

**Self-Supporting Concrete Wall Structure Using Self-Compacting
Concrete with Structural Macrofibers**

Guimarães, I. D.¹; Segato, P. H. N. A.²

Graduandos, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

Ferreira, R. B.³

Professor M.Sc. Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

¹ iasmin.guimarães@yahoo.com; ² pedro.henrique.segato@hotmail.com; ³ ricferprof@gmail.com

RESUMO: O presente artigo busca apresentar um estudo de viabilidade técnica de empreendimentos em estrutura de parede de concreto autoportante utilizando concreto autoadensável (CAA) com macro fibras estruturais (CRFV). A análise baseou-se na constituição do traço de concreto autoadensável reforçado com macrofibras de vidro estruturais definido para um empreendimento específico, bem como, pela análise dos resultados de resistência à compressão do controle tecnológico da obra. Do presente estudo de caso, concluiu-se que o concreto empregado apresentou excelente desempenho quanto à trabalhabilidade, medida pelo espalhamento, atendendo plenamente os limites definidos na especificação técnica da obra. Com relação aos resultados de resistência à compressão, constatou-se o não atendimento da resistência média de 12 horas em um dos quatro blocos residenciais analisados e, complementarmente, verificou-se um elevado percentual (46%) de não conformidades de resistência à compressão aos 28 dias de idade. Destaca-se que os pontos de melhoria apresentados são típicos de uma tecnologia inovadora que passa pela fase de inserção no mercado da construção civil. Os ajustes devem ser conduzidos de maneira a acelerar a curva de aprendizagem da nova tecnologia, permitindo-se, desta forma, o ganho de escala e a redução dos custos desejados.

Palavras-chaves: Concreto, autoadensável, fibra de vidro, parede, resistência.

ABSTRACT: This article to present a technical feasibility study of projects in a self-supporting concrete wall structure using self-compacting concrete (SCC) with macro structural fibers (FGRC). The analysis was based on the constitution of the self-compacting concrete line reinforced with structural glass fibers defined for a specific project, as well as the analysis of the results of compressive strength of the technological control of the work. From the present case study, it was concluded that the concrete used presented excellent performance in terms of workability, measured by spreading, fully meeting the limits defined in the technical specification of the work. Regarding the results of compressive strength, it was found that the average strength of 12 hours was not met in one of the four residential blocks analyzed and, in addition, there was a high percentage (46%) of nonconformities of compressive strength to the 28 days old. It is noteworthy that the points of improvement presented are typical of an innovative technology that goes through the phase of insertion in the civil construction market. Adjustments must be carried out in order to accelerate the learning curve of the new technology, thus allowing for gains in scale and reduction of desired costs.

Keywords: Concrete, self-compacting, fiberglass, wall, strength.

Área de Concentração: 01 – Construção Civil, 02 – Estruturas

1. INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais mais utilizados na construção civil em todo o mundo e, quando convencional, possui diversas vantagens como fácil manuseio, mão de obra acessível, baixo custo e bom desempenho técnico. Este material está presente em várias etapas construtivas como na estrutura de

concreto armado, no sistema de parede em concreto, nas lajes maciças e pré-moldadas, entre outros.

No Brasil o sistema construtivo dominante é o concreto armado, em que se tem a união do aço com o concreto armado, é “um milagre divino, já que o aço teria todas as condições para ser corroído pelo concreto” (HELENE, 2017). Em termos técnicos o concreto mantém quimicamente a passividade da armadura, justificando o bom desempenho desse sistema.

Contudo, com o cenário pós-pandêmico atual, os preços globais tiveram um aumento significativo e com o aço não foi diferente. Dados de 2020 evidenciavam um aumento superior a 45% em um período de apenas 12 meses (FVG, 2020), conforme pode ser observado na Figura 1.

A procura por sistemas alternativos de reforço da matriz de concreto é fomentada pelo mercado da construção civil que busca sistemas mais econômicos, tal como o Concreto Reforçado estruturalmente com Fibra (CRF) que pode ser de aço, polimérica ou de vidro (ABNT NBR 16938:2021).

Figura 1 – Aumento dos custos dos materiais utilizados na construção civil em 2020

Pressão de custos nas obras

Fio de cobre, aço e cimento puxam altas acumuladas - em %



Fonte: Sinduscon-SP com base no CUB (custo unitário básico) calculado pela FGV (Fundação Getúlio Vargas), 2020.

O uso de CRF em território nacional não é recente, predominando o concreto reforçado com fibras de aço, com reduzido controle tecnológico e sem estudo de dosagem específico da fibra devido à falta de normalização (FIGUEIREDO, 2011). Entretanto, espera-se uma mudança de cenário com a publicação recente das normas ABNT NBR 16935: 2021, ABNT NBR 16938: 2021, ABNT NBR 16939: 2021 e ABNT NBR 16940: 2021, que definem um controle tecnológico mais rigoroso e visam a popularização do uso das fibras dosadas especificamente para reforço estrutural do concreto.

Frente o cenário pandêmico e a limitação de mão de obra, o sistema estrutural de paredes de concreto autoportante tornou-se muito popular devido ao seu curto prazo executivo e a diminuição de etapas construtivas, garantindo maior produtividade. Após a publicação das normas pautadas no concreto reforçado com fibras, questiona-se a viabilidade de aplicá-lo a esse sistema construtivo de forma estrutural, descartando a malha que sustenta a parede e a

possibilidade de economia devido ao alto preço atual do aço.

Neste contexto, o objetivo desta pesquisa é apresentar um acompanhamento técnico de um empreendimento inovador construído em estrutura de parede de concreto autoportante utilizando concreto autoadensável (CAA) reforçado com macro fibras de vidro estruturais. Inicialmente, definiu-se por meio de estudo de dosagem, em parceria com o fornecedor de concreto do empreendimento, um traço de concreto autoadensável reforçado com macrofibras de vidro estruturais que atendesse todos os requisitos técnicos de projeto e normalização técnica brasileira pertinente. Posteriormente, apresenta-se uma análise dos resultados dos ensaios de laboratório realizados pelo laboratório de controle tecnológico da obra, concluindo sobre a eficácia do sistema no atendimento aos requisitos de projeto definidos e normalização técnica brasileira pertinente;

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Durante a pandemia, um dos mercados que conseguiu se manter em alta foi o imobiliário. De acordo com a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2021), as vendas nacionais de novas unidades residenciais cresceram 9,8% em 2020.

Ao considerar a crescente aceleração do mercado, a construção civil busca atendê-lo e a grande dificuldade dos empresários neste momento é a falta de materiais e os elevados preços. Além disso, presencia-se a precariedade crescente da mão de obra disponível, sendo cada vez mais difícil manter uma equipe consolidada durante toda a obra. (CBIC, 2021).

As grandes construtoras buscam soluções que deem mais agilidade aos processos construtivos e, frente a alta dos preços globais, encontrar meios economicamente mais viáveis de se construir e alimentar esse mercado. É apresentada a grande variação dos preços dos materiais na Figura 5, referente ao período de 2020. Observa-se que houve grande variação nos valores dos materiais listados, principalmente do aço, tubo de ferro e vidro durante o bimestre.

Propondo uma alternativa aos sistemas já vistos comumente, que apresente economias às construtoras e com o intuito de esclarecer o uso do CRFV, o presente trabalho analisa o desempenho da obra do estudo de caso, utilizando esse novo material, pioneiro em território nacional.

As principais aplicações das fibras atualmente são em pisos industriais, concretos projetados e peças pré-fabricadas, em que as macrofibras poliméricas são utilizadas majoritariamente para pavimentos. Os pisos

industriais, também conhecidos como pisos polidos, são habitualmente reforçados com fibras de aço. A adição das fibras garante reforço de resistência à tração, retração, tenacidade e impactos (FIGUEIREDO, 2011).

2.1 Sistema de parede de concreto moldada no local

O sistema de parede de concreto moldada no local foi idealizado como uma alternativa ao sistema de alvenaria estrutural, chegando “a ser três vezes mais produtiva em comparação do método convencional e duas vezes mais veloz do que a alvenaria estrutural” (MONGE; WENDLER; MAYOR, 2018).

O sistema consiste na montagem de forma, geralmente metálica, que é preenchida com concreto autoadensável, garantindo sua fluidez, dispensando o uso de vibradores e preenchendo por completo o volume de parede (ABNT NBR 15823:2017). A montagem da forma inclui as instalações hidráulicas e elétricas que ficam embutidas na parede, além da malha ou tela soldada e espaçadores. É apresentado o método de execução na Figura 6 em que mostra as telas montadas juntamente às instalações elétricas e na Figura 7 observa-se um edifício de 4 pavimentos após ser desformado.

Na Figura 2 é apresentada a montagem completa das formas metálicas de uma casa, mostrando seu perfeito encaixe antes de uma concretagem. Observa-se que as instalações elétricas e hidráulicas são passadas antes da concretagem, de forma que toda a tubulação esteja dentro da parede. A Figura 3 identifica a desmontagem de formas plásticas após o tempo de cura do concreto.

Figura 2 – Instalações elétricas em telas de paredes de concreto



Fonte: Autoral.

Figura 3 – Paredes de concreto moldado “in loco”



Fonte: Autoral.

Atualmente poucas construtoras são conhecidas por executar esse método construtivo que é considerado uma solução sustentável, devido ao seu impacto positivo no canteiro de obras, diminuindo bastante custos com materiais e mão de obra especializada, comparado com os sistemas convencionais de concretagem com formas de madeira. Outro fator importante é a possibilidade da produção em alta escala

com uso do sistema de paredes de concreto, podendo atender a alta do mercado imobiliário e de extrema relevância ao cenário atual. (BORGES; MOTTA; PINTO, 2019).

Além da vantagem sustentável devido a baixa geração de resíduos, tem-se a vantagem da diminuição da equipe devido ao uso do CAA dispensar o uso de vibradores, maior velocidade de execução, maior garantia de cumprimento de prazos em comparação aos sistemas convencionais, maior controle de qualidade visto que todos os processos são industrializados, além de menor custo quando executada em larga escala. É de suma importância salientar que o reuso das fôrmas depende das medidas de projetos ou da repetição do mesmo projeto, quando a modulação dos painéis e fôrmas é compatível, pode-se descartar o uso de peças específicas e diminuir os custos.

A observação de canteiros de obras mais limpos e a agilidade na montagem das formas, que consequentemente reduzem o tempo de produção de unidades residenciais, foram fatores determinantes para que empreendimento à base de concreto se tornassem maioria entre os produtos da construtora. (LIMA E COSTA, 2018).

Entretanto, seu planejamento de execução e gestão de suprimentos devem ser bem compatibilizados, por se tratar de um sistema de alto grau de industrialização, caso alguma etapa produtiva seja executada erroneamente, eventuais patologias podem surgir em escalas e o tratamento geralmente custa mais do que a correta execução do sistema. (MONGE; WENDLER; MAYOR, 2018).

Para garantir a qualidade do CAA que preencherá as paredes do sistema, deve ser feito um controle tecnológico mais rigoroso se comparado ao do concreto convencional, devido a sua necessidade de autoadensabilidade. As principais características do CAA são responsáveis pelo seu bom desempenho, sendo elas resistência à segregação, capacidade de passar por obstáculos e de preenchimento. Caso não se garanta as três características, parte das paredes concretadas pode ficar sem o volume total necessário de concreto e até mesmo expor a armadura.

Um fator importante é que para obter bons resultados, deve-se ter uma série de projetos compatibilizados, como projetos de fôrmas, de escoramentos, detalhes embutidos ou vazados que devem ser validados pelo projetista estrutural, garantindo que nenhuma abertura, por exemplo, interfira na resistência da parede.

As principais normas desse sistema são: NBR 16055:2012 Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações, NBR 15873:2010 Coordenação modular para as edificações, NBR 5739:2007 Concreto – Ensaio de compressão de

corpos de prova cilíndricos, NBR 15823:2017 Concreto autoadensável–Parte 2: Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento – Método do cone de Abrams e NBR NM 67:1998 Concreto: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.

2.2 Concreto Autoadensável

Definido como um “concreto capaz de fluir, autoadensar pelo seu peso próprio, preencher a fôrma e passar por embutidos, enquanto mantém sua homogeneidade” (PAIVA, 2018), durante todas as etapas (ABNT NBR 15823-1:2017).

O Concreto Autoadensável, tem uma aplicabilidade importante devido à dispensa de vibradores (GOMES, 2002), o que possibilita o aumento da produtividade e a redução de ruídos no canteiro, melhorando o ambiente de trabalho (CAVALCANTI, 2006). Além disso, o CAA é considerado ecologicamente correto, pois utiliza de resíduos industriais como adições minerais. (SANTOS, CASTRO, GONÇALVES, 2018).

A composição do CAA se difere do convencional pela maior quantidade de agregados finos em relação aos agregados graúdos, relação de água/finos baixa, uso de adição mineral quimicamente ativa, tal como sílica ou fíler, ademais o uso de aditivos químicos superplastificantes e modificadores de viscosidade, que são indispensáveis em sua produção. Tais diferenças garantem sua alta resistência à segregação e deformabilidade (CAVALCANTI, 2006).

Para avaliação de desempenho do CAA são aplicados ensaios determinados pelas normas ABNT NBR 15823 de 2017, das partes 1 a 6, sendo os seguintes ensaios: espalhamento (slump flow), tempo de escoamento (T500), índice de estabilidade visual, viscosidade (funil V) e habilidade passante (anel J, caixa L e caixa U).

As principais propriedades do CAA são capacidade de preenchimento, capacidade de passar por espaços estreitos e resistência à segregação (KRAUS, 2006). Dentre eles apresenta-se abaixo os mais utilizados e qual propriedade definem:

Espalhamento e T500: o ensaio de espalhamento “*slump flow test*” juntamente com a medida do T500, determina a fluidez e a velocidade de escoamento do CAA quando não há obstáculos, como apresentado na Figura 4. Ambos são realizados com o cone de Abrams, como demonstra a Figura 5, e para medida do T500 utiliza-se um cronômetro para definir o tempo desde o início do movimento do tronco de cone até todo o concreto atingir a marca de 500 mm de diâmetro (ABNT NBR 15823-2:2017).

Figura 4 – Medida do espalhamento do CAA



Fonte: Autoral.

Figura 5 – Cone de Abrams preenchido com CAA



Fonte: Autoral.

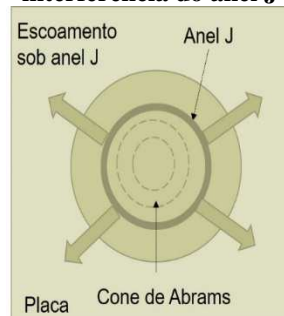
Anel J: determinado pela parte 3 da norma ABNT NBR 15823:2017, o ensaio determina a habilidade passante do CAA em fluxo livre, representado na Figura 6. Ele consiste em um anel que possui em sua base diversas barras de ferro fixadas, o intuito das barras é similar a armadura pela qual o concreto passará, como mostra a Figura 7.

Figura 6 – CAA passando pelo anel J



Fonte: Filho, 2014.

Figura 7 – Ensaio de espalhamento com interferência do anel J



Fonte: Alcantara, 2020.

Caixa L: determina a habilidade passante em obstáculos do CAA “em fluxo confinado do concreto autoadensável” (ABNT NBR 15823-4:2017) representado nas Figuras 8 e 9, utilizando uma caixa em forma de L com barras verticais e horizontais com o intuito de impedir a passagem do concreto, permitindo ainda analisar a sua deformabilidade e segregação. (KRAUS, 2006).

Figura 8 – Caixa L



Fonte: Autoral.

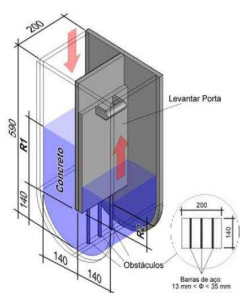
Figura 9 – Caixa L com concreto



Fonte: Autoral.

Caixa U: obtém a habilidade passante que se determina na Caixa L, porém utilizando uma caixa em formato de U, esquematizado na Figura 10. O conteúdo dentro da caixa deve ser analisado até que se estabilize e é interessante também marcar o tempo para que isso ocorra, o início de abertura é apresentado na Figura 11. O Anexo A da norma ABNT NBR 15823-4:2017, define que o método não deve ser utilizado em CAA que possua agregado leve ou fibras.

Figura 10 – Especificações da caixa U



Fonte: Oliveira, 2011.

Figura 11 – Concreto não estabilizado em caixa U



Fonte: Autoral.

Funil V: representado na Figura 12, é utilizado para determinar a viscosidade do CAA a partir da análise de sua passagem em um funil em formato de 'V' com o fundo retangular mais estreito, apresentando medidas de 6,5 cm por 7,5cm, modelo representado na Figura 13. (ABNT NBR 15823-5:2017).

Figura 12 - Funil V



Fonte: Solotest, 2017.

Figura 13 – Funil V com CAA



Fonte: Autoral.

2.3 Concreto reforçado com fibras

As fibras utilizadas no concreto podem ser divididas entre macro e microfibras, sendo a macrofibra a que desempenha papel importante como reforço no concreto. De acordo com a norma ABNT NBR 16938 de 2021, as fibras que servem como reforço estrutural podem ser determinadas como fibras de aço, vidro álcali-resistentes e poliméricas. A razão em se adicionar fibras ao concreto se dá pois:

A adição de fibras descontínuas e aleatoriamente distribuídas na matriz atua como reforço estrutural e possibilita o controle da abertura e da propagação de fissuras no concreto, alterando o seu comportamento mecânico após a ruptura da matriz, aumentando a capacidade de absorção de energia do concreto e diminuindo o nível de fragilidade do material. (ABNT NBR 16935:2021).

Assim, as fibras podem desempenhar um papel significativo no aumento da resistência residual. Figueiredo (2011) afirma que a adição das fibras permite que elas atuem tal como uma armadura dispersa pelo concreto e, o fato de serem adicionadas ao traço pouco tempo antes do lançamento do CRF, elimina o tempo que seria gasto posicionando as telas eletrosoldadas.

Essas vantagens, impulsionadas pelas normas recém-publicadas pautando o CRF, tornam o estudo de suas aplicações tão importante e sua trajetória no Brasil se deu por meio de diversas publicações:

O primeiro passo para o uso de CRF em paredes de concreto no Brasil ocorreu com a publicação de uma diretriz nacional (SINAT, 2017). Esta diretriz trouxe a possibilidade de utilização de CRFV em paredes de

concreto moldadas no local, cuja aplicação se limita a moradias unifamiliares e edifícios multifamiliares com até cinco pavimentos. De acordo com a diretriz, o projeto estrutural das paredes em CRFV, independentemente do número de pavimentos, deve ser baseado no Código Modelo da fib (2010) e na Prática IBRACON / ABECE “Projeto de Estruturas de Concreto Armado com Fibras” (2016), sem considerar valores inferiores aos previamente estabelecidos. (DANTAS; SOUZA; FIGUEIREDO; MONTE, 2021).

O CRFV pode ser mais bem definido como um material composto por uma matriz frágil, a pasta em si, reforçado com macrofibras de vidro álcali resistentes, distribuídas de forma descontínua e homogênea. Deve possuir massa específica seca entre 2.000 Kg/m³ e 2.800 Kg/m³. (ABNT NBR 8953). Na Figura 14 mostra-se o aspecto visual da fibra de vidro que é adicionada ao CRF e na Figura 15 o corpo de prova de CRFV rompido, identificando a macrofibra em sua composição.

Figura 14 – Fibra de vidro para concreto



Fonte: Silva, Cardoso, 2018

Figura 15 – Corpo de prova do CRFV



Fonte: Silva, Cardoso, 2018.

A caracterização e aceitação do CRFV se dá por meio dos ensaios de compressão de corpos de provas cilíndricos, de resistência à tração e abatimento pelo cone de Abrams. Observa-se que a aceitação do material depende de seu atendimento às normas NBR 16932:2021, NBR 16938:2021, NBR 16939:2021 e NBR 16940:2021.

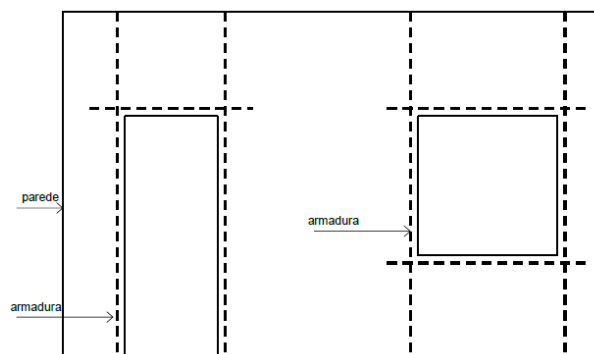
2.4 Paredes com CRF

Carnio (2018) já discutia acerca do uso do concreto reforçado com fibras de vidro (CRFV) em paredes autoportantes e cita a Diretriz SINAT 001 – Revisão 3 como base de seu artigo. Nessa publicação, relata-se a possível aplicação do CRFV apenas em casas térreas unifamiliares, sobrados e edificações de até cinco pavimentos. Outro ponto notório foi a especificação de formas metálicas que, na presente norma, não é limitado, ficando aberto o material da forma utilizada na moldagem.

Nota-se a necessidade de colocar vergalhões em vãos de janelas e portas, onde se tem maior tensão,

desempenhando o papel da verga e contraverga no método construtivo convencional, porém, nesse caso coloca-se armadura no sentido vertical e horizontal, como apresentado na Figura 16. Esta mesma recomendação é vista na publicação DATec 035-A do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT).

Figura 16 – Esquema do posicionamento das armaduras nos contornos dos vãos de portas e janelas.



Fonte: DATec 035-A, 2020.

Para garantir o desempenho do CRFV, o fornecedor das fibras deve comprovar a qualidade do produto, suas características e propriedades, como comprimento, seção transversal, fator de forma, resistência à tração, alongamento máximo, módulo de deformação, resistência à ação de álcalis etc. (CARNIO, 2018).

A aplicação do CRF em paredes, de acordo com Carnio (2018), necessitava de mais estudo e discussões, até mesmo para se obter a viabilidade de uso de outras fibras além das de vidro, e “trabalhar no sentido de que os parâmetros para projeto e controle tecnológico estejam mais alinhados”, reforçando a ausência normativa específica para esse serviço no ano de 2018, quando foi publicado o artigo citado (CARNIO, 2018). As presentes normas citadas acerca de CRF foram publicadas no ano de 2021, abrindo espaço para novas discussões, podendo até se tornar as paredes de CRF um sistema construtivo convencional (DANTAS; SOUZA; FIGUEIREDO; MONTE, 2021).

Dantas, Souza, Figueiredo e Monte (2021) afirmam ainda que o CRF pode ser considerado uma solução economicamente viável para diversas tecnologias construtivas e pode se constituir em uma alternativa para reduzir custos, reduzir o impacto ambiental causado pela indústria siderúrgica e melhorar a produtividade sem comprometer a segurança, o que é fundamental no Brasil, considerando a grande demanda reprimida que persiste no setor da construção civil.

Deste modo, nota-se que o uso do CRFV em paredes tem tido uma nova perspectiva no mercado e que sua aplicação se torna mais viável tecnicamente.

3. METODOLOGIA

O empreendimento objeto de estudo deste trabalho é o edifício Parque Donatello, executado em paredes autoportantes com CRFV, na cidade de Fortaleza. A coleta de dados foi feita a partir dos resultados do controle tecnológico executado pelo laboratório da obra para validar a viabilidade técnica e verificar o atendimento aos requisitos de projeto.

O empreendimento Parque Donatello é composto por 30 blocos, cada um com 4 pavimentos compostos por 4 apartamentos por andar, implantado em um terreno com área de 24.484,91 m². O apartamento tipo possui 40,82 m² de área privativa com dois quartos sendo a disposição dos ambientes modificada de acordo com o final do apartamento. A seguir apresentam-se algumas fotos, Figuras 17 a Figura 19, do período de execução e a planta de implantação do empreendimento, Figura 20.

Figura 17 – Área de lazer e edifício realizado com paredes de CRFV



Fonte: Autoral, 2022.

Figura 18 – Área de lazer e Bloco 8 em fase de pintura.



Fonte: Autoral, 2022.

Figura 19 – Área de lazer e Bloco 8 em fase de pintura.



Fonte: Autoral, 2022.

Figura 20 – Planta de implantação do empreendimento



Fonte: Empreendedor, 2022.

Apresenta-se na Figura 21 a vista superior dos apartamentos de finais 01 e 03. Os apartamentos de finais 02 e 04 apresentam a planta invertida, em que a cozinha está no local da sala de estar e o quarto de casal no local do quarto de solteiro.

Até o momento de redação deste artigo, haviam sido construídos 4 blocos com paredes em CRFV de 100 mm de espessura, sendo eles: bloco 07, 08, 13 e 14. Os dados utilizados são das concretagens das paredes destes blocos, que ocorreram nos meses de março e abril de 2022.

A obra possui um laboratório instalado em seu perímetro, principalmente pela necessidade de realização de ensaios de resistência à compressão 12 horas após a concretagem, resultado que subsidia a autorização para realizar-se a desforma da estrutura da parede de concreto.

Figura 21 - Vista superior



Fonte: Empreendedor, 2022.

De acordo com a DATec 035-A, deve-se realizar o controle tecnológico do CRFV, conduzido através de ensaios de verificação de estado fresco e endurecido. Antes de cada concretagem foram coletadas amostra para a realização de ensaios de resistência à compressão às 12 horas, 7 dias, 14 dias e 28 dias e 63 dias de idade, conforme definido em projeto. Os ensaios na idade de 63 dias só são realizados quando os corpos de prova de 28 dias não atingem a resistência de projeto, portanto, são utilizados como contraprova para análise de concreto não conforme. Quando a concretagem se dava em uma sexta-feira, os corpos de prova destinados aos ensaios de 12 horas eram rompidos na segunda-feira seguinte, assim, a idade de controle de 12 horas era substituída pela de 3 dias. Em ambas as situações, 12 horas ou 3 dias, a resistência mínima a ser atingida para a autorização da desforma era de 3 MPa.

A empresa fornecedora de aditivos para os concretos da obra conduziu estudo de dosagem específico para o CRFV e apresentou duas formulações de concreto com uso de aditivos e adições de sua fabricação.

O sistema de paredes de concreto com fibras de vidro utilizado no estudo de caso é definido pela DATec 035-A: Este sistema é composto por paredes estruturais maciças de concreto autoadensável, com macrofibras de vidro com massa específica, aproximada, de 2.400 kg/m³ e resistência característica à compressão (fck) de 25 MPa, moldadas no local, com espessura de 100 mm.

Além da adição de macrofibras de vidro, é especificada a adição de microfibras de polipropileno ao concreto com intuito de evitar ou reduzir a ocorrência de fissuras de retração do concreto, que são lançadas na betoneira logo após a dosagem com o aditivo superplastificante.

As fôrmas utilizadas foram de alumínio e o processo se iniciava pela sua montagem nas paredes, locação das barras de ferro de reforço ao redor das aberturas (destinadas a evitar o surgimento de fissuras diagonais nos cantos das aberturas de portas e janelas, principalmente), funcionando como vergas e contravergas e, por fim, a concretagem das paredes utilizando bomba lança.

O esperado desse sistema é que a forma possa ser removida após 14 horas da concretagem, aproximadamente, permitindo a produção cíclica com periodicidade diária e a concretagem monolítica de paredes e lajes em um só procedimento de execução.

Assim, no dia seguinte à concretagem as paredes eram desenformadas e o ciclo se repete no pavimento superior. Ressalva-se que as lajes são executadas com concreto armado e a ligação entre paredes e outros elementos é feita por meio de barras de ferro ou telas, que são especificadas em projeto.

As estruturas elétricas e hidráulicas são fixadas às formas antes da concretagem, por meio de parafusos e com uso de espaçadores para garantir total cobertura nos pontos necessários, tais como eletrodutos e tubulações.

O controle de qualidade das etapas de concretagem é realizado imediatamente após a desenforma das paredes. São também realizadas auditorias físicas da qualidade presenciais a cada 6 meses durante o período de obra que subsidiam a equipe técnica da obra para complementar o estudo desse novo material.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o Relatório Técnico RT 08/21, foram avaliados dois traços cujos componentes foram: cimento, areia, brita 12,5 mm, água, aditivo estabilizante Silicon Estabil 25, aditivo superplastificante Silicon AD 6040, microfibra de polipropileno e macrofibra de vidro.

A diferença entre os traços foi o consumo de cimento, sendo 350 kg/m³ para o primeiro traço e 320 kg/m³ para o segundo, complementado com 10 kg/m³ de sílica ativa.

Neste sentido o relatório conclui que o traço 1 teve melhor desempenho nos ensaios executados no concreto em estado fresco, pois o traço 2 não atingiu o espalhamento mínimo de 600 mm. No entanto, a resistência à compressão na idade de 12 horas dos traços foi 2,7 MPa para o traço 1 e de 3,1 MPa para o traço 2, sendo o valor mínimo especificado de 3 MPa.

Desta forma, do estudo de dosagem conclui-se que com uma leve redução da relação água/cimento do traço 1, o concreto deveria atingir a resistência mínima em

12 horas e apresentar melhor desempenho que o traço 2 (CHERUTTI, 2021). Portanto, o traço utilizado nas paredes de CRFV das concretagens do Parque Donatello foi o traço 1, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Traço Utilizado

Material	Quantidade (kg/m³)
Cimento	350
Areia	769
Brita 12,5 mm	890
Água	210
Aditivo Silicon AD 6040	2,52
Microfibras de polipropileno	0,3
Macrofibras de Vidro	0,6
Característica ou Propriedade	Resultado
Relação a/c	0,60
Teor de argamassa [K] (%)	58,5
Abatimento Inicial na usina (mm)	95 a 150
Abatimento na chegada à obra (mm)	50
Espalhamento SF2 (mm)	660 a 750
Temperatura ambiente (°C)	25

Fonte: Cherutti, 2021.

De acordo com os dados de controle tecnológico fornecidos pelo laboratório da obra, foi possível realizar uma análise do concreto lançado nas paredes. Para melhor visualização, os resultados foram divididos entre os blocos concretados. Em cada dia de concretagem é realizado paredes e lajes de um pavimento específico.

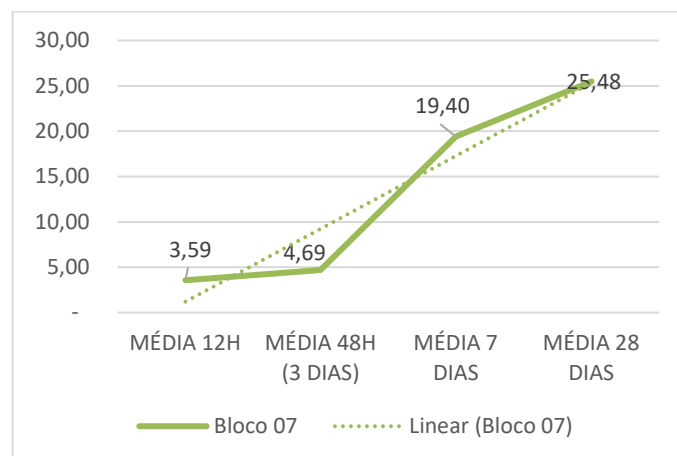
Salienta-se que as idades de controle do concreto são de 12 horas o valor mínimo para o ensaio de compressão é de 3 MPa e de 28 dias com resistência mínima de 25 MPa, conforme definido em projeto.

Os resultados analisados, conforme dados fornecidos pelo laboratório, referem-se a 92 betonadas e 552 m³ de concreto estrutural. Os resultados foram agrupados por pavimento e bloco, apresentando o volume de concreto por pavimento, a média do ensaio de espalhamento em milímetros e a média da resistência obtida nos ensaios de resistência à compressão às 12h (ou 3 dias no caso de concretagens que ocorreram na sexta-feira), aos 7 dias e aos 28 dias de idade.

No Bloco 7 foram concretados 3 dos quatro pavimentos, totalizando um volume de 1236 m³. Observa-se no Gráfico 1 as médias dos ensaios de ruptura do concreto após 12 horas da concretagem do

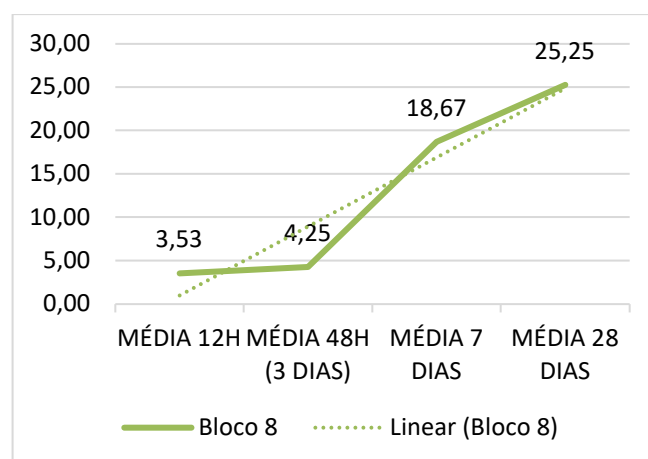
Bloco 7, obtendo uma média de 3,59 MPa atendendo assim o valor mínimo previsto na especificação técnica do empreendimento de 3 MPa, já a média dos resultados aos 28 dias apresentou um resultado acima do mínimo previsto no projeto de 25 MPa chegando ao valor de 25,48 MPa.

Gráfico 1 – Resultados médios de resistência à compressão ao longo do tempo. Bloco 7.



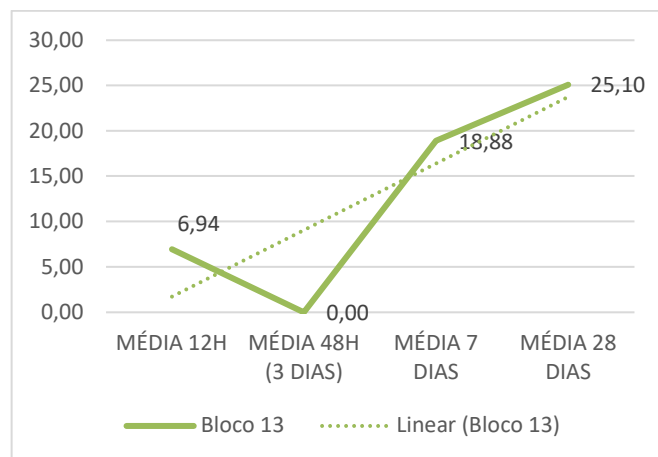
Os resultados dos ensaios de compressão do bloco 8 ficaram com médias de 3,53 MPa às 12 horas e 25,25 MPa aos 28 dias de idade, ficando assim dentro dos resultados padrões exigidos pela especificação e pelo projeto, conforme Gráfico 2.

Gráfico 2 – Resultados médios de resistência à compressão ao longo do tempo. Bloco 8.



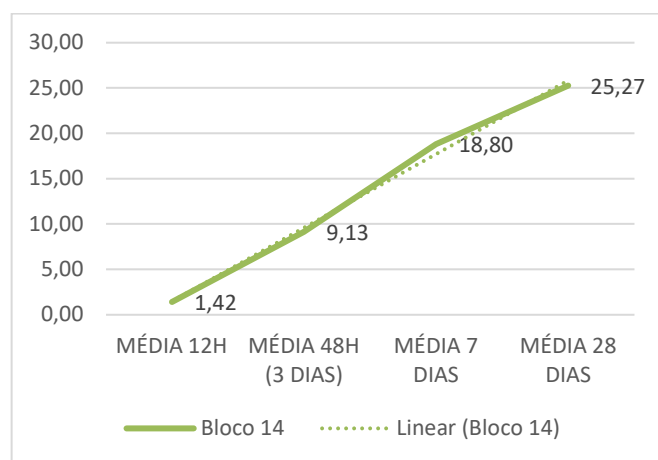
Os resultados do Bloco 13 estão apresentados no Gráfico 3, obtendo médias de 6,94 MPa após 12 horas de concretagem da peça, maior resultado dos 4 blocos analisados e 25,1 MPa aos 28 dias comprovando seu atendimento ao projeto e a especificação vigentes.

Gráfico 3 – Resultados médios de resistência à compressão ao longo do tempo. Bloco 13.



Os resultados do Bloco 14 apresentados no Gráfico 4 tiveram valores após 12 horas de concretagem de 1,42 MPa não alcançando o valor mínimo exigido. A média dos resultados com 28 dias é de 25,27 MPa, superando o valor mínimo de 25 MPa exigido pelo projeto.

Gráfico 4 – Resultados médios de resistência à compressão ao longo do tempo. Bloco 14.

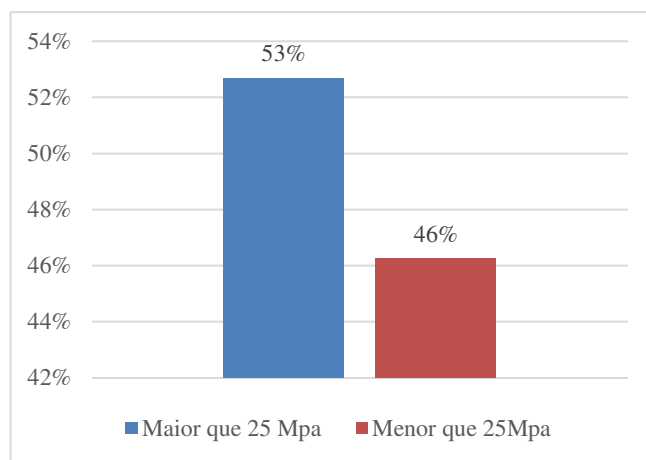


Quando a resistência de 12 horas não era atingida, um novo ensaio era realizado utilizando-se os corpos de prova moldados para a idade de 63 dias (reserva) com 16 horas, a fim de subsidiar a decisão de autorização da desforma da estrutura.

Ao analisar-se os resultados individuais de 28 dias de idade de todas as 92 betonadas, conforme Gráfico 5, observa-se um percentual de 46% de betonadas que não atingiram a resistência de projeto, portanto, apresentaram comportamento não conforme. Este percentual é muito elevado, necessitando de uma grande quantidade de ensaios de contraprova aos

63 dias de idade e demonstrando claramente que o traço adotado necessita de melhorias.

Gráfico 5 – Resultados individuais de resistência à compressão na idade de controle de 28 dias.



O menor valor de resistência à compressão aos 28 dias apresentado foi de 22,93 MPa, referente ao 2º pavimento do Bloco 13. Este valor, próximo ao fck de projeto, não indica que a estrutura apresenta questionamentos quanto à sua segurança estrutural.

O ensaio de espalhamento deve ser no mínimo 660 mm para concreto autoadensável classe SF2, especificado para o empreendimento. A média apresentada de todas as betonadas foi de 72,22 mm e a menor média apresentada foi referente ao 4º pavimento do Bloco 08 com 71,71 mm. Em todas as situações analisadas atendeu-se plenamente os valores definidos na especificação técnica do empreendimento.

5. CONCLUSÕES

Ao final deste trabalho, considerando exclusivamente a amostra analisada e de acordo com as condicionantes impostas especificamente pelo empreendimento em análise, foi possível concluir-se que:

Os ensaios realizados pelo controle tecnológico da obra, em relação à concretagem das paredes dos quatro blocos analisados, apresentaram resultados aceitáveis em relação ao ensaio de espalhamento, não apresentando nenhum ensaio com resultados abaixo de 660 mm e nenhum acima de 750 mm, atendendo aos valores definidos na especificação técnica do empreendimento.

Quanto aos resultados dos ensaios de resistência à compressão analisados, observa-se que o Bloco 14 apresentou um valor médio de resistência com 12 horas abaixo do especificado, por outro lado, para os demais blocos (Bloco 7, Bloco 8 e Bloco 13) os valores médios de resistência foram superiores ao valor especificado de 3 MPa. Desta forma, entende-se que houve um problema localizado quando da execução do Bloco 14, devendo-se conduzir uma análise de causa, visto que os anteriores tiveram desempenho adequado.

Com relação aos resultados individuais de 28 dias de idade de todas as 92 betonadas, observou-se um percentual de 46% de betonadas que não atingiram a resistência de projeto, portanto, apresentaram comportamento não conforme. As resistências não conformes identificadas apresentaram valores próximos ao f_{ck} de projeto, mínimo de 22,93 MPa, não indicando que a estrutura apresente questionamentos quanto a sua segurança estrutural.

Deve-se destacar que os pontos de melhoria apresentados são típicos de uma tecnologia inovadora que passa pela fase de inserção no mercado da construção civil. Os ajustes devem ser conduzidos de maneira a acelerar a curva de aprendizagem da nova tecnologia, permitindo-se, desta forma, o ganho de escala e a redução dos custos desejados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

7. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16055: **Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações — Requisitos e procedimentos**. Rio de Janeiro, 2012.
8. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16935: **Projeto de estruturas de concreto reforçado com fibras — Procedimento**. Rio de Janeiro, 2021.
9. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16938: **Concreto reforçado com fibras - Controle da qualidade — Procedimento**. Rio de Janeiro, 2021.
10. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16939: **Determinação das resistências à fissuração e residuais à tração por duplo puncionamento - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2021.

11. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16940: **Determinação das resistências à tração na flexão (limite de proporcionalidade e resistências residuais) - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2021.
12. BAUER, E.; MOTA, N.M.B.; KRAUS, E.; PEREIRA, C.H.A.F. **Consistência Das Argamassas De Revestimento E Sua Relação Com A Demanda De Água E As Partículas Finas**. E-Mat – Revista de Ciência e Tecnologia de Materiais de Construção Civil, v. 3, n. 2, p. 91-102. Novembro, 2006.
13. BORGES, A. P; MOTTA, L; PINITO, E. **Estudo Das Propriedades De Concretos Com Adição De Fibras Vegetais E De Polipropileno Para Uso Em Paredes Estruturais**. Rio de Janeiro: 2019.
14. CAVALCANTI, D. J. H. **Contribuição ao Estudo de Propriedades do Concreto Autoadensável Visando sua Aplicação em Elementos Estruturais**. Maceió: Universidade Federal de Alagoas, 2006.
15. CHERUTTI, Eduardo. **Estudo De Dosagem Com Sílica Ativa E Aditivos**. Marília: Estudo de dosagem, 2021.
16. DANTAS, J; SOUZA, D; FIGUEIREDO, A; MONTE, R. **Sistemas Parede de Concreto Moldado no Local Com Concreto Com Fibras**. 3º Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos – TECSIC 2021.
17. DATec Nº 035-A: **Paredes Moldadas no Local de Concreto Reforçado com Fibra de Vidro – CFRV**. Sistema Nacional de Avaliações Técnicas-SINAT. Brasília: 2020.
18. FERREIRA, R; FARIAS, L; CASTRO, A; GOMIDES, M; INÁCIO, J. **Estudo Experimental de Concreto Autoadensável**. Furnas.
19. FIGUEREDO, A. D. **Concreto Reforçado Com Fibras**. São Paulo: Escola politécnica da Universidade de São Paulo, 2011.
20. GOMES, P.C.C. **Optimization and Characterization of High-Strength Self-Compacting Concrete**. Barcelona: 2002.
21. GOMES, V. **O cenário da construção civil para 2022**. São Paulo: Maior alcance do mercado editorial de Construção e Engenharia, 2021.

-
22. HELENE, P. **De suposto inimigo, concreto vira melhor amigo do aço**. Curitiba: UFPR, 2017.
 23. LIMA, J.R.P; COSTA, C.P. Três Sistemas Construtivos Em Empreendimentos Residencial Econômico. **Concreto & construções – Sistemas construtivos em paredes de concreto, alvenaria estrutural e pré-fabricados de concreto**. 2018.
 24. LUCA, A. **Com alta no preço, aço nacional já está mais caro que importado**. São Paulo: 2021.
 25. MONGE, R; WENDLER, A; MAYOR, A. V. **Manual de execução Paredes de Concreto**. AECweb, 2017.
 26. PAIVA, C.T. **Análise Cienciométrica sobre Concreto Autoadensável**. Anápolis: 2018.
 27. SANTOS, R; CASTRO, A; GONÇALVES, K. **Produção De Concreto Autoadensável Incorporado Com Resíduo Da Indústria De Cerâmica Vermelha**. Rio de Janeiro: 2018.
 28. SOARES, R. Diefra. **Quais São Os Impactos Do Controle Tecnológico Aplicado Em Obras**. Belo Horizonte: 2021.
 29. VIEIRA, Mariana. **Construir pode ficar mais limpo e rápido**. Redação Jornal Coletivo, 17/05/2011. Disponível em: <http://coletivo.maiscomunidade.com/conteudo/2011-05-17/imoveis/97278/CONSTRUIR+PODE+FICAR+MAIS+LIMPO+E+RAPIDO.pnh.tml>.
 30. FILHO.P. **Ensaio anel J**. Juazeiro do Norte, 2014. Disponível em: <http://www.paulofilhoengenharia.com.br/index.php/2014-07-16-19-47-21/laboratorio-em-concreto/88-slides-laboratorio/165-concreto-auto-adensavel-anel-j>
 31. ALCANTARA. M. Ars aedificada. **Algumas contingências desde o laboratório até à obra**. Rio de Janeiro:2020.