Mouth Opening Displacement – CMOD:** medida da abertura da face inferior do entalhe no ensaio de tração na flexão do concreto reforçado com fibras, segundo a ABNT NBR 16935;

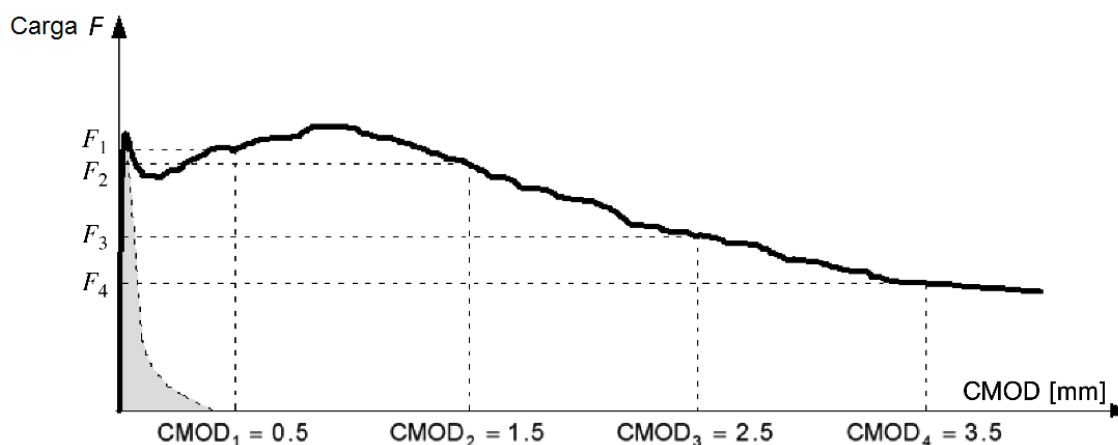


Figura 1 – Curva carga x CMOD

- λ_{global} : esbeltez global do edifício;
- H_{tot} : altura total do edifício até a laje de cobertura (sem considerar ático e reservatórios);
- L_x : menor dimensão em planta do edifício;
- F : carga;
- F_j : carga correspondente ao CMODj;
- f_L : resistência à tração do CRFV (Limite de Proporcionalidade);

- f_{Lk} : resistência característica à tração do CRFV;
- f_{Lm} : resistência média à tração do CRFV;
- f_{ct} : resistência à tração do concreto simples;
- f_{ctm} : resistência média à tração do concreto simples;
- f_{ctk} : resistência característica à tração do concreto simples;
- f_{ck} : resistência característica à compressão do concreto simples;
- $f_{R,j}$: resistência residual à tração do CRFV;
- $f_{R,j}$: resistência residual à tração do CRFV correspondente ao CMOD_j;
- f_{R1} : resistência residual à tração do CRFV correspondente ao CMOD = 0,5 mm;
- f_{R3} : resistência residual à tração do CRFV correspondente ao CMOD = 2,5 mm;
- $f_{R,jk}$: resistência residual característica à tração do CRFV correspondente ao CMOD_j;
- f_{Ftu} : resistência residual última à tração do CRFV;
- f_{Ftum} : resistência residual última média à tração do CRFV;
- f_{Ftuk} : resistência residual última característica à tração do CRFV;
- f_{Ftud} : resistência residual última de cálculo à tração do CRFV;
- f_{Fts} : resistência residual pós-fissuração do CRFV;
- f_{Ftsm} : resistência residual média pós-fissuração do CRFV;
- f_{Ftsk} : resistência residual característica pós-fissuração do CRFV;
- f_{Ftsd} : resistência residual de cálculo pós-fissuração do CRFV;
- σ : tensão;
- ϵ : deformação;
- δ : deslocamento;
- w : abertura de fissura;
- w_u : abertura de fissura última;
- ϵ_{SLS} : deformação correspondente ao Estado Limite de Serviço do CRF;
- ϵ_{ULS} : deformação correspondente ao Estado Limite Último do CRF;
- ϵ_{Fu} : deformação última do CRF;
- γ_f : coeficiente de ponderação das resistências do CRF no estado limite último;
- K : fator de orientação da fibra.

1.4 Documentos técnicos complementares

A seguir, são apresentados os documentos citados nessa Diretriz, e que devem ser considerados na avaliação do sistema e na elaboração do DATEc, ressaltando-se que à medida que houver atualização das normas técnicas aqui citadas deverão ser consideradas as que se encontram vigentes.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT)

ABNT NBR 5628 – Componentes construtivos estruturais – Determinação da resistência ao fogo;

- ABNT NBR 5674 – Manutenção de edificações – Procedimento;
- ABNT NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos;
- ABNT NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento;
- ABNT NBR 6120 – Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações;
- ABNT NBR 6122 – Projeto e execução de fundações;
- ABNT NBR 6123 – Forças Devidas ao Vento em Edificações;
- ABNT NBR 6211 – Corrosão atmosférica - Determinação de cloretos na atmosfera pelo método da vela úmida;
- ABNT NBR 6479 – Portas e vedadores – Determinação da resistência ao fogo;
- ABNT NBR 7211 – Agregados para concreto – Especificação;
- ABNT NBR 7212 – Execução de concreto dosado em central – Procedimento;
- ABNT NBR 7480 – Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação;
- ABNT NBR 7481 – Tela de aço soldada – Armadura para concreto;
- ABNT NBR 8522 – Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão;
- ABNT NBR 8681 – Ações e Segurança nas Estruturas – Procedimento; Errata em 2004;
- ABNT NBR 8953 – Concreto para fins estruturais – Classificação por grupos de resistência;
- ABNT NBR 9077 – Saídas de emergência em edifícios;
- ABNT NBR 10151 – Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento; Errata em 2003;
- ABNT NBR 10152 – Níveis de ruído para conforto acústico;
- ABNT NBR 10821 – Esquadrias externas para edificações – Janelas;
- ABNT NBR 11675 – Divisórias leves internas moduladas – Verificação da resistência a impactos;
- ABNT NBR 12655 – Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento;
- ABNT NBR 14037 – Manual de operação, uso e manutenção das edificações – Conteúdo e recomendações para elaboração e apresentação;
- ABNT NBR 14432 – Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificação – Procedimento; Emenda em 2001;
- ABNT NBR 14931 – Execução de estruturas de concreto – Procedimento;
- ABNT NBR 15200 – Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio;
- ABNT NBR 15220-1 – Desempenho térmico de edificações – Parte 1: Definições, símbolos e unidades;
- ABNT NBR 15220-2 – Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações;
- ABNT NBR 15220-3 – Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;
- ABNT NBR 15220-4 – Desempenho térmico de edificações – Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;

ABNT NBR 15220-5 – Desempenho térmico de edificações – Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico;

ABNT NBR 15421 – Projeto de estruturas resistentes a sismos – Procedimento;

ABNT NBR 15575-1 – Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais;

ABNT NBR 15575-2 – Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais;

ABNT NBR 15575-3 – Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos internos;

ABNT NBR 15575-4 – Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas;

ABNT NBR 15575-5 – Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas;

ABNT NBR 15823-1 – Concreto autoadensável – Parte 1: Classificação, controle de aceitação no estado fresco;

ABNT NBR 15823-2 – Concreto autoadensável – Parte 2: Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento – Método do cone de Abrams;

ABNT NBR 15823-3 – Concreto autoadensável – Parte 3: Determinação da habilidade passante – Método do anel J;

ABNT NBR 16055 – Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações – Requisitos e procedimentos;

ABNT NBR 16300 – Galvanização por imersão a quente de barras de aço para armadura de concreto armado – Requisitos e métodos de ensaio;

ABNT NBR 16475 – Painéis de parede de concreto pré-moldado – Requisitos e procedimentos;

ABNT NBR 16935 – Projeto de estruturas de concreto reforçado com fibras – Procedimentos;

ABNT NBR 16938 – Concreto reforçado com fibras – Controle da qualidade;

ABNT NBR 16939 – Concreto reforçado com fibras – Determinação das resistências à fissuração e residuais à tração por duplo puncionamento – Método de ensaio;

ABNT NBR 16940 – Concreto reforçado com fibras – Determinação das resistências à tração na flexão (limite de proporcionalidade e resistências residuais) – Método de ensaio;

ABNT NBR 16941 – Fibras de vidro álcali-resistentes (AR) para concreto a argamassa – Requisitos e métodos de ensaio;

ABNT NBR 16942 – Fibras poliméricas para concreto – Requisitos e métodos de ensaio.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (ANEOR)

UNE 83516:2015 – *Fibras para hormigón. Fibras de vidrio resistentes a los álcalis (AR). Definiciones, clasificación y especificaciones.*

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO)

ISO 10140-2 Acoustics – Laboratory measurement of sound insulation of building elements – Part 2: Measurements of airborne sound insulation.

ISO 140-4 Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms.

ISO 140-5 Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of façade elements and facades.

ISO 717-1 Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of buildings elements – Part 1: Airborne sound insulation.

ISO/DIS 10052 Acoustics – Field measurements of airborne and impact sound insulation and of equipment sound – Survey method.

ISO 11567 – Carbon fibre – Determination of filament diameter and cross-sectional area

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT (CSTB)

Document Technique Unifié n° 23.1 – Travaux de parois et murs en béton banché. Règles de calcul. Fevereiro de 1990.

FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON (FIB)

Model Code for Concrete Structures 2010 (MC2010).

ABECE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA E CONSULTORIA ESTRUTURAL / IBRACON – INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO

Prática Recomendada: Estruturas de Concreto Armado com Barras de Polímero Reforçado com Fibras (FRP), 2021.

INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

Règles BAEL 92 – Annales de L' Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics n° 500. Janeiro de 1992.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE (ANSI)

ANSI / ASHRAE 55/1981 – Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM)

ASTM D5103 – Standard Test Method for Length and Length Distribution of Manufactured Staple Fibers (Single-Fiber Test).

PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE

Manual for Quality Control for Plants and Production of Glass Fiber Reinforced Concrete Products – 2a Ed. PCI – Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, 2009;

Guide Specification - Glass Fiber Reinforced Concrete. PCI – Precast/Prestressed Concrete Institute;

LIVROS

Fibre Reinforced Cementitious Composites, Second Edition – Arnon Bentur, Sidney Mindess – Second Edition, Routledge / CRC Press, december 2006;

FIGUEIREDO, A. D. . Concreto com fibras. In: Geraldo Cechella Isaia. (Org.). CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações. 1 ed. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), 2005, v. 2, p. 1195-1225;

2. Caracterização do produto

No DATec deve-se descrever as principais características do produto avaliado (sistema de paredes de concreto), tais como a concepção estrutural e as espessuras de paredes, e dos demais componentes, elementos e subsistemas que fazem interface com as paredes e que influenciam no desempenho como revestimentos de paredes e de pisos, esquadrias, instalações e cobertura, de forma a caracterizar precisamente o produto avaliado.

2.1 Indicação das limitações de uso do produto

Indicar no DATec as possíveis limitações de projeto e de uso do produto avaliado, tais como número de pavimentos, zonas bioclimáticas, classes de agressividade ambiental e demais limitações específicas consideradas na avaliação técnica.

2.2 Caracterização das paredes

Caracterizar as paredes de concreto quanto às espessuras, ao concreto empregado (leve ou CRFV), tipo (em telas, em barras ou em treliças) e material da armadura (aço ou FRP), eventuais reforços localizados, cobrimento e demais detalhes construtivos relevantes à avaliação.

2.3 Caracterização das fôrmas

Identificar o tipo de fôrma, o material empregado, os principais acessórios (conectores, espaçadores, enrijecedores, alinhadores, dispositivos para içamento, passarelas de trabalho etc.) e o desmoldante utilizado e o seu atendimento à ABNT NBR 14931.

2.4 Caracterização dos materiais

2.4.1 Caracterização dos constituintes do concreto

Os materiais constituintes do concreto, agregados, cimento, aditivos devem atender à normalização pertinente.

Atenção especial deve ser dada à possibilidade de ocorrência de reação álcali-agregado.

2.4.2 Caracterização do concreto

Para a avaliação técnica de paredes estruturais de concreto moldadas no local é necessário que se apresente as propriedades do concreto empregado. Assim, devem-se caracterizar, no mínimo, as propriedades do concreto listadas nos próximos itens, para as quais deve-se utilizar os procedimentos de norma listados na Tabela 5, item 4.1.

2.4.2.1 Caracterização do concreto leve

São necessárias, para o Concreto Leve:

a) Parâmetros de dosagem

- Relação a/c;
- Diâmetro máximo do agregado graúdo;
- Resistência característica à compressão (f_{ck}) aos 28 dias;

b) No estado fresco:

- Consistência, pelo abatimento do tronco de cone (*slump test*) ou pelo espalhamento (*flow test*);
- Massa específica;

c) No estado endurecido

- Resistência à compressão na desenforma (f_{cj});
- Resistência característica à compressão (f_{ck}) aos 28 dias;
- Massa específica, absorção de água e índice de vazios.

2.4.2.2 Caracterização do CRFV

O CRFV deve ser autoadensável classe SF-2 e SR-2, de acordo com a ABNT NBR 15823, já que vibrações externas ou internas ao concreto tendem a provocar segregação das fibras.

O proponente deve especificar a trabalhabilidade requerida para o CRFV em função das características geométricas das paredes, presença de estrangulamentos causados pela inserção de eletrodutos, tubos e outros componentes, considerando para tanto a ABNT NBR 15823 – Concreto autoadensável, Partes 1 a 6.

São necessárias, para o CRFV:

a) Parâmetros de dosagem:

- Relação a/c;
- Diâmetro máximo do agregado graúdo;
- Caracterização e dosagem da microfibras polimérica (fibras não estruturais)
- Caracterização da macrofibras de vidro (fibras estruturais);

b) No estado fresco:

- Consistência, pelo espalhamento (*flow test*);

c) No estado endurecido

- Resistência à compressão na desenforma (f_{cj});
- Resistência característica à compressão (f_{ck}) aos 28 dias;
- Massa específica, absorção de água e índice de vazios.
- Resistência característica à tração na flexão ($f_{ctm,k}$);
- Resistências Residuais Médias (f_{r1m}) e (f_{r3m}), especificando-se, para tanto, a caracterização e a dosagem mínima da macrofibras de vidro;
- Resistência à tração na flexão de desenforma;
- Módulo de elasticidade (E_{ci});
- Retração por secagem.

2.4.2.2.1 Diretrizes para a dosagem do CRFV

Com base na resistência do concreto especificada no projeto estrutural, considerando as particularidades de execução da obra (geometria das paredes, tipo de fôrmas, etc.), as características dos materiais (cimento, agregados, aditivos, fibras, etc.) e a variabilidade observada em resultados de ensaios anteriores, deverá ser feita a qualificação do CRFV (incluindo qualificação prévia da fibra de vidro e do compósito) e o estabelecimento de critérios para o controle tecnológico do CRFV.

2.4.2.2.1.1 Pré-qualificação da fibra de vidro

A fibra de vidro para ser utilizada como reforço deve ser qualificada previamente de acordo com

a ABNT NBR 16941.

2.4.2.2.1.2 Pré-qualificação do CRFV

No caso do CRFV os ensaios prévios são de especial importância para a definição das fibras a serem utilizadas e suas dosagens.

A qualificação deve englobar as seguintes informações:

- a) Limite de proporcionalidade (LOP) e resistências residuais f_{r1} , f_{r2} , f_{r3} e f_{r4} , determinadas por ensaio de resistência à tração na flexão conforme a ABNT NBR 16940;
- b) Resistência à compressão, conforme ABNT NBR 5739 Concreto – Ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos;
- c) Resistência à tração na flexão em placas, conforme Figura 2.

Para o item a) devem ser seguidos os procedimentos da ABNT NBR 16938.

A realização dos ensaios do item “c” destina-se a verificar a relação entre a resistência do CRFV na direção do lançamento do concreto, onde teoricamente pode ocorrer alinhamento vertical das fibras, e a resistência do material na direção transversal ao lançamento do concreto, determinando-se a partir dos resultados o valor de K (fator de orientação da fibra).

Para a determinação do Fator K (relação entre resistências à tração na direção do lançamento e na direção transversal) devem ser moldados 4 corpos de prova com dimensões de 500 x 500 x 50 mm para cada direção, fôrmas em chapas de aço contendo em suas faces maiores negativos centralizados que produzam entalhes reversos com 10 mm de profundidade, conforme representado na Figura 2. A moldagem deve ocorrer com a fôrma metálica posicionada na vertical, podendo-se constatar o sentido da moldagem pelo exame visual das faces dos CPs.

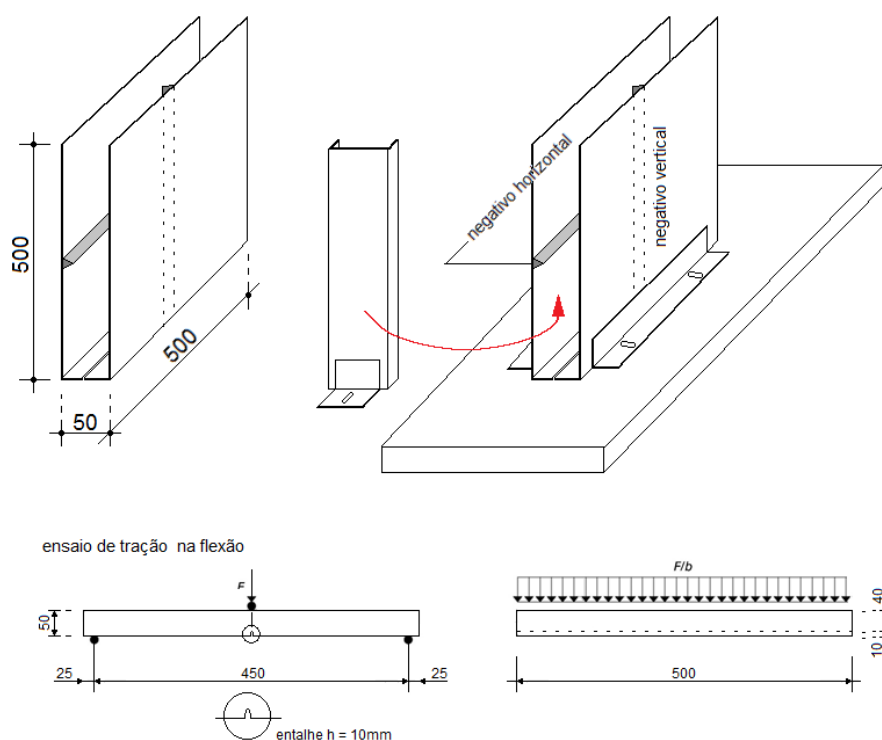


Figura 2 – Molde para corpos de prova 500x500x50 mm destinados à determinação da resistência à tração na flexão na direção do lançamento do concreto e na direção transversal

Caso se constate diferença maior que 10 % nos limites de resistência do material numa e noutra direção, o coeficiente “K” deverá ser levado em conta no cálculo e dimensionamento das paredes e de suas respectivas armaduras, considerando-se o risco de ocorrência de fissuras de retração no corpo das paredes e, principalmente, ao redor de vãos de portas e janelas.

O não cumprimento de qualquer das especificações estabelecidas previamente será condição suficiente para qualificar as fibras como não aptas para reforço do concreto.

Qualquer possível modificação da matriz de concreto, ou da marca, tipo e dosagem das fibras em relação ao que foi previamente estabelecido, não poderá ocorrer até que se comprove o desempenho da fibra com base nos ensaios prévios realizados antes do início da execução da estrutura.

Excepcionalmente, a critério do projetista, quando existam informações documentadas referentes à pré-qualificação do CRFV, essas informações podem ser aceitas como qualificação, realizando-se unicamente os ensaios de controle tecnológico estabelecidos no item 6.2.

No caso do desconhecimento do referido coeficiente de variação, recomenda-se adotar o valor $CV = 15\%$, para pequenas amostras constituídas por 6 exemplares ($GL = 5$). Nessas condições, considerando o nível de significância de 95% e supondo válida a distribuição de Student (bicaudal), a resistência média de dosagem aos 28 dias será estabelecida por:

$$f_{Lm} = 1,40 f_{Lk}$$

- f_{Lm} : Resistência média à tração do CRFV.
- f_{Lk} : Resistência característica à tração do CRFV.

Considerando que na moldagem das paredes há risco de direcionamento das fibras no sentido do lançamento do concreto, os valores de resistência devem ser multiplicados pelo valor de K (fator de orientação da fibra), obtido em ensaios por meio da seguinte relação:

$$K = f_{Lm \text{ direção do lançamento}} / f_{Lm \text{ direção transversal ao lançamento}}$$

A inserção do fator K nas fórmulas anteriores e a determinação da resistência do CRFV nas duas direções, conforme item seguinte, pode ser dispensada pelo projetista da estrutura, caso julgue que não há risco do aparecimento de tensões importantes na horizontal.

Atingido por meio da dosagem o f_{Lk} especificado, há necessidade de se verificar o atendimento às demais especificações do projeto estrutural, ou seja, limite da abertura de fissuras, resistência residual à tração do CRF, limites de deformações, etc.

2.4.3 Caracterização da armadura

Identificar, quando utilizada, o material da armadura (aço ou fibra de vidro), a tensão de escoamento (para armadura de aço) ou tensão de ruptura (para FRP), o tipo de armadura (na forma de telas, treliças ou barras), os diâmetros dos fios ou barras, as seções transversais, os espaçamentos, os eventuais reforços localizados, o cobrimento e demais informações relevantes para a avaliação técnica.

Para o caso da armadura de aço galvanizado utilizada em paredes de concreto leve armado, definido no item 1.3, a armadura deve ser galvanizada com espessura mínima de 30 µm.

Para o caso da armadura na forma de tela de fibra de vidro utilizada em paredes de concreto leve, definido no item 1.3, a armadura deve ser de fios de fibra de vidro álcali-resistente – AR.

Para o caso da armadura de reforço de vãos de portas e janelas com barras de FRP admite-se a utilização de barras que atendam às características, dimensões, propriedades físicas e mecânicas e requisitos de produção previstos no item 1, da parte B da Prática Recomendada: Estruturas de Concreto Armado com Barras de Polímero Reforçado com Fibras (FRP) (IBRACON, 2021). Os diâmetros e áreas nominais da barras de FRP e os valores mínimos das propriedades mecânicas especificados pela Prática Recomendada IBRACON são reproduzidos na Tabela 1 e Tabela 2, respectivamente.

Tabela 1 – Diâmetros e áreas nominais das barras de FRP (IBRACON, 2021)

Diâmetro nominal da barra (mm)	Área da seção nominal (mm ²)	Limites da área efetiva da seção transversal (mm ²)	
		Mínimo	Máximo
4	12,6	11,8	21,6
5	19,6	18,4	33,7
6	28,3	26,5	48,6
8	50,3	47,3	80,0
10	78,5	74,1	115,1
12	113,1	104,3	148,2
14	153,9	142,9	197,9
16	201,1	188,0	253,5
18	254,5	239,1	315,9
20	314,2	296,6	383,9
22	380,1	358,5	452,0
25	490,9	458,0	567,0
28	615,7	575,7	699,5
32	804,2	730,3	878,2

Fonte: Prática Recomendada: Estruturas de Concreto Armado com Barras de Polímero Reforçado com Fibras (FRP) (IBRACON, 2021)

Tabela 2 – Valores mínimos das propriedades mecânicas das barras de FRP (IBRACON, 2021)

Propriedades	Valores mínimos das propriedades mecânicas			
	GFRP	BFRP	CFRP	AFRP
Resistência à tração f_t (MPa)	800	800	1400	1400
Resistência à compressão f_c (MPa)	300			
Resistência ao cisalhamento f_v (MPa)	150	150	350	190
Módulo de elasticidade E (GPa)	50	50	130	70

Fonte: Prática Recomendada: Estruturas de Concreto Armado com Barras de Polímero Reforçado com Fibras (FRP) (IBRACON, 2021)

2.4.4 Caracterização das fibras

2.4.4.1 Macrofibras estruturais

As macrofibras estruturais a serem utilizadas na produção das paredes de CRFV devem ser de vidro e devem ter suas propriedades caracterizadas segundo a ABNT NBR 16941, reproduzidas na Tabela 3.

Tabela 3 – Caracterização das macro fibras estruturais de fibra de vidro

Propriedade	Norma de referência	Valor mínimo
Comprimento	ABNT NBR 16941	–
Diâmetro equivalente	ABNT NBR 16941	Classe II ≥ 0,30 mm de diâmetro
Densidade linear	ABNT NBR 16941	–
Resistência à tração	ABNT NBR 16941	–
Teor de óxido de zircônio	ASTM C1666	16%

2.4.4.2 Microfibras não estruturais

As microfibras não estruturais a serem utilizadas na produção das paredes em CRFV devem ser de polipropileno, poliamida (náilon) ou polietileno, operado por instituição brasileira ou estrangeira de reconhecida competência. Tais processos devem ser conduzidos por critérios de amostragem e formação de lotes que constam na ABNT NBR 16942 devendo a certificação nortear-se pelos requisitos técnicos registrados na referida norma. Devem ser caracterizadas as propriedades listadas na Tabela 4

Tabela 4 – Caracterização das microfibras não estruturais

Propriedade	Norma de referência
Comprimento	ABNT NBR 16942
Quantidade de fibras/kg	ABNT NBR 16942
Massa específica	ABNT NBR 16942

2.5 Caracterização das interfaces entre paredes e demais elementos e componentes

Deve-se identificar e caracterizar as interfaces entre as paredes e os demais elementos e componentes do edifício que podem interferir no desempenho das paredes e do edifício como um todo.

Para isso devem-se apresentar as soluções de interface, os materiais e componentes empregados, os detalhes das soluções de fixação e aplicação e, caso necessário, fazer ensaios.

É necessária, ao menos, a caracterização das interfaces com os seguintes elementos e componentes:

- Fundações;
- Revestimentos de paredes, pisos e tetos;
- Esquadrias de porta e janela;
- Instalações;
- Impermeabilização;
- Forro;
- Cobertura.

2.6 Caracterização da execução

Caracterizar a execução, descrevendo a sequência das operações realizadas para a concretagem das paredes e lajes, desde a marcação, preparação e montagem das armaduras e das fôrmas e cimbramentos até a desenforma e recuperação de eventuais falhas de concretagem e procedimentos de cura do concreto. Deve-se indicar os principais equipamentos empregados bem como os cuidados e controles de execução adotados e outros aspectos relevantes que podem influenciar no desempenho do sistema.

3. Requisitos e critérios de desempenho

A avaliação de desempenho das paredes de concreto moldadas no local deve ser feita considerando os requisitos e critérios de desempenho descritos nos próximos itens.

3.1 Desempenho estrutural

3.1.1 Concepção de projeto

Apesar do sistema estrutural em paredes de concreto não se enquadrar totalmente no conceito estrutural da ABNT NBR 6118, deve-se obedecer, de maneira geral, às suas exigências. As premissas de projeto devem levar em conta todas as solicitações previstas na seção 11 da ABNT NBR 16055 e atender a verificação dos Estados Limites Último (ELU) e de Serviço (ELS) previstos na mesma norma.

Deve-se considerar a resistência mecânica dos materiais e componentes e as solicitações características de acordo com as normas brasileiras vigentes, simulando-se através de modelos matemáticos e/ou físicos as situações de ruína por esgotamento da capacidade de resistência dos materiais ou por instabilidade.

O estado limite de serviço pressupõe a durabilidade e utilização normal da estrutura, limitando-se a formação de fissuras, a magnitude dos deslocamentos e das deformações, e a ocorrência de falhas localizadas que possam prejudicar os níveis de desempenho previstos para a própria estrutura e para os demais elementos e componentes que constituem a edificação.

Quanto à segurança estrutural, o edifício deve atender, durante a vida útil de projeto, as disposições constantes nas subseções 5.2, 5.3 e 5.4 da ABNT NBR 16055.

Deve-se considerar, fundamentalmente, a ABNT NBR 6118, a ABNT NBR 15575-2, a ABNT NBR 15575-4 e a ABNT NBR 16055.

3.1.1.1 Concepção de projeto das paredes de concreto leve

Os edifícios de paredes de concreto leve devem ser contraventados de tal forma que não ocorram grandes deslocamentos relativos entre o topo e a base do edifício, respeitando-se os limites estabelecidos na ABNT NBR 6118. Admite-se que esta condição é atendida quando:

- A estabilidade lateral dos componentes e do conjunto estrutural é garantida pela disposição de paredes resistentes nas duas direções. A rigidez da ligação entre as paredes deve ser assegurada, de modo a minimizar sua esbeltez;
- A laje é calculada como solidária com as paredes resistentes e funciona como diafragma rígido, de forma a transferir a estas os esforços horizontais. Permite-se o cálculo das reações das lajes pelo método das charneiras plásticas, porém os esforços devidos à flexão devem ser criteriosamente determinados de forma a garantir a monoliticidade do diafragma e a conexão deste com as paredes.

3.1.1.2 Concepção de projeto das paredes de CRFV

Considerando aspectos de durabilidade em meio alcalino, para o CRFV não deverão ser considerados para os coeficientes de ponderação da resistência do CRFV valores inferiores a $\gamma_m = 1,6$.

Com base na composição e caminhamento vertical das cargas, modificadas pelos respectivos coeficientes de ponderação, por meio de programas de elementos finitos ou outros modelos adequados, devem ser estabelecidas as tensões atuantes nas seções mais desfavoráveis do conjunto de paredes dos diversos pavimentos, demonstrando-se que os valores encontrados são inferiores às tensões resistentes do CRFV especificadas no projeto, alteradas pelos respectivos coeficientes de ponderação.

Nos projetos estruturais de paredes de CRFV, independentemente do número de pavimentos, as tensões resistentes do CRFV devem ser estabelecidas com base na ABNT NBR 16935, não se tomando valores inferiores aos especificados no item 1.1.

Visando evitar tensões de tração significativas nas paredes, bem como deformações relativas entre pavimentos consecutivos, deve-se limitar a esbeltez global (λ_{global}) do edifício a:

$$\lambda_{global} = 3,46 \cdot H_{tot}/L_x \leq 6$$

onde:

- H_{tot} – altura total do edifício até a laje de cobertura (sem considerar ático e reservatórios);
- L_x – menor dimensão em planta do edifício.

Estabelecendo-se que as paredes estruturais não devem apresentar fissuras ou destacamentos, o projeto estrutural deve prever reforços com armaduras convencionais, de aço, ou de FRP em seções onde ocorre natural concentração de tensões, considerando-se, por exemplo, encontros entre paredes de fachada, contornos de aberturas de portas e janelas, trechos estreitos entre vãos de portas e janelas ou outros.

Considerando os efeitos de deformações impostas (movimentações higrotérmicas, recalques de fundação, etc.), e visando a mitigar o risco de colapso progressivo, devem ser observados os requisitos preconizados na ABNT NBR 6118, adotando-se, para o arranque das fundações e para a continuidade entre pavimentos, armadura mínima equivalente a barras de aço CA-50 de diâmetro 8 mm a cada 400 mm. No caso da continuidade entre pavimentos, tais arranques podem ser constituídos por dobras verticais das armaduras dos respectivos entrepisos, podendo-se dispensar as armaduras de continuidade nas paredes internas caso o memorial de cálculo demonstre atendimento aos valores estabelecidos na Tabela 8 da ABNT NBR 16475.

Para prevenir o aparecimento de fissuras deve ser analisada a necessidade da colocação de juntas de controle verticais. Pode-se dispensar essas juntas para paredes com comprimento inferior a $L = 5000 \cdot i_r$ (L em metros, i_r em porcentagem). Na falta desta informação, considerar o

comprimento máximo de parede (ou distância entre juntas de controle) de 8 m nas paredes internas ou 6 m para paredes externas.

Considerando-se que, mesmo com a presença de arranques existe risco considerável de formação de fissuras na continuidade das paredes de fachada entre os sucessivos pavimentos, há necessidade de inclusão de recursos arquitetônicos e detalhes construtivos nessas regiões das fachadas, de modo a impedir prejuízos estéticos ou mesmo infiltrações de água.

Admite-se o emprego de CRFV sem armaduras convencionais em edificações dotadas de paredes nas quais o esforço predominante é de compressão. No entanto, visando combater eventuais tensões de tração, passíveis de ocorrerem na própria fase de execução da obra, há necessidade de uma capacidade mínima de resistência à tração do CRFV, que deve ser estabelecida de acordo com a ABNT NBR 16935.

No caso da substituição total ou parcial das armaduras convencionais pela fibra de vidro, as peças submetidas predominantemente à compressão devem ser dimensionadas no Estado Limite Último e no Estado Limite de Serviço, sendo que as tensões devem ser verificadas considerando-se as resistências à tração uniaxiais reduzidas f_{Ftu} e f_{Fts} , de acordo com o estado limite considerado.

Mesmo que submetidas unicamente à compressão, no caso de paredes com vãos de portas ou janelas, havendo ou não substituição parcial ou total de armaduras convencionais, deve-se prever reforços de barras de armadura, de barras convencionais ou de barras de FRP nos vãos de portas e janelas.

As lajes devem contar necessariamente com armaduras convencionais, podendo-se considerar na resistência a contribuição de fibras de vidro, tomando-se para a capacidade mínima de resistência à tração do CRFV de acordo com a ABNT NBR 16935. No caso de lajes com a utilização de armaduras convencionais + fibras de vidro, o máximo valor do momento resistente deve ser determinado de acordo com a ABNT NBR 16935.

3.1.2 Armadura mínima para paredes de concreto leve com armadura de aço galvanizado

Esse item apresenta considerações específicas à armadura mínima galvanizada, utilizada em paredes de concreto leve, conforme definido nesse documento.

As informações a seguir são relativas à seção de aço, ao espaçamento entre barras de aço e à quantidade de telas para paredes de concreto leve e armadura de aço galvanizado na forma de telas.

- a) Seção mínima de aço das armaduras verticais:
 - Permite-se a utilização de armadura mínima equivalente a 0,07% da seção de concreto .
- b) Seção mínima de aço das armaduras horizontais:
 - A seção mínima de aço das armaduras horizontais compostas de telas de aço CA60 deve corresponder a no mínimo 0,135% da seção de concreto;
 - Permite-se a utilização de armadura mínima equivalente a 40% de 0,15% da seção de concreto, para o aço CA60, e desde que se utilize fibras plásticas (consumo mínimo de 300 g/m³ de concreto).

O valor mínimo *minimorum* de 0,06% da seção de concreto em construções de até dois pavimentos, tanto para armadura vertical como horizontal, é permitido desde que sejam atendidas as seguintes condições:

- a) Edificação com planta aproximadamente retangular e largura em projeção horizontal de, no mínimo, 8 m;
- b) Lajes de vão livre com dimensão máxima de 4m e sobrecarga máxima de 300 kgf/m²;
- c) Pé direito de piso a piso máximo de 3m;
- d) Emprego de armadura em aço CA60, associada ao emprego de fibras plásticas (consumo mínimo de 300 g/m³ de concreto);
- e) Espaçamento entre barras de aço: o espaçamento máximo entre barras das armaduras tanto verticais quanto horizontais não deve ser maior que duas vezes a espessura da parede, sendo de, no máximo, 300 mm;
- f) Quantidade de telas: as paredes de concreto podem conter apenas uma tela, disposta longitudinalmente e próxima ao centro geométrico da seção horizontal da parede. Nos casos a seguir, devem ser detalhadas armaduras para as duas faces da parede:
 - o Espessura da parede superior a 150 mm;
 - o Parede no andar térreo de edificações, quando sujeita a choque de veículos;
 - o Paredes que engastam marquises e terraços em balanço.

Tais critérios não se aplicam a armaduras confeccionadas com outros tipos de materiais não metálicos.

O projetista da estrutura deve apresentar o memorial de cálculo justificando a armadura mínima se esta for a situação definida em projeto.

3.1.3 Estabilidade e resistência do sistema estrutural (ELU)

Considerar o nível de segurança contra a ruína previsto na ABNT NBR 6118, na ABNT NBR 15575-2, na ABNT NBR 15575-4, na ABNT NBR 16055 e demais documentos complementares, considerando as combinações de carregamento de maior probabilidade de ocorrência, ou seja, aquelas que se referem ao ELU. Considerar nos projetos as cargas permanentes, acidentais (sobrecargas de utilização), devidas ao vento e a deformações impostas, como variação de temperatura, umidade e recalques das fundações.

Deve-se fazer ensaios de compressão excêntrica para a verificação ao atendimento do ELU, conforme ABNT NBR 15575-2.

Para as paredes de CRFV deve-se seguir as diretrizes de projeto constantes da ABNT NBR 16935.

3.1.4 Deformações ou estados de fissuração do sistema estrutural (ELS)

Não ocasionar deslocamentos ou fissuras excessivas aos elementos de construção vinculados ao sistema estrutural, levando-se em consideração as ações permanentes e de utilização, nem impedir o livre funcionamento de elementos e componentes da edificação, tais como portas e janelas, nem repercutir no funcionamento das instalações.

Sob a ação de cargas gravitacionais, de temperatura, de vento (ABNT NBR 6123), recalques diferenciais das fundações (ABNT NBR 6122) ou quaisquer outras solicitações passíveis de

atuarem sobre a construção, conforme ABNT NBR 8681, os componentes estruturais não devem apresentar:

- a) Deslocamentos maiores que os estabelecidos na ABNT NBR 6118 ou, caso necessário, os estabelecidos na ABNT NBR 15575-2;
- b) Fissuras com aberturas maiores que os limites indicados na ABNT NBR 6118.

Deve-se fazer ensaios de compressão excêntrica para a verificação ao atendimento do ELU, conforme NBR 15.575-2.

3.1.5 Resistência a impactos de corpo mole e de corpo duro

As paredes de concreto devem atender aos critérios da ABNT NBR 15575-4.

Considera-se, para efeito de avaliação técnica, que atendem aos critérios relativos a impactos de corpo mole e corpo duro, observadas as disposições do item 1.1 quanto às dimensões e ao concreto empregado:

- As paredes de concreto leve com a armadura de aço galvanizado mínima especificada no item 3.1.2;
- As paredes de CRFV.

3.1.6 Ações transmitidas por portas para as paredes

As paredes de concreto devem atender aos critérios da ABNT NBR 15575-4.

3.1.7 Cargas transmitidas por peças suspensas

Considera-se, para efeito de avaliação técnica, que atendem aos critérios relativos a cargas transmitidas por peças suspensas, observadas as disposições do item 1.1 quanto às dimensões e ao concreto empregado:

- As paredes de concreto leve com a armadura de aço galvanizado mínima especificada no item 3.1.2;
- As paredes de CRFV.

3.2 Segurança contra incêndio

Para os sistemas de parede objeto desta Diretriz, os requisitos de segurança contra incêndio são expressos por: reação ao fogo dos materiais de acabamento e resistência ao fogo das paredes que são elementos estruturais e de compartimentação.

Especificamente quanto às paredes de concreto, alvo dessa Diretriz, com relação aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR 15575-1, verifica-se que as paredes tem como principal função minimizar a propagação do incêndio, assegurando estanqueidade à chamas, isolamento térmico e estabilidade. No caso de paredes com função estrutural, como o sistema em paredes de concreto, estas respondem também por minimizar o risco de colapso estrutural da edificação em situação de incêndio.

De uma forma geral, na avaliação da segurança contra incêndio é importante, ainda, considerar no desenvolvimento do projeto as exigências contidas nas regulamentações do Corpo de Bombeiros no Estado em que a edificação será erigida e, atender as exigências do usuário conforme a ABNT NBR 14432, além dos regulamentos específicos estaduais e municipais.

3.2.1 Dificultar a inflamação generalizada

Os materiais de revestimento, acabamento e isolamento termo-acústico empregados na face interna dos sistemas ou elementos que compõem as paredes devem ter as características de

propagação de chamas controladas, de forma a atender as exigências do critério de propagação superficial de chamas especificado no item 8.2 da ABNT NBR 15575-4.

Para paredes estruturais de concreto, os acabamentos internos, se constituídos do próprio concreto, ou com revestimento em gesso liso ou massa corrida e pintado são considerados incombustíveis. Caso existam outros materiais de acabamento, esses devem ser classificados como I, II A ou III A.

3.2.2 Dificultar a propagação do incêndio

Os materiais de revestimento, acabamento e isolamento termoacústico empregados na face externa dos sistemas ou elementos que compõem as paredes devem ter as características de propagação de chamas controladas, de forma a atender as exigências do critério de propagação superficial de chamas especificado no item 8.3 da ABNT NBR 15575-4.

Para paredes estruturais de concreto, os acabamentos internos, se constituídos do próprio concreto, ou com revestimento em gesso liso ou massa corrida e pintado são considerados incombustíveis. Caso existam outros materiais de acabamento, esses devem ser classificados como I, II A ou III A.

3.2.3 Minimizar o risco de colapso estrutural

As paredes estruturais, objeto desta Diretriz, no caso particular de edifícios de até cinco pavimentos, casas ou sobrados geminados, devem assegurar estabilidade estrutural, estanqueidade à chamas e isolamento térmico por um período mínimo de 30 minutos, durante uma situação de incêndio.

Considera-se, para efeito de avaliação técnica, que as paredes de concreto leve com a armadura de aço galvanizado mínima especificada no item 3.1.2 atendem ao critério exposto em 3.2.3, observadas as disposições do item 1.1 quanto às dimensões e ao concreto empregado.

3.3 Segurança no uso e operação

As paredes de concreto devem atender aos critérios da ABNT NBR 15575-1.

3.4 Estanqueidade

As paredes de concreto devem atender aos critérios da ABNT NBR 15575-4.

Considera-se, para efeito de avaliação técnica, que as paredes de concreto tratadas nesta Diretriz, contempladas no item 1.1, com espessura mínima de 100 mm, atendem ao critério relativo à estanqueidade à água, nas seguintes condições:

- a) Paredes externas: protegidas por sistemas de pintura;
- b) Paredes internas de áreas molhadas: revestidas com placas cerâmicas com altura mínima de 1500 mm no box da área de banho e 300 mm sobre pias do banheiro, sendo no restante da área das paredes a proteção feita com sistemas de pintura que atendam às respectivas normas;
- c) Paredes internas de áreas molháveis: revestidas com placas cerâmicas com altura mínima de 300 mm sobre pia de cozinha e tanque de lavagem de roupas sendo no restante da área das paredes a proteção feita com sistemas de pintura que atendam às respectivas normas.

De maneira geral, deve-se avaliar as soluções adotadas para as interfaces entre as paredes e demais elementos e componentes submetidos à incidência de água tais como:

- Elementos de fundação;
- Revestimentos de pisos internos e externos;

- Revestimentos de paredes internas e externas;
- Esquadrias;
- Coberturas.

Essas interfaces devem ser analisadas, quanto à:

- Possibilidade de ocorrência de fissuras e/ou destacamentos que permitam a infiltração de água;
- Adoção de detalhes que permitam o escoamento da água, por exemplo, a existência de pingadeiras nos peitoris e caimentos em pisos;
- Aplicação de selantes que impeçam a passagem da água;
- Aplicação de sistemas de impermeabilização.

3.5 Desempenho higrotérmico

3.5.1 Desempenho térmico

A edificação deve reunir características que atendam às exigências de desempenho térmico estabelecidas na ABNT NBR 15575-4 e no Protocolo de Avaliação do Desempenho Térmico de Sistemas Construtivos para Habitações por Simulações Computacionais do SiNAT, publicado em 21/08/21², respeitando as características bioclimáticas das diferentes regiões brasileiras definidas na ABNT NBR 15220-3 e considerando que o desempenho térmico da edificação depende do comportamento interativo entre paredes externas e cobertura.

A simulação deve ser feita com as cidades representativas de cada zona bioclimática onde o sistema construtivo será utilizado.

Considera-se, para efeito de avaliação técnica, que as edificações com paredes estruturais de concreto tratadas nesta Diretriz destinadas a casas térreas, sobrados, casas sobrepostas e a edifícios habitacionais de até cinco pavimentos, com as características abaixo apresentadas, atendem ao critério mínimo de desempenho térmico exposto na ABNT NBR 15.575-4 e no Protocolo de Avaliação do Desempenho Térmico de Sistemas Construtivos para Habitações por Simulações Computacionais do SiNAT, em termos de percentagem média durante o ano em que os ambientes de longa permanência (dormitórios e salas) apresentam temperaturas operativas dentro de faixas determinadas e de temperaturas operativas máximas e mínimas anuais da habitação.

Características: pé direito mínimo de 2,5 m, de piso a teto; espessura mínima das paredes de 100 mm; espessura mínima das lajes de 100 mm (de forro ou de piso); telhado de telhas de fibrocimento (espessura mínima de 6 mm), ou telhas de concreto (espessura mínima de 11 mm) ou telhas cerâmicas, desde que a condutividade térmica seja menor ou igual a 0,65 W/(m.K); presença de ático entre a laje horizontal e o telhado com resistência térmica mínima de 0,21 (m².K)/W; faces externas das paredes externas em cores de tonalidades médias ou claras para as zonas bioclimáticas Z1 a Z7 e tonalidades claras para a zona bioclimática Z8; emprego de produto isolante térmico na cobertura, com resistência térmica mínima de 0,67 m².K/W ($R=e/\lambda$, sendo “e” a espessura e “λ” a condutividade térmica), na zona bioclimática Z8.

3.5.2 Período de condensação

O número de horas em que há risco de condensação para o sistema de paredes objeto desta Diretriz, em um período de um ano, considerando as condições estabelecidas no item 1.2 e a região bioclimática, pode ser, no máximo, 20% maior que aquele de uma parede de alvenaria de blocos cerâmicos de 140 mm de espessura com revestimento de argamassa de 20 mm de espessura em ambas as faces no mesmo período. Considerar a taxa de condensação máxima

² Documento disponível em <<https://pbqp-h.mdr.gov.br/biblioteca/modelo-protocolo-sinat/>>

que pode ocorrer entre as paredes avaliadas, considerando os resultados da edificação ocupada, conforme condições estabelecidas no Anexo A (Procedimento para simulação computacional de taxa de condensação por ano).

Para isso deve-se fazer simulação, considerando as condições do item 1.2, utilizando software que faça balanço simultâneo de calor e umidade em regime transitório, como exemplo o Energy Plus.

3.6 Desempenho acústico

Para o produto objeto desta diretriz deve ser apresentado o valor do índice de redução sonora ponderado, R_w , considerando o elemento construtivo parede cega, com os seus componentes típicos, incluindo juntas quando for o caso, conforme ISO 10140 - parte 3, que é o método de precisão realizado em laboratório.

Considerando este valor, a ITA fará uma análise do potencial do emprego da parede na edificação habitacional, do ponto de vista da isolamento a ruídos aéreos, com base nos critérios e nos valores de referência definidos na ABNT NBR 15575-4, para sistemas de vedação vertical externa ou interna (fachadas, paredes de geminação, paredes entre unidades habitacionais e áreas comuns, separação entre unidades passando pelo hall).

Como forma de demonstrar o potencial de atendimento da ABNT NBR 15575-4, devem ser apresentadas medições de campo, considerando isolamento a ruídos aéreos de fachada, ou de fachada/cobertura (no caso de unidades térreas e assobradadas) e de paredes internas entre unidades habitacionais, pelo menos. As medições de campo devem ser efetuadas, preferencialmente, por meio do método de engenharia, conforme a ISO 140-5 (SVVE – fachadas) ou a ISO 140-4 (SVVI).

Sabe-se que há limitações, pois os resultados obtidos em campo restringem-se somente às medições efetuadas, porém estas medições estão sendo entendidas somente como uma verificação potencial. Além disto, os valores medidos em campo consideram o projeto, os demais componentes e elementos construtivos empregados na edificação e até a qualidade da execução da edificação, além do produto objeto desta Diretriz. Por isso, os resultados dos ensaios em campo devem vir acompanhados da descrição das paredes, tratamento de juntas, tipo de esquadrias (portas e janelas) e tratamento da junta entre paredes e esquadrias, relação entre área de janela e área de parede, tipo de cobertura (telhado e forro) e projeto típico da unidade nos locais de medição.

3.6.1 Isolação sonora promovida pelos elementos da envoltória (parede e cobertura) – ensaio de campo - $D_{2m,nT,w}$

Os elementos da envoltória, fachadas e coberturas, na região de dormitórios, devem atender aos critérios mínimos apresentados na ABNT NBR 15575-4.

3.6.2 Isolação sonora entre ambientes promovida pelas paredes internas - em ensaio de campo - $D_{nT,w}$

O sistema de vedação vertical interna deve atender os critérios apresentados na ABNT NBR 15575-4.

3.7 Durabilidade e manutenibilidade

As paredes estruturais de concreto devem atender aos requisitos e critérios estabelecidos pela ABNT NBR 15575-1 quanto à durabilidade e manutenibilidade.

Por se tratar de paredes estruturais, a VUP deve ser ≥ 50 anos, como exigido pela ABNT NBR 15575-1, quando submetidas às intervenções de manutenção previstas no Manual Técnico de Uso do Sistema.

Assim, além da verificação do atendimento das características dos componentes estabelecidas no item 2, os seguintes requisitos são previstos para análise da durabilidade:

- Análise dos mecanismos de deterioração do concreto e das armaduras (item 3.7.1);
- Verificação da existência e coerência de especificações e premissas de projeto que visem atendimento à VUP, conforme ABNT NBR 15575-1 (item 3.7.2);
- Verificação da existência no Manual Técnico de Uso de orientações que visem o correto uso, a facilidade e qualidade dos serviços de manutenção, em acordo com a ABNT NBR 5674 e ABNT NBR 14037;
- Resistência das paredes de fachada à ação de calor e choque térmico (item 3.7.3).

3.7.1 Análise dos mecanismos de deterioração do concreto e das armaduras

3.7.1.1 Deterioração do concreto

Para o produto tratado nesta Diretriz o conhecimento das propriedades do concreto – porosidade e permeabilidade – é essencial para prevenir a penetração de agentes agressivos e, conseqüentemente, a possível deterioração do concreto e da armadura.

Assim, deve-se considerar:

- a) Lixiviação por ação de águas puras, carbônicas agressivas e ácidas que dissolvem e carreiam os compostos hidratados da pasta de cimento;
- b) Expansão por ação de águas que contenham ou estejam contaminados com sulfatos, dando origem a reações expansivas e deletérias com a pasta de cimento hidratado;
- c) Expansão por ação das reações entre os álcalis do cimento e certos agregados reativos;
- d) Reações deletérias superficiais de certos agregados decorrentes de transformações de produtos ferruginosos presentes na sua constituição mineralógica.

3.7.1.2 Deterioração do concreto leve

No caso das paredes de concreto leve os critérios estipulados pela ABNT NBR 6118 não podem ser aplicados. Assim, na avaliação da exposição à agressividade ambiental deve-se demonstrar o potencial de resistência do concreto aos agentes agressivos mais comuns, como carbonatação e penetração de cloretos, quando do emprego de armaduras metálicas.

Especificamente para o concreto leve são exigidas:

- a) Utilização de armadura metálica galvanizada com proteção de zinco com espessura mínima de 30 µm;
- b) Cobrimento mínimo da armadura galvanizada pelo concreto de 30 mm.

3.7.1.3 Deterioração do CRFV

Para o caso das paredes de CRFV deve-se comprovar o potencial de resistência da fibra de vidro ao ataque alcalino do cimento. Para isso o detentor da tecnologia deve comprovar o atendimento à ABNT NBR 16941.

Além disso, deve-se avaliar a resistência à tração das fibras antes e após o ataque alcalino. Para o ataque alcalino deve-se seguir os procedimentos da DIN EN 13496 *Thermal insulation products for building applications – Determination of the mechanical properties of glass fibre meshes as reinforcement for ETICS*.

Também pode-se avaliar as fibras imersas no concreto. Para isso avalia-se o CRFV antes e após ataque alcalino segundo os procedimentos da ASTM C1560-03 *Standard test method for*

hot water accelerated aging of glass-fiber reinforced cement-based composites e avalia-se a resistência à flexão de placas de concreto antes e após o ataque alcalino.

Nos ensaios feitos segundo a DIN EN 13496 e ASTM C1560-03, admite-se, no máximo, 20% de perda das propriedades avaliadas, tanto para a fibra isolada quanto para o CRFV.

3.7.1.4 Deterioração das armaduras

Quanto à deterioração da armadura metálica, deve-se considerar:

- a) Despassivação por carbonatação, ou seja, por ação do gás carbônico da atmosfera que penetra por difusão e reage com os hidróxidos alcalinos da solução dos poros do concreto reduzindo o pH dessa solução;
- b) Despassivação por elevado teor de íon cloro (cloreto), ou seja, por penetração do cloreto através de processos de difusão, de impregnação ou de absorção capilar de águas contendo teores de cloreto, que ao superarem certo limite podem ocasionar a corrosão.

Quanto à deterioração da armadura não metálica, deve-se verificar a compatibilidade química do material da fibra de vidro com o concreto, especificamente quanto ao ataque alcalino do cimento.

Para o caso da armadura de fibra de vidro protegida com resina poliéster deve-se avaliar a resistência à tração das armaduras antes e após o ataque alcalino. Para o ataque alcalino deve-se seguir os procedimentos da DIN EN 13496 *Thermal insulation products for building applications – Determination of the mechanical properties of glass fibre meshes as reinforcement for ETICS*.

Também deve-se avaliar a armadura imersa no concreto. Para isso avalia-se o concreto leve antes e após ataque alcalino segundo os procedimentos da ASTM C1560-03 *Standard test method for hot water accelerated aging of glass-fiber reinforced cement-based composites* e avalia-se a resistência à flexão de placas de concreto antes e após o ataque alcalino.

Em ambos os casos, admite-se, no máximo, 20% de perda das propriedades avaliadas, tanto para a armadura isolada quanto para o concreto.

3.7.2 Premissas de projeto e execução visando a durabilidade e a manutenibilidade das paredes de concreto leve

A durabilidade das paredes estruturais de concreto leve armado está relacionada com a proteção das armaduras metálicas, quer seja pelo cobrimento providenciado pelo concreto leve como pelos revestimentos utilizados nas paredes internas e externas.

As armaduras imersas no concreto leve são partes suscetíveis a apresentarem problemas de degradação ao longo da vida útil de projeto, aferida pelo risco de aparecimento da primeira fissura. Para reduzir esse risco, a sistemática de multibarreiras descritas abaixo, devem ser adotadas em projeto:

Para reduzir esse risco, a sistemática de multibarreiras descritas abaixo deve ser adotada em projeto:

- Beirais de no mínimo 600 mm em projeção horizontal, no perímetro da cobertura das edificações;
- Estucamento (tamponamento) executado com argamassa de cimento, areia fina e aditivo acrílico em até três dias após desenforma das paredes;
- Revestimento impermeável com 600 mm de altura junto à calçada (barrado), nas bases externas das paredes externas;

- Aplicação de pintura acrílica das paredes externas entre trinta e noventa dias após desenforma das paredes;
- Revestimento impermeável nas paredes de áreas molhadas e molháveis, com placas cerâmicas com altura mínima de 1500 mm para o box da área de banho e 300 mm sobre pias do banheiro, cozinha e tanque de lavagem de roupas;
- Pintura acrílica ou PVA nas paredes internas das demais áreas;

Adicionalmente, quando da execução das paredes, deve-se observar:

- Controle rígido da instalação de armaduras, contemplando espaçadores plásticos distribuídos a cada 500 mm, de modo a providenciar o cobrimento mínimo de 30 mm das armaduras pelo concreto;
- Elaboração de estudo de dosagem do concreto e respectivo controle tecnológico, utilização de fibras de polipropileno e elaboração de projeto estrutural para cada empreendimento, de modo a evitar aparecimento de fissuras devidas a esforços de tração;
- Controle da qualidade do revestimento de zinco por imersão a quente das armaduras, bem como seu correto armazenamento e amarração com arames zincados evitando-se possível corrosão galvânica;
- Controle da consistência e adensamento do concreto de modo a se evitar vazios.

3.7.3 Resistência a choque térmico

Considera-se, para efeito de avaliação técnica, que as paredes de concreto tratadas nesta Diretriz, contempladas no item 1.1, atendem ao critério relativo à resistência a choque térmico da ABNT NBR 15575-4.

4. Métodos de avaliação do produto

4.1 Métodos para caracterização do produto

A caracterização do produto parede estrutural de concreto moldada no local pode ser feita a partir de análises de projeto, visitas a obras e ensaios dos materiais e componentes.

Com relação aos ensaios de caracterização dos materiais devem ser adotadas as normas listadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Normas para a caracterização dos materiais

Material	Ensaio	Norma
Concreto	Consistência pelo abatimento do tronco de cone	NBR NM 67
	Determinação do espalhamento	NBR 15823-2
	Massa específica	NBR 9833
	Resistência à compressão	NBR 5739
	Absorção de água, índice de vazios e massa específica	NBR 9778
	Resistência à tração na flexão	NBR 12142
Armadura de aço	Caracterização das barras	NBR 7480
	Caracterização das telas	NBR 7481
	Espessura de galvanização	NBR 13284

Fibras	Especificação	NBR 16941
	Caracterização	
	Densidade linear	
	Comprimento, densidade linear	
	Resistência à tração	
Barras de FRP	Dimensões	Anexo A*
	Teor de fibras	Anexo F*
	Aderência da barra ao concreto	Anexo E*
	Aderência da barra ao concreto após exposição ao meio alcalino	Anexo G*
	Temperatura de transição vítrea	ASTM E1545-11

*Anexos da Prática Recomendada: Estruturas de Concreto Armado com Barras de Polímero Reforçado com Fibras (FRP) (IBRACON, 2021)

4.2 Métodos para avaliação do desempenho

4.2.1 Desempenho estrutural

Deve ser analisado o projeto estrutural, considerando a aplicação para determinados projetos e número de pavimentos-tipo.

- a) Cálculos: a análise do projeto da estrutura do edifício é feita com base na ABNT NBR 6118 e na ABNT NBR 16055, esta última naquilo que não contrariar esta Diretriz. Quando necessário, poderão ser adotados outros procedimentos de cálculo, devidamente justificados;
- b) Ensaios: quando a modelagem matemática do comportamento estrutural não puder ser realizada, permite-se, para fins desta Diretriz, estabelecer uma resistência mínima de projeto e uma resistência de trabalho através de ensaios destrutivos e do traçado do correspondente diagrama carga x deslocamento, conforme previsto na ABNT NBR 15575-2. Todavia, ressalta-se que este método aplica-se somente a edificações de até 5 pavimentos. Para a determinação da resistência de trabalho as paredes devem ser ensaiadas nas condições de solicitação a que se pretende submetê-las na edificação, limitando-se o deslocamento ou a falha, como a ocorrência de fissuras, por exemplo.

4.2.1.1 Estabilidade e resistência do sistema estrutural (ELU)

Deve-se utilizar como método para avaliação desse requisito, os cálculos e/ou ensaios previstos na ABNT NBR 15575-2.

- a) Cálculos: as condições de desempenho podem ser comprovadas analiticamente, demonstrando o atendimento ao estado-limite último, devendo as ações respeitarem as normas vigentes e considerações de projeto.
- b) Ensaios: quando a modelagem matemática do comportamento conjunto dos materiais e componentes que constituem o sistema, ou dos sistemas que constituem a estrutura, não for conhecida e consolidada por experimentação, ou não existir norma técnica, permite-se estabelecer uma resistência mínima de projeto através de ensaios destrutivos e do traçado do correspondente diagrama carga x deslocamento, conforme especificado no Anexo A da ABNT NBR 15575-2: “Modelagem matemática do comportamento conjunto para a resistência mínima de projeto”.

4.2.1.2 Deformações ou estados de fissuração do sistema estrutural (ELS)

Verifica-se o atendimento aos valores das normas brasileiras, particularmente da ABNT NBR 6118 ou, caso necessário, os estabelecidos na ABNT NBR 15575-2. Caso esses valores não sejam atendidos, proceder à análise do projeto, cumprindo o estabelecido nos itens de cálculos ou ensaios, a seguir.

- a) Cálculos: a análise do projeto dos componentes estruturais do edifício deve ser feita com base nas ABNT NBR 6118, ABNT NBR 6120, ABNT NBR 6123 e ABNT NBR 8681. Devem ser consideradas as cargas permanentes, acidentais, devidas ao vento e a deformações específicas, conforme a ABNT NBR 8681. Nos casos mais gerais, na análise das deformações podem ser consideradas apenas as ações permanentes e acidentais (sobrecargas) características, tomando-se para y_g o valor 1,0 e para y_q o valor 0,7.

$$S_d = S_{gk} + 0,7 S_{qk}$$

Na avaliação dos deslocamentos devem ser levadas em conta as deformações imediatas e as diferidas no tempo.

- b) Ensaios: quando a modelagem matemática do comportamento conjunto dos materiais e componentes que constituem o sistema estrutural não for conhecida e consolidada por experimentação, ou não existir norma técnica, permite-se estabelecer uma modelagem matemática do comportamento conjunto para as deformações de serviço através de ensaios destrutivos e do traçado do correspondente diagrama carga x deslocamento, conforme indicado no Anexo B da ABNT NBR 15.575-2. Os elementos estruturais devem ser ensaiados nas condições de solicitação a que se pretende submetê-los na edificação, traçando o gráfico: carga x deslocamento, conforme indicado no Anexo B da ABNT NBR 15.575-2, de forma a serem caracterizados em cada ensaio pelo deslocamento que primeiro estabelecer uma falha.

4.2.1.3 Impactos de corpo mole e corpo duro

Conforme ABNT NBR 15575-4 e item 3.1.5.

4.2.1.4 Solicitações transmitidas por portas para as paredes

Conforme ABNT NBR 15575-4 e item 3.1.6.

4.2.1.5 Cargas transmitidas por peças suspensas para as paredes

Conforme ABNT NBR 15575-4 e item 3.1.7.

4.2.2 Segurança contra incêndio

Os requisitos e critérios de desempenho podem ser verificados por meio de análises dos projetos, por ensaios ou por inspeção em protótipos e seguir os preceitos da ABNT NBR 15575-4 e item 3.2.

4.2.3 Segurança no uso e operação

Conforme ABNT NBR 15575-4 e item 3.3.

4.2.4 Estanqueidade à água

Conforme ABNT NBR 15575-4 e item 3.4.

4.2.5 Desempenho higrotérmico

O desempenho térmico deve ser avaliado conforme a ABNT NBR 15575-4 e item 3.5.1.

4.2.6 O período de condensação deve ser avaliado conforme item 3.5.2. Desempenho acústico

Conforme ABNT NBR 15575-4 e item 3.6.

4.2.7 Durabilidade e manutenibilidade

Conforme ABNT NBR 15575-4 e item 3.7.3, ou seja, presume-se que as paredes objeto desta Diretriz, por serem paredes homogêneas, ou seja, de um único material homogêneo, atendem a este critério, sem necessidade de ensaio. Esse item já constava desta forma nas outras versões.

5. Análise global do desempenho do produto

Os relatórios específicos de análise são consolidados em um Relatório Técnico de Avaliação, no qual é apresentada uma síntese do desempenho global do produto, considerando a análise de todos os resultados obtidos no processo de avaliação técnica do sistema construtivo, realizado no âmbito do SINAT, incluindo os ensaios de caracterização e de desempenho do sistema construtivo, com base nas exigências especificadas nessa Diretriz.

6. Controle da qualidade

A Instituição Técnica Avaliadora, ITA, deve avaliar se a empresa detentora do DATec tem e mantém os controles necessários para a qualidade do processo de produção do seu produto. Para tanto, deve-se realizar auditorias técnicas periódicas na unidade produtora do sistema construtivo e, se for o caso, em obras acabadas ou em execução.

A periodicidade das auditorias técnicas do sistema construtivo objeto desta Diretriz, a serem conduzidas pela ITA, deve ser de aproximadamente seis meses de acordo com a portaria 110 do Ministério das Cidades de 05/03/2015.

A empresa detentora do DATec deve realizar e manter controle tecnológico dos materiais e componentes, principalmente o concreto, das armaduras, fibras, bem como controle da execução do produto alvo dessa Diretriz, os quais devem ser evidenciados no sistema da qualidade da empresa.

Nas auditorias técnicas, sempre que se julgar necessário, a ITA, além de verificar os controles da empresa, pode solicitar a realização de ensaios de caracterização dos materiais para que se verifique se as condições analisadas se mantêm as mesmas de quando da emissão do DATec. Nesse caso, devem ser avaliadas as propriedades especificadas no item 2.4, a critério da ITA.

Quanto à execução das paredes tratadas nesta Diretriz, a ITA deve verificar se a empresa faz os controles:

- De recebimento dos materiais, de acordo com a normalização pertinente e os procedimentos de execução do proponente;
- De aceitação do concreto, de acordo com a normalização pertinente e os procedimentos de execução do proponente, para as idades de desforma e aos 28 dias;
- De execução das paredes, conforme a ABNT NBR 14931 e ABNT NBR 16055. O detentor da tecnologia deve apresentar procedimentos de execução e detalhes construtivos específicos;
- Do recebimento das paredes, devem ser estabelecidos critérios pelo detentor da tecnologia, como, por exemplo: tolerâncias geométricas, quantidade e abertura de fissuras e outros requisitos pertinentes.

6.1 Critérios específicos para o controle tecnológico do Concreto Leve

O controle tecnológico do Concreto Leve deve ser feito com a realização dos seguintes ensaios:

- a) Consistência, caracterizada pelo abatimento do tronco de cone (*slump test*) ou pelo espalhamento (*flow test*);
- b) Resistência à compressão na desenforma (f_{cj});
- c) Resistência característica à compressão (f_{ck}) aos 28 dias;
- d) Massa específica no estado fresco.

6.2 Critérios específicos para o controle tecnológico do CRFV

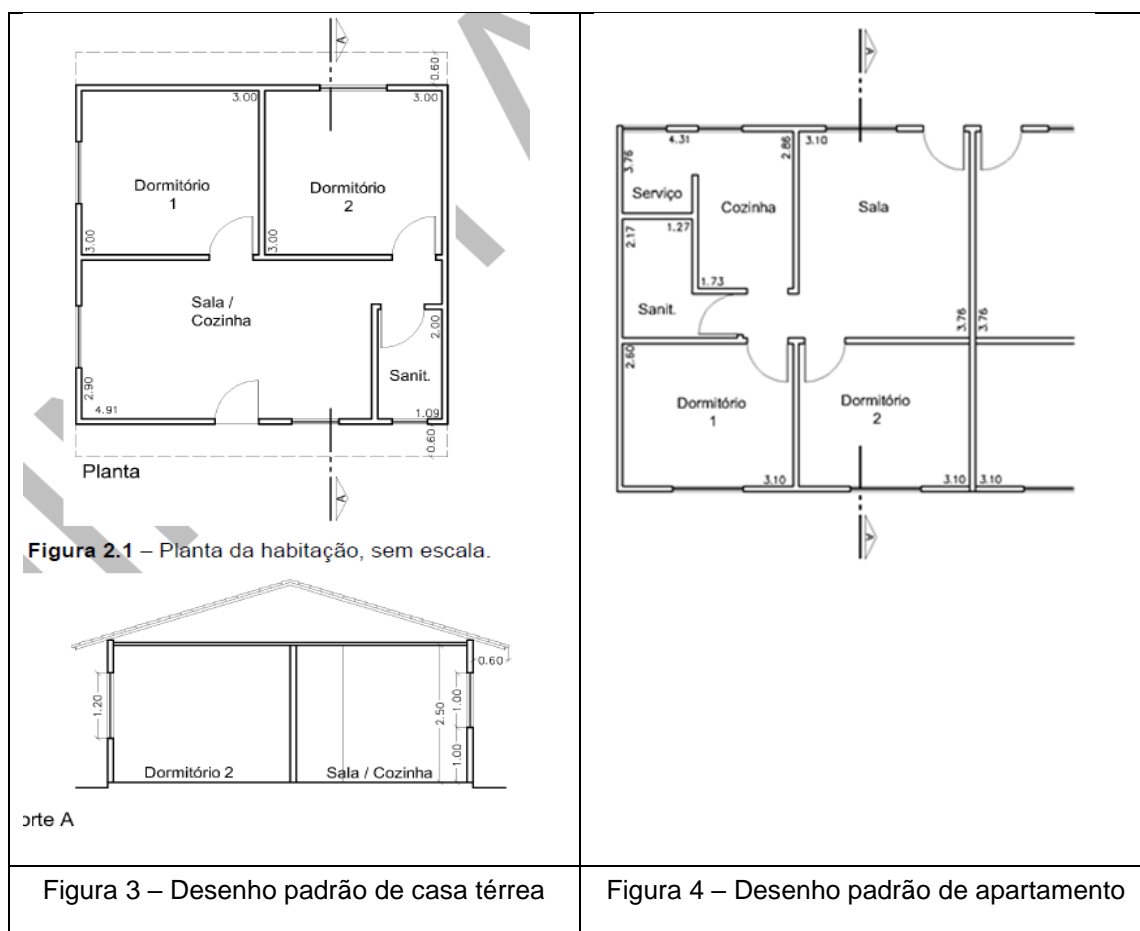
O fabricante ou fornecedor da fibra de vidro deve comprovar o atendimento dos requisitos da ABNT NBR 16941.

O controle tecnológico do CRFV deverá ser feito conforme as prescrições da ABNT NBR 16938.

ANEXO A – PROCEDIMENTO PARA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE TAXA DE CONDENSAÇÃO POR ANO

Descrevem-se a seguir as regras e premissas para realização de simulação computacional visando cálculo da taxa de condensação para o sistema de paredes objeto desta Diretriz, em um período de um ano.

- 1) Realizar duas simulações, considerando um mesmo projeto de arquitetura e dois tipos de paredes:
 - a. Parede objeto da Diretriz; e
 - b. Parede de alvenaria de blocos cerâmicos de 140 mm de espessura com revestimento de argamassa de 20 mm de espessura em ambas as faces (as características térmicas do bloco e argamassa constam da Tabela 6).
- 2) Utilizar projeto padrão, conforme Figura 3 e Figura 4 e descrição dos elementos construtivos a seguir:



- Cobertura composta por telhado em telhas cerâmicas, com espessura média de 2 cm, sobre laje horizontal de concreto tradicional, com espessura de 6 cm;
- Janelas dos dormitórios e sala com tipologia “de correr”, dimensões de 120 cm x 120 cm, compostas por caixilhos metálicos, com duas folhas de vidro liso incolor transparente com 3 mm de espessura;

- Janela da cozinha com tipologia “de correr”, dimensões de 100 cm x 80 cm, composta por caixilho metálico, com duas folhas de vidro liso incolor transparente com 3 mm de espessura;
 - Janela do banheiro, com tipologia “basculante”, dimensões de 60 cm x 60 cm, composta por caixilho metálico, com vidro liso incolor transparente com 3 mm de espessura;
 - Porta da sala em madeira, com tipologia “de abrir” e dimensões de 80 cm x 210 cm;
 - Portas dos dormitórios em madeira, com tipologia “de abrir” e dimensões 70 cm x 210 cm;
 - Porta do banheiro, em madeira, com tipologia “de abrir” e dimensões 60 cm x 210 cm;
 - Pé direito de 2,50 m.
- 3) Adotar as características térmicas dos blocos cerâmicos descritas na Tabela 6, os quais compõem a parede de alvenaria utilizada como referência;

Tabela 6 – Características térmicas dos materiais da parede de alvenaria

Material	ρ (kg/m³)	λ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
Cerâmica	1800	1,0	0,90
Argamassa de revestimento	1800	1,15	0,92

- 4) Não considerar efeito de sombreamento de edificações vizinhas;
- 5) Considerar a simulação/ análise nos cômodos de longa permanência: sala e dormitórios;
- 6) Realizar a simulação, considerando as janelas dos dormitórios e salas voltadas para a direção Sul. No caso de edifícios, considerar na simulação o apartamento da cobertura;
- 7) Considerar duas situações de ocupação:
- a. Apartamento desocupado, com ventilação somente por meio de frestas nas janelas. Considerar esquadrias com nível de desempenho “mínimo” (80m³/(h x m²) quanto à sua permeabilidade ao ar de acordo com a norma ABNT NBR 10821-2 (2017);
 - b. Apartamento ocupado, com ventilação que ocorre através da metade da área total das janelas, por um período de 08 horas.
- 8) Simular as portas internas dos recintos abertas;
- 9) Considerar na simulação os dados climáticos das cidades representativas das zonas bioclimáticas que serão avaliadas;
- 10) Considerar as condições de relevo e pressão do vento “standard” do Energy Plus;
- 11) Considerar as fontes de umidade e ocupação, conforme Tabela 7 a Tabela 10.

Tabela 7 – Fontes de calor e umidade nos recintos e regime de ocupação diário em todos os dias do ano

Recinto	Pessoas	Iluminação	Equipamentos de aquecimento de água	Regime de ocupação diário em todos os dias do ano (h)
Sala	Duas pessoas em atividade sedentária	Duas lâmpadas fluorescentes compactas	–	8 às 23
Dormitório 1	Duas pessoas dormindo	–	–	23 às 8
Dormitório 2	Duas pessoas dormindo	–	–	23 às 8
Cozinha	Duas pessoas em atividade sedentária	Uma lâmpada fluorescente compacta	Dois painéis com 25 cm de diâmetro com água em ebulição	13 às 14 19 às 20
Banheiro	Uma pessoa em atividade sedentária	Uma lâmpada fluorescente compacta	Um chuveiro em funcionamento com água aquecida	18 às 19
Corredor	–	–	–	–
Área de serviço	–	–	–	–

Tabela 8 – Calor produzido por pessoas em função da atividade metabólica

Fonte	Potência (W)	Fração radiante
Pessoa em atividade sedentária	130	0,5
Pessoa dormindo	80	0,5

Tabela 9 – Calor produzido por lâmpadas em função da potência

Tipo de lâmpada	Recinto	Quantidade	Potência unitária (W)	Fração radiante	Fração convectiva
Fluorescente compacta	Sala	2	15	0,72	0,12
	Cozinha	1			
	Banheiro	1			

Tabela 10 – Vapor d'água produzido por equipamentos de aquecimento de água (Fonte: Canada Mortgage and Housing Corporation, 1979)

Equipamento de aquecimento de água	Quantidade de vapor d'água liberado (g/h)
Painéis com água em ebulição	1.890 ^a
Chuveiro em funcionamento, com água aquecida (quatro banhos sequenciais de 15 minutos)	450

^aNota: valor referente a um metro quadrado de área da superfície superior da panela.