

Estudo comparativo entre métodos de moldagem de corpos de prova cilíndricos de concreto na região de Ponte Nova.

Lucas Carvalho O. Castro e Fabricio de Paula Ribeiro

RESUMO

Num setor competitivo como o da construção civil, onde a demanda por produtos é alta, como no caso das indústrias fornecedoras de concreto pré-misturado, é comum surgirem métodos que visam facilitar ou reduzir os custos dos processos usuais, desde que atendam às exigências técnicas da norma brasileira. Assim, esta pesquisa tem como objetivo analisar o método convencional de moldagem de corpos de prova de concreto, utilizado no controle tecnológico das empresas fornecedoras de concreto usinado, e compará-lo a um método alternativo, conhecido como moldagem remota, para verificar suas influências nas propriedades físicas e mecânicas do concreto durante o transporte ao laboratório, ainda em estado fresco. O experimento consistiu na moldagem de seis corpos de prova de um mesmo lote de concreto, onde dois foram moldados pelo motorista operador do caminhão betoneira, dois pelo laboratorista da empresa e dois no laboratório, a partir da amostra de concreto fresco transportada. Os resultados dos ensaios de consistência realizados antes de cada moldagem mostraram um pequeno decréscimo no abatimento do concreto, indicando que os corpos de prova moldados após a concretagem (moldagem remota) puderam ser preparados sem dificuldades. As análises de variância das resistências à compressão entre os diferentes ambientes e moldadores revelaram que a influência dessas variáveis sobre a principal propriedade mecânica do concreto foi insignificante, sugerindo a viabilidade técnica da implementação do processo de moldagem remota de corpos de prova no controle interno das empresas fornecedoras de concreto, o que pode trazer benefícios econômicos.

Palavras-chave: Moldagem remota; Moldagem in loco; Controle tecnológico do concreto; Estudo comparativo.

1 INTRODUÇÃO

A Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) revisou de 1,3% para 2,3% a sua previsão de crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) do setor para 2024, índice acima das previsões para o PIB Brasil deste ano. Entre as razões estão a alta contínua das contratações, a expectativa positiva das empresas para compras e lançamentos, e a projeção positiva para o crescimento da economia brasileira no ano, além dos efeitos das adequações previstas para o programa Minha Casa Minha Vida (MCMV). O setor da construção civil, que é o principal gerador de empregos do país de acordo com uma pesquisa realizada pela Confederação Nacional da Indústria (CNI), que envolveu 483 indústrias da construção.

Com o aumento das obras, há também uma crescente demanda por concreto, que é uma peça fundamental para o sistema construtivo mais difundido no Brasil, conforme apontado por Santos e Oliveira (2008): o sistema do concreto armado. No entanto, embora haja uma oferta significativa desse produto no mercado, especialmente por meio das centrais dosadoras de concreto, os clientes do ramo da construção civil estão cada vez mais em busca de produtos de alta qualidade e eficiência, visando aumentar a produtividade e os lucros sobre os serviços prestados (REGATTIERI; MARANHÃO, 2011).

De acordo com Werner, Nierwinski e Bortolotto (2019), uma maneira de alcançar tais resultados em um mercado tão competitivo é através da redução dos custos de produção, sendo que, nesse contexto, o controle tecnológico do concreto desempenha um papel crucial ao certificar que o resultado desejado pelo cliente - especialmente em termos de resistência à compressão - seja alcançado. Além disso, a Norma Brasileira estabelece padrões mínimos para as propriedades de uma mistura de concreto nos estados fresco e endurecido.

As Normas Brasileiras relacionadas ao concreto preveem uma série de requisitos para a execução do concreto dosado em central, abrangendo desde a fase de armazenamento dos materiais até a etapa de aceitação e recebimento do concreto. Essas etapas incluem a coleta de amostras para a moldagem dos corpos de prova, porém, nem sempre essas amostras são adequadamente acondicionadas e transportadas dentro do canteiro de obras. Sendo assim, poderia um método de moldagem de corpos de prova alternativo ser viável tecnicamente se implementado no controle de qualidade interno de uma empresa fornecedora de concreto usinado?

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Comparação entre métodos visando avaliar se existem diferenças significativas nas propriedades físicas (como consistência e abatimento) e mecânicas (como resistência à compressão) do concreto produzido.

2.2 Objetivos específicos

- Analisar a influência de ambos métodos de moldagem nas propriedades mecânicas do concreto endurecido;
- Avaliar a viabilidade técnica ao implementar a moldagem remota de corpos de prova no controle de qualidade do concreto;
- Comparar, através da análise estatística das propriedades mecânicas do concreto, a influência dos operadores responsáveis pela amostra;
- Observar a influência do transporte entre ambientes nas propriedades físicas do concreto no estado fresco.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Pretende-se discutir sobre os avanços tecnológicos que moldaram o concreto ao longo do tempo, sua relação com o desenvolvimento da ciência dos materiais e a importância do mesmo para o crescimento econômico devido controle de qualidade.

3.1 Concreto de cimento Portland

De acordo com Pedroso (2009) e Lisboa, Alves e Melo (2017), o concreto está presente em uma variedade de estruturas, desde casas de alvenaria até grandes obras como edifícios, pontes, rodovias e usinas hidrelétricas e nucleares.

Um princípio importante do concreto é que ele é composto por duas fases distintas: a primeira ocorre nas horas iniciais após a hidratação e mistura do aglomerante aos agregados, durante as quais o concreto pode ser moldado e adensado em fôrmas de diferentes dimensões e geometrias. Na segunda fase, após a reação irreversível entre a água e o cimento, o concreto endurece em uma peça única, alcançando alta resistência mecânica e excelente desempenho estrutural (HELENE; ANDRADE, 2010).

Apesar de o concreto não ser tão resistente ou duro quanto o aço, há pelo menos três razões principais que tornam o concreto tão difundido globalmente, conforme Mehta e Monteiro (2014). Primeiramente, sua excelente resistência à água agressiva em comparação com o aço e a madeira, tornando-o amplamente utilizado em ambientes industriais e naturais. Em segundo lugar, sua capacidade plástica no estado fresco permite a moldagem de peças com diferentes geometrias e dimensões por meio de fôrmas, que podem ser removidas e reaproveitadas após o endurecimento da mistura. Por fim, a disponibilidade abundante e o baixo custo dos materiais constituintes também favorecem a utilização do concreto.

3.1.1 Definição e composição

A mistura de água e cimento Portland resulta em uma pasta que, para se tornar concreto, precisa ser combinada com agregados de diferentes dimensões, geralmente denominados agregados graúdos e miúdos. Além disso, o material pode conter aditivos, adições minerais, fibras, pigmentos e agregados especiais, que são cada vez mais comuns (NEVILLE; BROOKS, 2013).

O primeiro passo para produzir um concreto com características de desempenho específicas é selecionar cuidadosamente os materiais que irão compor a mistura. A dosagem do concreto é realizada de forma a encontrar a melhor combinação entre os materiais selecionados, garantindo que o produto final atenda aos requisitos estabelecidos. Essa prática é crucial, pois os efeitos das técnicas de dosagem do concreto têm impacto direto tanto no custo final da mistura quanto em suas propriedades.

3.1.2 Cimento Portland

Os cimentos, de forma ampla, são materiais com propriedades adesivas e coesivas que têm a capacidade de unir fragmentos minerais em uma única unidade compacta. No entanto, essa definição engloba qualquer tipo de material cimentício. O calcário é um dos principais componentes dos cimentos utilizados na construção e tem a capacidade de reagir e endurecer,

mesmo quando submerso em água, sendo conhecido como cimento ou aglomerante hidráulico (NEVILLE, 2016).

A produção do cimento Portland, amplamente comercializado em todo o mundo, ocorre pela mistura de um material cálcico com argila, composta principalmente por sílica e alumina. Esses materiais são moídos até se tornarem um pó fino, que é então misturado em proporções adequadas e aquecido em forno rotativo a aproximadamente 1400°C. Esse processo funde os materiais, formando clínquer, esferas de 3 a 25 mm compostas principalmente por óxido de cálcio, sílica e alumina. Após o resfriamento, o clínquer é moído novamente até atingir a finura adequada para o cimento Portland. Em seguida, uma certa quantidade de sulfato de cálcio (gipsita) é adicionada antes da moagem final (NEVILLE; BROOKS, 2013).

3.2 Agregados

A qualidade dos agregados utilizados em uma mistura de concreto, conforme Neville (2016), é crucial para determinar as propriedades finais do material. Dado que os agregados compõem aproximadamente 75% do volume do concreto, características indesejáveis desses materiais podem impactar significativamente a resistência, durabilidade e desempenho estrutural da mistura. Além disso, considerando que os agregados são mais econômicos que o cimento, é vantajoso economicamente maximizar a incorporação desses materiais na mistura.

Outro ponto positivo é que os agregados, ao serem adicionados ao concreto, contribuem com características físicas, térmicas e químicas que promovem uma maior durabilidade e estabilidade volumétrica em comparação com a pasta de cimento (NEVILLE; BROOKS, 2013). De acordo com Mascolo (2012), as propriedades do concreto no estado fresco também são influenciadas pelas características dos agregados, como textura, formato, tamanho e granulometria dos grãos, o que afeta a quantidade de pasta presente na mistura e, conseqüentemente, a proporção de argamassa na composição.

3.3 Aditivos e adições minerais

Quando incorporados corretamente, esses materiais podem melhorar significativamente as propriedades do concreto, proporcionando ganhos de plasticidade sem afetar a relação água-cimento e resultando em um aumento de resistência (MEHTA; MONTEIRO, 2014). No caso das adições minerais, de acordo com Dal Molin (2011), há uma série de vantagens ambientais e técnicas. Reduzir o volume de extração de matérias-primas na indústria da construção civil,

utilizar resíduos siderúrgicos sem destinação adequada ao meio ambiente na composição de cimentos e concretos, e preservar os recursos naturais limitados são algumas delas. Quanto aos aditivos químicos, eles desempenham um papel indispensável na composição do concreto contemporâneo, conferindo características únicas à mistura, que pode variar de consistência seca a autoadensável.

3.3.1 Classificações e tipos

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da NBR 8953 (ABNT, 2015), estabelece parâmetros para classificação dos concretos em função da sua consistência, resistência à compressão axial e massa específica. O valor da resistência à compressão característica do concreto (f_{ck}), que representa a probabilidade de 95% dos corpos de prova atingirem a resistência, é estabelecido conforme o engenheiro projetista e pode ser classificado em dois grupos, conforme Tabela 1:

Tabela 1 - Classificação do concreto segundo a classe de resistência à compressão

Grupo I	f_{ck} (MPa)	Grupo II	f_{ck} (MPa)
C20	20	C55	55
C25	25	C60	60
C30	30	C70	70
C35	35	C80	80
C40	40	C90	90
C45	45	C100	100
C50	50		

Fonte: NBR 8953 (ABNT, 2015, p. 2).

A NBR 8953 (ABNT, 2015) também permite classificar o concreto de acordo com sua classe de consistência, determinada pelo ensaio de abatimento pelo tronco de cone. Além disso, indica o tipo de uso mais comum para cada classe, como mostrado na Tabela 2:

Tabela 2 - Classificação do concreto segundo a classe de consistência

Classe	Abatimento (mm)	Aplicações típicas
S10	$10 \leq A < 50$	Concreto extrusado, vibroprensado ou centrifugado
S50	$50 \leq A < 100$	Alguns tipos de pavimentos e de elementos de fundações
S100	$100 \leq A < 160$	Elementos estruturais com lançamento convencional do concreto
S160	$160 \leq A < 220$	Elementos estruturais com lançamento bombeado do concreto
S220	≥ 220	Elementos estruturais esbeltos ou com alta densidade de armadura

Fonte: NBR 8953 (ABNT, 2015, p. 3).

A Norma também estabelece a classificação do concreto de acordo com sua massa específica, dividindo o material em três grupos, como mostrado na Tabela 3 (ABNT, 2015):

Tabela 3 - Classificação do concreto segundo a massa específica

Classificação	Massa Específica, ρ (kg/m ³)
Concreto leve (CL)	$\rho < 2000$
Concreto normal (C)	$2000 \leq \rho \leq 2800$
Concreto pesado ou denso (CD)	$\rho > 2800$

Fonte: NBR 8953 (ABNT, 2015, p. 2).

Além dos conceitos e divisões implícitos nas normas técnicas sobre o tema do concreto, a vasta bibliografia também aborda diversos tópicos além do concreto convencional. Autores como Helene e Andrade (2010) mencionam inovações tecnológicas nesse campo, como o concreto de

ultra-alta resistência, alto desempenho, translúcido, reforçado com fibra de vidro ou de aço, concreto autolimpante, e concreto de pós reativos, entre outros.

3.3.2 Qualidade e tecnologia do concreto

Neville (2016) destaca que quanto menor for a diferença entre as resistências mínima e média do concreto, menor será o consumo de cimento. O controle de qualidade, através da seleção de materiais e execução da mistura, desempenha um papel fundamental nessa redução do desvio padrão. Porém, no Brasil, a diversidade de métodos de dosagem dificulta uma análise mais aprofundada. Apesar disso, alguns aspectos comuns, como resistência mecânica, trabalhabilidade, durabilidade e deformabilidade, são considerados por todos.

3.4 Resistência à compressão

A resistência à compressão é uma propriedade fundamental do concreto, pois está diretamente relacionada à capacidade de suportar cargas aplicadas. Independentemente do método de dosagem utilizado a resistência de uma estrutura estará intrinsecamente ligada à resistência mecânica dos materiais de construção utilizados. A resistência à compressão do concreto é sensível a uma série de fatores externos, o que pode resultar em variações de qualidade.

Jacintho e Giongo (2005) explicam que a resistência à compressão é particularmente importante na engenharia de estruturas porque está relacionada a outras propriedades do concreto. Os vazios presentes no interior do concreto podem ser portas de entrada para agentes agressivos que comprometem sua durabilidade.

Apesar de diversos fatores influenciarem na resistência final do concreto, como destacam Recena (2017), Neville (2016) e Mehta e Monteiro (2014), as ferramentas utilizadas para elaboração das dosagens geralmente consideram principalmente a relação água/cimento e o grau de adensamento. Assim, é estabelecido que a resistência à compressão de uma mistura de concreto é inversamente proporcional à sua relação água/cimento.

3.4.1 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade do concreto é uma propriedade fundamental que se refere à facilidade com que a mistura pode ser adensada. No entanto, essa definição pode ser simplista, pois a trabalhabilidade pode variar dependendo das circunstâncias, como geometria das peças, tipos de fôrmas e equipamentos utilizados. É essencial que a consistência da mistura seja adequada para permitir o transporte, lançamento, adensamento e acabamento sem segregação dos materiais.

A trabalhabilidade do concreto no estado fresco pode afetar tanto o custo quanto a qualidade final do projeto. Se o lançamento e adensamento do concreto forem comprometidos devido a uma trabalhabilidade inadequada, isso pode resultar em perda de resistência, durabilidade e aparência, além de aumentar os custos de manipulação. Qualquer água adicional não prevista no projeto de dosagem pode prejudicar o desempenho da mistura.

3.4.2 Durabilidade

É indispensável que o ambiente onde a mesma estará inserida seja conhecido, tendo em vista a capacidade de impactar consideravelmente a vida útil do material que, em situações normais possui excelente durabilidade (LIMA, 2005). Para Neville (2016) um concreto considerado durável é aquele capaz de resistir aos processos de deterioração dos quais estará sujeito durante o tempo pelo qual foi especificado, desempenhando ainda suas funções previstas de resistência e utilização.

3.5 Eficiência e produtividade

O setor da construção desempenha um papel crucial na economia, gerando empregos e estimulando o crescimento econômico. No entanto, com a crescente concorrência e as demandas cada vez mais exigentes dos consumidores, é essencial para as empresas encontrar maneiras de gerenciar custos de forma eficaz e maximizar a produção sem comprometer a eficiência e a produtividade. (ANTUNES JUNIOR; KLIPPEL, 2006; OLIVEIRA; BRITO; BEZERRA, 2012).

3.5.1 Concreto misturado em obra

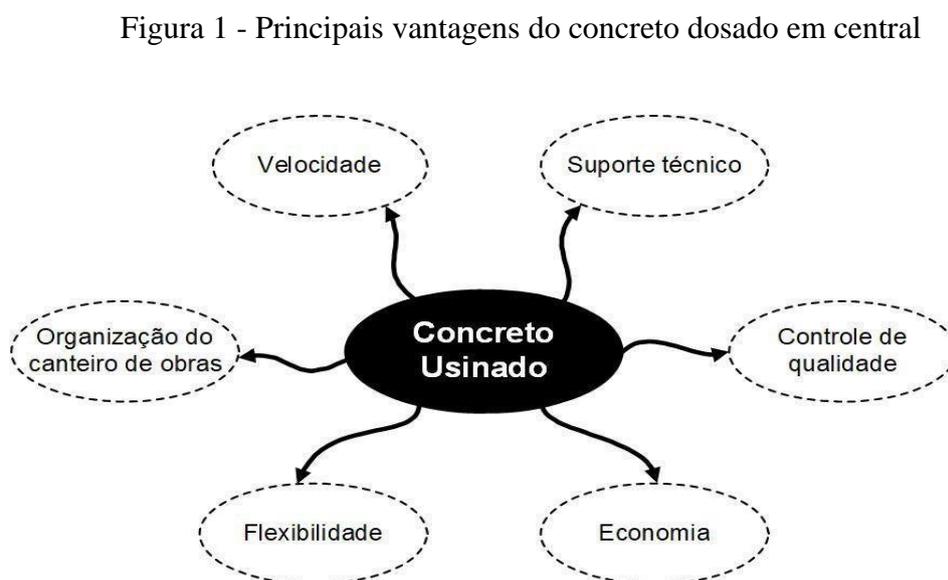
Apesar da produção de concreto no próprio canteiro de obras ser uma prática comum em situações em que as concreteiras não estão disponíveis ou não são viáveis devido a distâncias ou volumes pequenos de concreto necessários. Nesses casos, o concreto é geralmente produzido usando betoneiras de queda livre, que são mais adequadas para volumes menores e locais de difícil acesso (RECENA, 2017).

3.5.2 Centrais dosadoras de concreto

O concreto fornecido por centrais dosadoras, conhecido como concreto pré-misturado, oferece várias vantagens em comparação com métodos tradicionais. Neville e Brooks (2013) destacam o rigoroso controle de qualidade e a redução da variabilidade como pontos positivos, além da otimização do canteiro de obras, que não requer centrais de dosagem e estoque de materiais.

Essa prática também leva à diminuição do número de operários e encargos sociais nas obras, eliminação de desperdícios de materiais dentro do canteiro, aumento da agilidade e produtividade da equipe, e, conseqüentemente, redução do custo total da obra.

As principais vantagens de se adotar o concreto dosado em central (usinado) são ilustrados conforme a Figura 1:



Fonte: Regattieri e Maranhão (2011, p. 504).

3.6 Variáveis que influenciam na resistência do concreto

A NBR 12655 (ABNT, 2015) estabelece parâmetros para preparo, controle, recebimento e aceitação de concretos de cimento Portland, independentemente de serem misturados em obra, pré-misturados ou pré-moldados, incluindo critérios para avaliação da resistência à compressão. Esses requisitos são essenciais para garantir a qualidade e a adequação do concreto em suas diversas aplicações estruturais.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizado um programa experimental da pesquisa, que engloba as variáveis identificadas, juntamente com os procedimentos que afetam as propriedades finais dos concretos pré misturados (usinados) fornecidos por uma concreteira da região. O objetivo é garantir que os objetivos do trabalho sejam alcançados.

4.1 Planejamento experimental

Segundo Ribeiro e Caten (2011), o planejamento experimental, com base em princípios estatísticos, tem o objetivo de otimizar a concepção, execução e análise de um experimento. Isso implica seguir uma sequência organizada de procedimentos e testes para atender aos objetivos definidos pelo pesquisador.

4.2 Variáveis do experimento

No planejamento do experimento, foi essencial definir as variáveis envolvidas para uma análise precisa e compreensão adequada. Essas variáveis foram categorizadas em:

- Variáveis dependentes, também conhecidas como variáveis de resposta, que permitiram quantificar as características de qualidade do produto ou serviço em estudo;
- Variáveis independentes, também chamadas de variáveis explicativas, que têm o poder de influenciar e controlar as variáveis dependentes;
- Variáveis intervenientes, ou não controláveis, que têm o potencial de afetar tanto as variáveis dependentes quanto as independentes.

4.3 Locais de realização do experimento

O experimento foi realizado em dois locais distintos: nos canteiros de obras, onde ocorreram as moldagens in loco, e no laboratório da concreteira MBC de Ponte Nova, onde foi realizada a moldagem remota. Nos canteiros de obras, as amostras foram moldadas inicialmente, selecionadas de acordo com a disponibilidade da empresa e os traços de dosagem mais comuns. Posteriormente, as amostras frescas foram transportadas imediatamente para o laboratório para os ensaios. Essa distinção entre os locais permitiu a comparação entre os dois métodos de moldagem.

4.3.1 Ensaios executados e propriedades avaliadas

Os ensaios realizados e as propriedades avaliadas durante a execução do programa experimental seguiram rigorosamente as Normas Técnicas estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). No entanto, é importante destacar que, devido ao objetivo da pesquisa envolver procedimentos alternativos aos métodos já estabelecidos, os quais estão em fase de revisão pela comissão técnica, optou-se por realizar os ensaios conforme descrito ao longo do trabalho.

4.3.2 Procedimentos adotados pelas centrais de concreto

A norma NBR 7212 (ABNT, 2012) estipula os requisitos aplicáveis a empresas que se dedicam à produção de concreto usinado e oferecem serviços de concretagem, assim como nos casos em que o executor do empreendimento possui uma central de concreto no próprio canteiro de obras. Ela delinea os requisitos para a realização das misturas de concreto, abrangendo desde as fases de armazenamento dos materiais até os critérios finais para a aceitação ou rejeição do produto.

4.3.3 Consistência pelo abatimento do tronco de cone

Antes de iniciarem as moldagens dos corpos de prova de concreto foi realizada a aferição do abatimento do concreto através do tronco de cone “*slump test*”, conforme especificado pela NBR NM 67 (ABNT, 1998), em ambos os ambientes de moldagem, conforme especificado no programa experimental.

4.3.4 Moldagem e cura dos corpos de prova

Após a coleta da amostra durante o processo de descarga do caminhão betoneira, os corpos de prova foram moldados tanto na obra quanto no laboratório, seguindo as especificações estabelecidas na NBR 5738 (ABNT, 2015). Posteriormente à cura inicial e desmoldagem, todos os exemplares foram submetidos ao mesmo processo e às mesmas condições de cura.

4.3.5 Resistência à compressão

Entendendo a resistência à compressão como a variável principal do experimento, os exemplares das amostras de concreto coletadas foram compostos por dois corpos de prova, totalizando seis corpos de prova para cada mistura, com dois exemplares por lote de concreto. Aos 28 dias de idade, esses corpos de prova foram submetidos aos métodos de ensaio da resistência à compressão axial conforme as diretrizes estabelecidas pela NBR 5739 (ABNT, 2018).

4.3.6 Etapas de realização

Para iniciar a pesquisa experimental, foi essencial preparar as fôrmas cilíndricas de dimensões 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura, as quais foram utilizadas para moldar os exemplares de concreto. Antes da moldagem, aplicou-se óleo desmoldante nas fôrmas para facilitar a remoção dos corpos de prova. As obras foram selecionadas aleatoriamente, levando em consideração critérios como volume de concreto consumido, frequência de comercialização e capacidade de realizar os procedimentos de moldagem. Durante o transporte do concreto até a obra, registrou-se o tempo gasto e o momento exato da moldagem.

Figura 2 - Processo de moldagem in loco



Fonte: Autores (2024).

Durante o processo, foram observadas variáveis interdependentes, como temperatura e umidade relativa do ar, utilizando equipamentos adequados. A coleta da amostra de concreto foi realizada conforme os parâmetros estabelecidos pela NBR NM 33 (ABNT, 1998), respeitando o volume necessário para a moldagem dos corpos de prova.

Figura 3 - Moldes finalizados e identificados



Fonte: Autores (2024).

Após a coleta, a amostra foi homogeneizada para garantir uniformidade. O motorista do caminhão betoneira e o laboratorista moldaram exemplares de concreto no canteiro de obras.

Posteriormente, o restante da amostra foi transportado para o laboratório, onde também foram moldados exemplares. Cada exemplar foi composto por dois corpos de prova para minimizar a variabilidade dos resultados.

Após 24 horas de cura inicial, os exemplares foram transportados para o laboratório, onde foram desmoldados, identificados e submetidos ao processo de cura em câmara úmida. Durante o transporte, foram devidamente acomodados em caixas rígidas para minimizar vibrações e impactos.

Aos 28 dias de idade, os corpos de prova foram retirados da cura para preparação das bases e topos e encaminhados para os ensaios de compressão.

4.4 Análise e tratamento dos dados

Após o levantamento dos dados do programa experimental para as moldagens remota e *in loco*, bem como para os dados de abatimento do concreto no estado fresco, foram coletados ainda dados referentes aos moldadores que participaram do programa, a fim de se obter mais informações. Todos os resultados obtidos foram tabulados e tratados estatisticamente com o auxílio de planilhas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi abordada a análise e discussão dos resultados obtidos dos dois métodos de moldagem explorados durante o programa experimental delineado anteriormente. Inicialmente, examinaremos os resultados dos ensaios no estado fresco. Em seguida, foi apresentado os resultados da resistência à compressão, juntamente com as comparações entre as moldagens realizadas no campo (moldagem *in loco*) e no laboratório (moldagem remota).

5.1 Abatimento

A perda de consistência das amostras ensaiadas variou de 3% a 8% para a maioria dos lotes estudados.

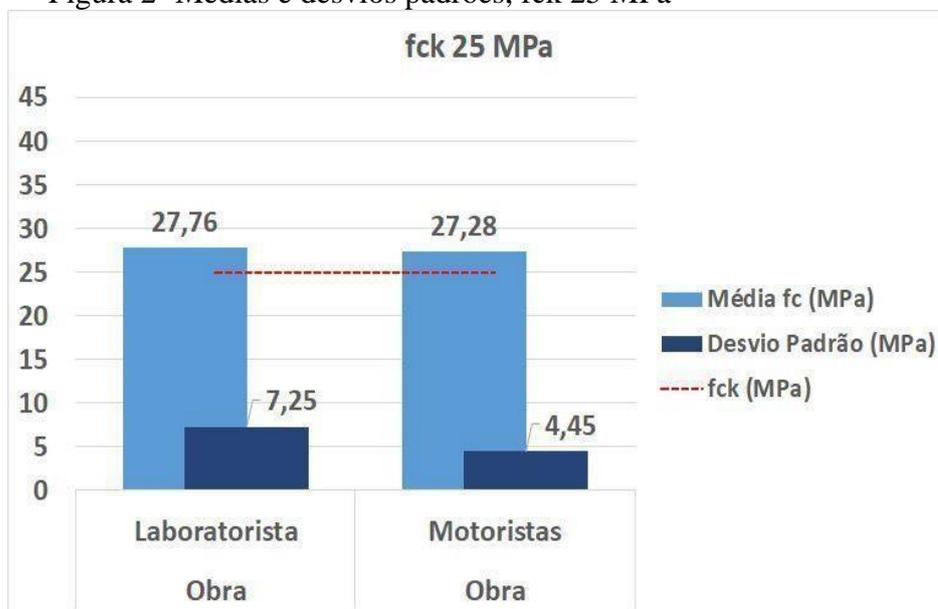
5.2 Resistência à compressão

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial dos exemplares de concreto são analisados de duas maneiras distintas. Primeiramente, são comparados os resultados dos dois exemplares moldados por moldadores diferentes e armazenados inicialmente no mesmo local (canteiro de obras). Em seguida, são comparados os resultados dos dois exemplares moldados pelo mesmo moldador, porém em dois ambientes diferentes (canteiro de obras e laboratório).

5.2.1 Moldagem *in loco*

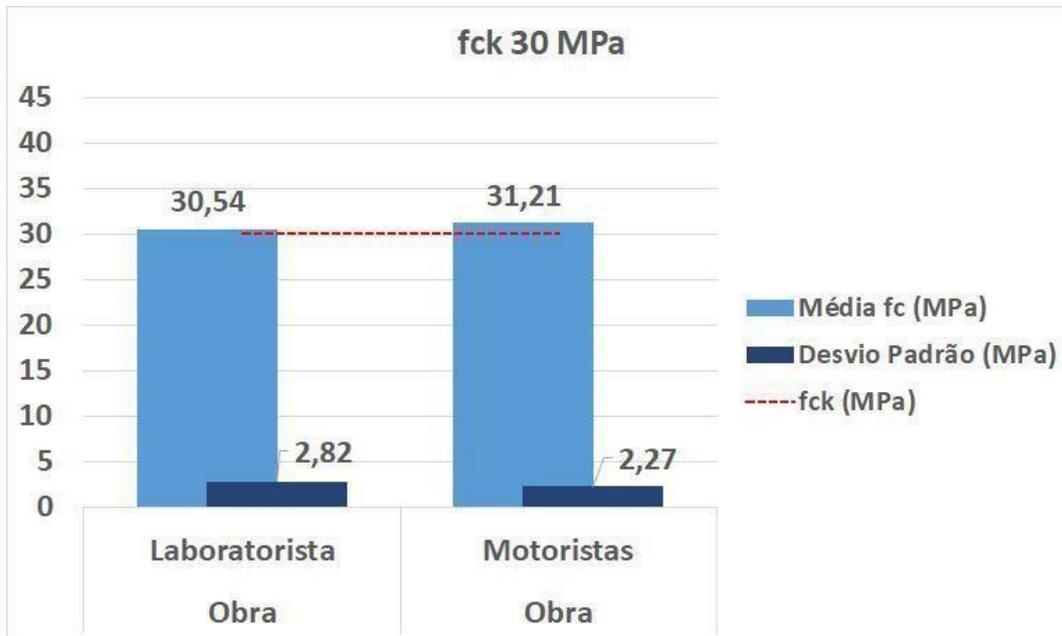
As Figuras 2 a 4 ilustram, para os exemplares moldados em obra, um comparativo entre as médias e os desvios padrões entre as moldagens feitas pelo laboratorista e os demais moldadores (motoristas operadores dos caminhões betoneira) do programa experimental, de acordo com as classes de resistência estudadas.

Figura 2- Médias e desvios padrões, fck 25 MPa



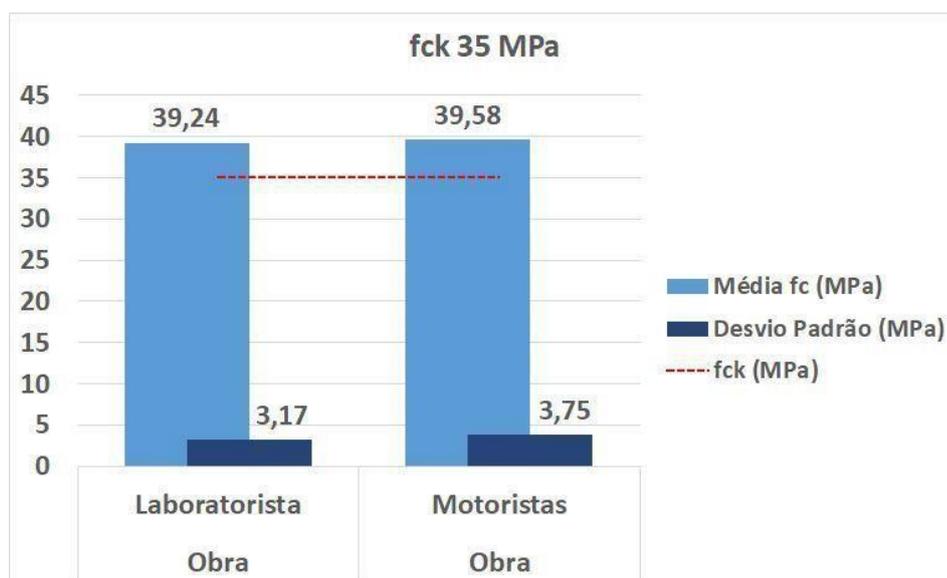
Fonte: Autores (2024).

Figura 3 - Médias e desvios padrões, fck 30 Mpa



Fonte: Autores (2024).

Figura 4 - Médias e desvios padrões, fck 35 MPa



Fonte: Autores (2024).

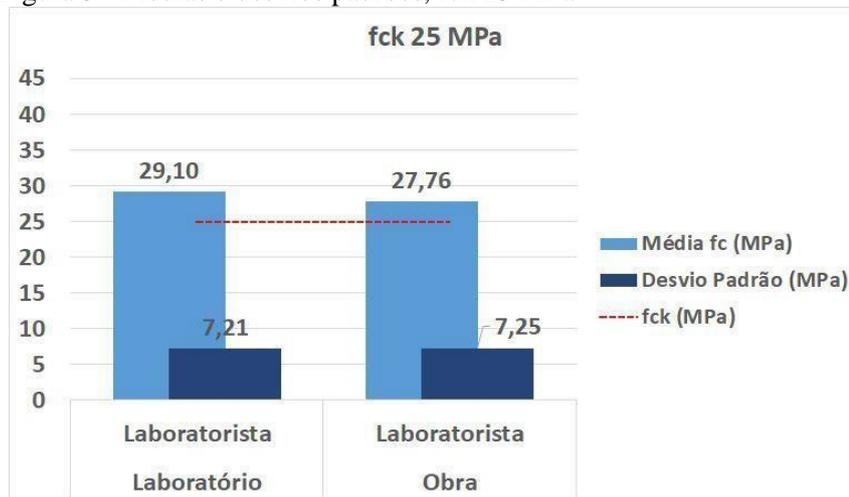
As médias para todas as comparações realizadas mostraram-se semelhantes tanto para a moldagem realizada pelo laboratorista quanto pelos demais moldadores. No entanto, o desvio padrão apresentou uma discrepância elevada entre as moldagens da classe de resistência C25.

5.2.2 Moldagem remota

De análise de variância realizada para esses exemplares revela que os efeitos das diferentes classes de resistência são significativos, conforme o esperado. No entanto, a variável ambiente não demonstrou significância, mesmo quando considerada em conjunto com cada classe de resistência.

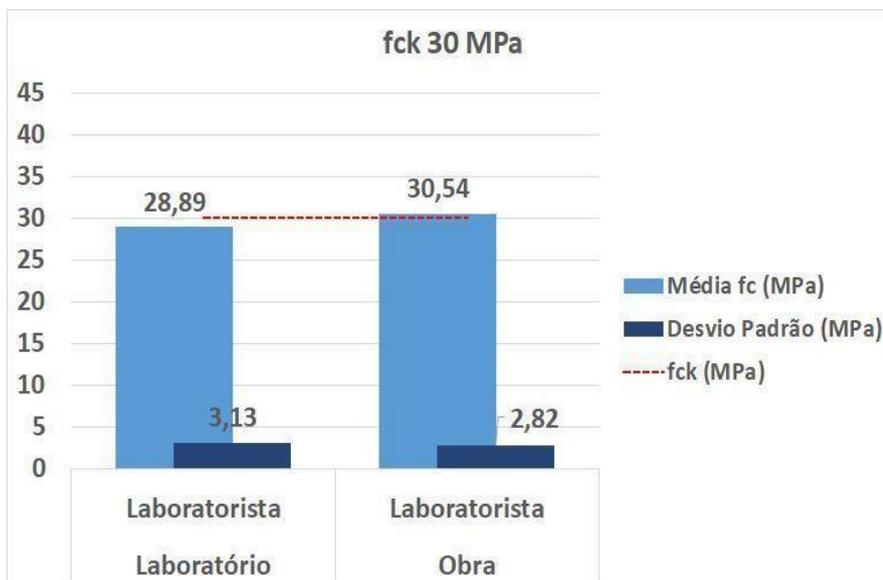
Por outro lado, ao considerar apenas o local de moldagem (obra e laboratório), observou-se um único nível de agrupamento, indicando ausência de diferença significativa entre as médias. Esses resultados estão em consonância com a análise de variância realizada.

Figura 5 - Médias e desvios padrões, fck 25 MPa



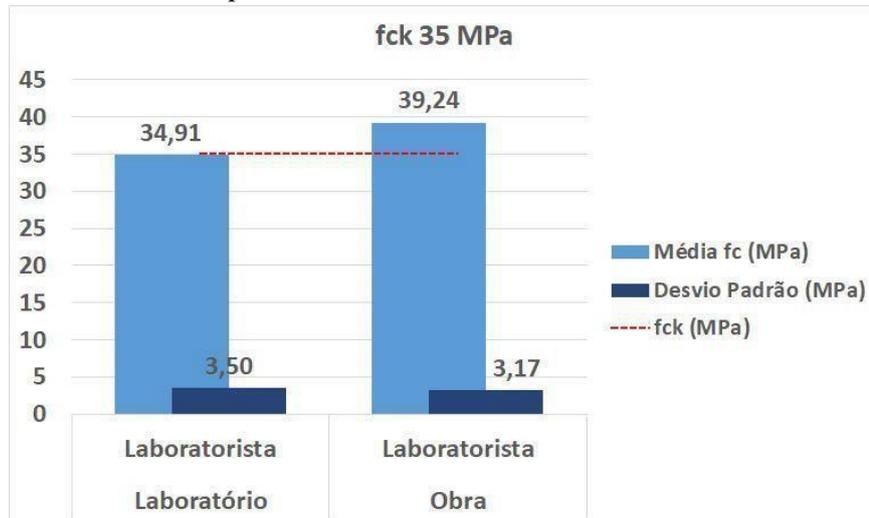
Fonte: Autores (2024).

Figura 6 - Médias e desvios padrões, fck 30 Mpa



Fonte: Autores (2024).

Figura 7 - Médias e desvios padrões, fck 35 MPa



Fonte: Autores (2024).

Na comparação entre os diferentes locais de moldagem utilizados no decorrer do programa experimental, o comportamento entre as médias e desvios padrão foi similar para as classes de resistência C30 e C35, apresentando queda para os valores referentes às moldagens realizadas em laboratório na ordem de -5,4 e -11,0% em relação às moldagens feitas no canteiro de obras. Já para a classe C25 o comportamento das médias foi inverso, apresentando crescimento da resistência à compressão para os exemplares moldados em laboratório no valor de 4,8%.

6 CONCLUSÃO

Com base nas análises dos resultados obtidos nesse estudo, que visou principalmente avaliar a variação na resistência à compressão de amostras de lotes de concreto moldadas em dois locais distintos e comparar a moldagem realizada pelo laboratorista da empresa com a feita pelos demais moldadores responsáveis pela operação do caminhão betoneira, além de verificar a consistência do concreto em seu estado fresco antes e após o transporte, as seguintes conclusões são apresentadas. No entanto, é relevante destacar que as considerações feitas neste capítulo estão relacionadas às variáveis específicas deste estudo, bem como à colaboração da empresa fornecedora de concreto da região de Ponte Nova MG.

Quanto às moldagens remotas, realizadas em dois ambientes diferentes, as resistências foram maiores, mas a análise de variância não encontrou efeito significativo do ambiente sobre os resultados de resistência à compressão. Portanto, os resultados sugerem que a moldagem remota dos corpos de prova não difere significativamente da moldagem em obra, conforme normatizado pela NBR 7212 (ABNT, 2012), representando uma prática viável tecnicamente para as empresas fornecedoras de concreto usinado.

Em relação aos resultados das moldagens realizadas por diferentes moldadores, observou-se que, enquanto os dados da empresa mostraram uma influência significativa do moldador sobre a resistência à compressão do concreto para todos os traços analisados, os dados do programa experimental indicaram influência significativa apenas para um dos traços.

Assim, considerando a confiabilidade dos dados obtidos com a moldagem remota, esta prática pode ser vantajosa para as empresas de concreto pré-fabricado, especialmente do ponto de vista econômico, ao economizar em logística, padronizar a moldagem e garantir a correta cura dos corpos de prova.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES JUNIOR, J. A. V.; KLIPPEL, M. Estratégia de produção: conceituação, critérios competitivos e categorias de decisão. In: III Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 3., 2006, Resende. **Anais...** Resende: SEGeT, 2006.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto — Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7212**: Execução de concreto dosado em central — Procedimento. Rio de Janeiro: 2012.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 33**: Concreto — Amostragem de concreto fresco. Rio de Janeiro: 1998.

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

DAL MOLIN, D. C. C. Adições Minerais. In: ISAIA, G. C. **Concreto**: ciência e tecnologia. São Paulo: IBRACON, 2011. Cap. 8. p. 261-311.

HELENE, P.; ANDRADE, T. Concreto de Cimento Portland. In: ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil** e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010. Cap. 29. p. 905-944.

JACINTHO, A. E. P. G. A.; GIONGO, J. S. Resistência Mecânica do Concreto. In: ISAIA, G. C. **Concreto**: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. Cap. 20. p. 605-632.

LIMA, M. G. Ação do Meio Ambiente sobre as Estruturas de Concreto. In: ISAIA, G.

C. **Concreto**: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. Cap. 24. p. 713-752.

LISBOA, E. S.; ALVES, E. S.; MELO, G. H. A. G. **Materiais de construção**: concreto e argamassa. 2. ed. Porto Alegre: SAGAH, 2017. Disponível em:

<<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/>>. Acesso em: 16 abr. 2020.

MASCOLO, R. **Concreto usinado**: análise da variação da resistência à compressão e de propriedades físicas ao longo da descarga do caminhão betoneira. 2012. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: microestrutura, propriedade e materiais. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

OLIVEIRA, C. M. G.; BRITO, A. K. A.; BEZERRA, I. R. M. Análise do planejamento e controle de operações: um estudo de caso em uma fábrica de casas pré moldadas. In: XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 32., 2012, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: ENEGEP, 2012.

RECENA, F. A. P. **Dosagem e Controle da Qualidade de Concretos Convencionais de Cimento Portland**. 4. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2017.

REGATTIERI, C. E. X.; MARANHÃO, F. L. Produção e Controle de Concreto Dosado em Central. In: ISAIA, G. C. **Concreto: ciência e tecnologia**. São Paulo: IBRACON, 2011. Cap. 14. p. 501-536.

RIBEIRO, J. L. D.; CATEN, C. S. T. **Projeto de Experimentos**. Série Monográfica de Qualidade. Porto Alegre: PPGE/UFGRS, 2011.

WERNER, L.; NIERWINSKI, H. P.; BORTOLOTTI, M. S. Controle tecnológico de concreto: um estudo de caso da capacidade do processo com dados não normais. **Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas**, Bauru, v. 15, n. 1, p.

231-251, 1 mar. 2019. Disponível em: <<https://revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/view/2114>>. Acesso em: 25 abr. 2024.