XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8500

Desempenho de concreto bombeável em obras verticais: efeitos do bombeamento na trabalhabilidade e resistência à compressão

Performance of pumpable concrete in vertical construction: effects of pumping on workability and compressive strength

Laura Antunes
Unochapecó | Chapecó | Brasil | laura.antunes@unochapeco.edu.br
Fabiano Garcia Oliveira
Unochapecó | Chapecó | Brasil | fabiano.oliveira@unochapeco.edu.br
Maurício Guerra
Unochapecó | Chapecó | Brasil | mguerra@unochapeco.edu.br
Thaisa Beloti Trombetta
Unochapecó | Chapecó | Brasil | thaisatrombetta@unochapeco.edu.br
Diogo Bevilaqua
Unochapecó | Chapecó | Brasil | diogobevi@unochapeco.edu.br
Marcelo Fabiano Costella
Unochapecó | Chapecó | Brasil | costella@unochapeco.edu.br

Resumo

O estudo avalia o desempenho do concreto bombeável em obras verticais, com foco nas alterações de trabalhabilidade durante o bombeamento e na comparação entre propriedades no estado fresco e endurecido. A metodologia envolveu ensaios de abatimento e resistência à compressão em duas edificações, com coletas na saída do caminhão e no ponto de lançamento, em alturas superiores a 34 m, considerando temperatura, umidade relativa do ar e diâmetro da tubulação como variáveis de influência. Os resultados indicaram perdas de slump entre 10% e 20%, associadas à altura, ao menor diâmetro das tubulações e a temperaturas mais elevadas, mais intensas em sistemas com maiores perdas de carga. Apesar das alterações reológicas, a resistência à compressão variou em média cerca de 5%, sem prejuízo ao desempenho mecânico. Conclui-se que o controle tecnológico apenas na saída do caminhão não representa adequadamente a condição do concreto no ponto de aplicação, evidenciando a necessidade de monitoramento ao longo do processo.

Palavras-chave: Concreto bombeável. Trabalhabilidade. Controle tecnológico. Obras verticais.

Abstract

The study evaluates the performance of pumpable concrete in vertical construction, focusing on changes in workability during pumping and the comparison between fresh and hardened properties. The methodology involved slump and compressive strength tests in two buildings, with sampling at the truck discharge and at the placement point, at heights above 34 m, considering temperature, relative humidity, and pipe diameter as influencing variables. The results indicated slump losses between 10% and 20%, associated with height, smaller pipe diameters, and higher temperatures, being more pronounced in systems with higher pressure losses. Despite the rheological changes, compressive strength showed an average variation of

approximately 5%, with no significant impact on mechanical performance. It is concluded that quality control performed only at the truck discharge does not adequately represent the concrete condition at the placement point, highlighting the need for monitoring throughout the process.

Keywords: Pumpable concrete. Workability. Quality control. Vertical construction.

INTRODUÇÃO

Com o avanço da urbanização e o aumento da demanda por edificações em centros urbanos, as construções verticais têm se consolidado como uma solução eficiente para o uso do solo e a densificação das cidades [1]. Esse cenário impõe novos desafios técnicos à construção civil, especialmente no que se refere à execução de estruturas em maiores alturas, exigindo soluções construtivas que garantam produtividade, qualidade e viabilidade operacional.

Nesse contexto, o concreto se mantém como o principal material estrutural utilizado na construção civil, em função de sua versatilidade, disponibilidade e desempenho mecânico [2]. Com a evolução dos processos construtivos e o aumento da complexidade das obras, surgem demandas por métodos de transporte e lançamento mais eficientes, capazes de preservar as propriedades do material desde sua produção até o ponto final de aplicação.

Dentre esses métodos, o bombeamento de concreto destaca-se como uma técnica amplamente empregada em obras verticais, permitindo o transporte contínuo do material em grandes alturas e distâncias [3]. No entanto, esse processo envolve condições operacionais complexas, como o aumento progressivo da pressão, variações geométricas da tubulação e influência das condições ambientais, que podem alterar significativamente as propriedades do concreto no estado fresco.

As características reológicas do concreto, especialmente a trabalhabilidade, são diretamente influenciadas por fatores como a altura de bombeamento, o diâmetro e a configuração da tubulação, além da temperatura ambiente e da umidade relativa do ar [2][4]. Durante o bombeamento, a interação entre o concreto e as paredes da tubulação pode resultar no consumo da camada lubrificante, aumento da viscosidade e perdas de abatimento, comprometendo a fluidez da mistura no ponto de lançamento [5][6]. Apesar dessas alterações, estudos indicam que o desempenho mecânico do concreto, avaliado pela resistência à compressão, tende a apresentar menor sensibilidade às condições de bombeamento [7].

Na prática, o controle tecnológico do concreto em obras é frequentemente realizado na saída do caminhão betoneira, desconsiderando possíveis modificações ao longo do transporte até o ponto de aplicação [3]. Essa limitação pode resultar em uma avaliação inadequada das condições reais do material empregado, especialmente em obras verticais com maiores exigências operacionais.

Diante desse cenário, este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho do concreto bombeável em obras verticais, analisando as alterações de trabalhabilidade decorrentes do bombeamento e comparando as propriedades do material nos estados fresco e endurecido. Busca-se, ainda, contribuir para a discussão sobre a necessidade de aprimoramento dos procedimentos de controle tecnológico em campo, especialmente em sistemas de bombeamento mais exigentes.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8500

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

CARACTERIZAÇÃO DAS OBRAS

Esse estudo é classificado como uma pesquisa de campo com abordagem experimental, sendo que os ensaios foram realizados em duas obras localizadas no Oeste de Santa Catarina, permitindo a avaliação do desempenho do concreto bombeável em distintas condições operacionais. As características principais de cada obra são:

- Obra A: edifício residencial de 24 pavimentos, com altura total de 70,81 m e sistema estrutural em concreto armado moldado *in loco*. O concreto foi bombeado por meio de uma tubulação com diâmetro interno de 5 polegadas (127 mm), utilizando bomba estacionária SP 2000. O concreto utilizado possuía agregado graúdo do tipo brita nº 1, o abatimento solicitado era entre 160 e 190 mm, e o traço utilizado possuía resistência característica à compressão (fck) de 35 MPa.
- Obra B: edifício residencial de 30 pavimentos, com altura total de 83,03 m e sistema estrutural em concreto armado moldado *in loco*. O concreto foi bombeado por meio de uma tubulação com diâmetro interno de 4 polegadas (101,6 mm), utilizando bomba estacionária SP 2000. O concreto utilizado possuía agregado graúdo do tipo brita nº 0, o abatimento solicitado era entre 160 e 190 mm, e o traço utilizado possuía resistência característica à compressão (fck) de 40 e 35 MPa.

As coletas foram realizadas em três níveis de pavimento em ambas as obras, conforme apresentado na Tabela 1. Na Obra A, foram analisados três caminhões nos pavimentos tipo 6 e 9 e dois no pavimento tipo 7, enquanto na Obra B foram avaliados dois caminhões em cada nível. As amostras, utilizadas na avaliação das propriedades do concreto nos estados fresco e endurecido, foram obtidas em dois pontos: (i) saída do caminhão betoneira, representando as propriedades iniciais; e (ii) ponto de lançamento, após o percurso pela tubulação, permitindo a análise do comportamento do material ao longo da altura das edificações.

Tabela 1: Locais de coleta das amostras de concreto

Obra A			Obra B		
Ensaio	Pavimento	Altura (m)	Ensaio	Pavimento	Altura (m)
A-E1	Tipo 6	34,72	B-E1	12 Pvto	34,74
A-E2	Tipo 7	37,88	B-E2	13 Pvto	37,80
A-E3	Tipo 9	44,17	B-E3	15 Pvto	43,92

Fonte: o autor.

CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

Durante as coletas, foram registradas as condições ambientais, incluindo temperatura e umidade relativa do ar, por meio de termômetro digital Incoterm (modelo 9791.16.2.00, precisão de ±1 ºC), considerando sua influência no comportamento reológico do concreto. A temperatura do concreto fresco também foi medida diretamente nas amostras. A consistência do concreto foi avaliada por meio do ensaio de abatimento do tronco de cone (*slump test*), realizado em ambos os pontos de coleta, conforme a NBR 16889 [8].

Adicionalmente, foi realizada a verificação visual da segregação do concreto no ponto de lançamento. Para isso, uma amostra do concreto fresco foi disposta sobre a base

metálica do equipamento de *slump* e espalhada com auxílio de régua de aço ou colher de pedreiro, formando uma camada com aproximadamente 5 cm de espessura. A análise visual teve como objetivo identificar indícios de segregação, tais como separação entre argamassa e agregados graúdos, exsudação ou concentração irregular de agregados.

CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

Para a avaliação do desempenho mecânico, foram moldados, em cada ponto de coleta, quatro corpos de prova cilíndricos com dimensões de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura. Os moldes foram previamente limpos e levemente lubrificados para facilitar a desforma, sendo o processo de moldagem realizado conforme a NBR 5738 [9].

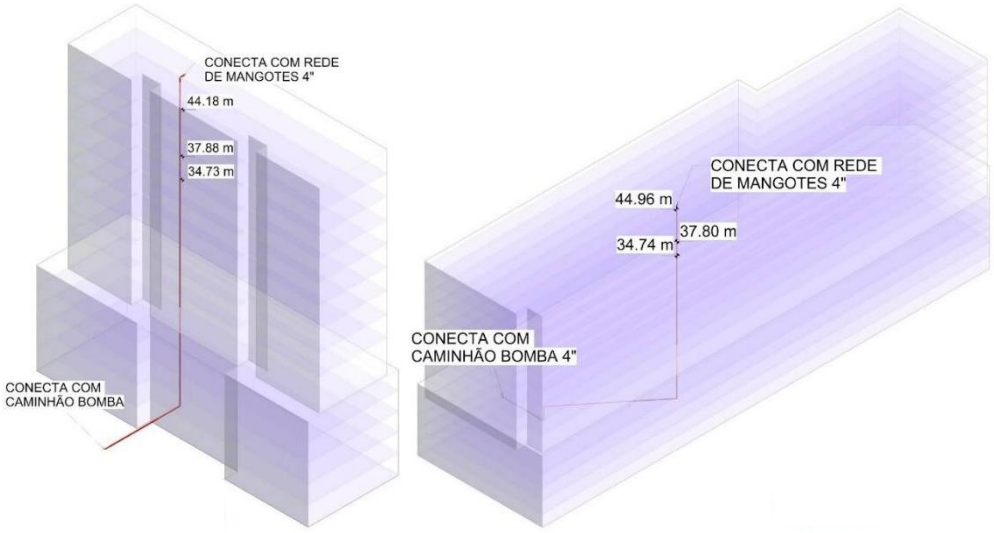
Após o preenchimento e adensamento, os corpos de prova foram identificados e armazenados em ambiente protegido contra vibrações, radiação solar direta e perda de umidade por um período de 48 horas. Em seguida, foram desmoldados e encaminhados à câmara úmida, mantida à temperatura de 28 ºC ± 2 ºC e umidade relativa de 98% ± 2%, até a realização dos ensaios de resistência à compressão axial aos 28 dias.

Os ensaios de resistência foram conduzidos conforme a NBR 5739 [10], com aplicação de carga contínua e taxa de carregamento de 0,45 ± 0,15 MPa/s, até a ruptura dos corpos de prova.

PARÂMETROS DA REDE DE BOMBEAMENTO

Para os ensaios de desempenho do concreto bombeado, foram utilizadas as redes de tubulação em aço carbono já instaladas nas obras analisadas. A padronização da rede até o ponto de inflexão entre os trechos horizontal e vertical, apresentada na Figura 1, teve como objetivo isolar as variáveis associadas à altura de bombeamento, permitindo uma análise mais precisa de sua influência no comportamento reológico e na resistência final do concreto.

Figura 1: Configuração das redes de bombeamento nas obras A (esquerda) e B (direita).



Fonte: o autor.

Antes do início de cada concretagem, foi realizada a lubrificação da linha de bombeamento por meio da aplicação de “nata” (mistura de cimento e água), procedimento adotado em ambas as obras com o objetivo de promover a formação

inicial da camada lubrificante, reduzir o atrito e minimizar o risco de bloqueios, conforme recomendado pela NBR 7212 [11].

RESULTADOS E DISCUSSÕES

CONCRETO NO ESTADO FRESCO

As coletas foram realizadas em diferentes dias, sob variações de temperatura e umidade relativa do ar, fatores que influenciam diretamente as propriedades reológicas do concreto. Todos os ensaios registraram temperaturas dentro da faixa recomendada para lançamento do concreto (5 ºC a 30 ºC) [11]. Os valores detalhados das condições ambientais e dos resultados obtidos podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2: Condições ambientais e propriedades do concreto nos pontos de coleta

			Ponto 1		Ponto 2	
Ensaio	Temp. ambiente (ºC)	Umidade do ar (%)	*Slump test* (mm)	Temp. do concreto (ºC)	*Slump test* (mm)	Temp. do concreto (ºC)
OBRA A – TIPO 6 (Caminhão 1)	16	97	200	20	180	20
OBRA A - TIPO 6 (Caminhão 2)	16	97	210	19	180	20
OBRA A - TIPO 6 (Caminhão 3)	16	96	180	20	165	21
OBRA A - TIPO 7 (Caminhão 1)	21	50	180	25	160	25
OBRA A - TIPO 7 (Caminhão 2)	21	50	190	24	190	24
OBRA A - TIPO 9 (Caminhão 1)	14-15	93-91	170	22	170	22
OBRA A - TIPO 9 (Caminhão 2)	16	84-78	180	22	180	22
OBRA A - TIPO 9 (Caminhão 3)	17	70	200	22	190	23
OBRA B - PVTO 12 (Caminhão 1)	18	92	200	28	190	29
OBRA B - PVTO 12 (Caminhão 2)	21	87	200	28	220	29
OBRA B - PVTO 13 (Caminhão 1)	17	96	200	26	190	26
OBRA B - PVTO 13 (Caminhão 2)	17-18	91	190	26	180	26
OBRA B - PVTO 15 (Caminhão 1)	21-22	71-60	200	27	160	28
OBRA B - PVTO 15 (Caminhão 2)	24-26	54-48	200	29	180	32

Fonte: o autor.

No ensaio realizado no pavimento 15 da Obra B, a combinação de temperaturas superiores a 20 ºC e baixa umidade relativa do ar favoreceu a aceleração da hidratação e o aumento da taxa de evaporação da água, o que pode explicar, em parte, a redução mais acentuada do *slump* observada no ponto de lançamento [4]. Em contrapartida, no ensaio do pavimento tipo 9 da Obra A, condições de temperatura mais baixa (máxima de 17 ºC) e elevada umidade relativa do ar (superior a 70%) contribuíram para reduzir o potencial de evaporação da água da mistura, resultando na manutenção da

trabalhabilidade em grande parte das amostras, com apenas uma ocorrência de redução de 10 mm. Esse comportamento pode estar associado ao leve aumento da temperatura do concreto (+1 ºC), potencializado pela pressão de bombeamento [3]. De modo geral, os resultados indicam que, mesmo em condições normativas adequadas, a combinação de temperaturas mais elevadas do concreto com baixa umidade relativa do ar reduz a margem de segurança reológica, favorecendo a perda de trabalhabilidade ao longo do bombeamento.

A elevação da temperatura do concreto observada no ensaio do pavimento 15 (Obra B), de 29 °C para 32 °C durante o bombeamento por tubulação de 4”, está associada ao aumento das perdas de carga, do atrito interno e da dissipação de energia ao longo da linha, especialmente em condições de temperatura elevada e maior demanda de pressão. Esse comportamento está alinhado com estudos que analisam a influência do diâmetro da tubulação e do esforço de bombeamento sobre o desempenho do concreto [5]. Nesse contexto, a seleção adequada de acessórios, como cotovelos, conexões articuladas e elementos de transição, torna-se fundamental, devendo ser compatível com as pressões atuantes, além de exigir procedimentos adequados de limpeza, manutenção e montagem para prevenir falhas durante o transporte [11].

A inspeção visual no ponto de lançamento (ponto 2) indicou que, embora o concreto mantivesse coesão, ocorreram alterações perceptíveis em sua aparência e consistência. Esse comportamento é consistente com o fenômeno de “filtração” da nata (água e cimento) pela camada lubrificante formada na interface entre o concreto e a tubulação [12][13]. Durante o bombeamento, essa camada, reologicamente mais fraca, é formada a partir da pasta cimentícia, sendo parcialmente consumida ao longo do percurso. Como consequência, o concreto que atinge o ponto de lançamento tende a apresentar menor teor de finos e água, resultando em aspecto mais seco e redução do abatimento, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2: Comparativo visual do concreto evidenciando a redução da trabalhabilidade e alterações reológicas associadas ao consumo da camada lubrificante na tubulação: na saída do caminhão, com maior fluidez (esquerda); e após o bombeamento do concreto (direita).



Fonte: o autor.

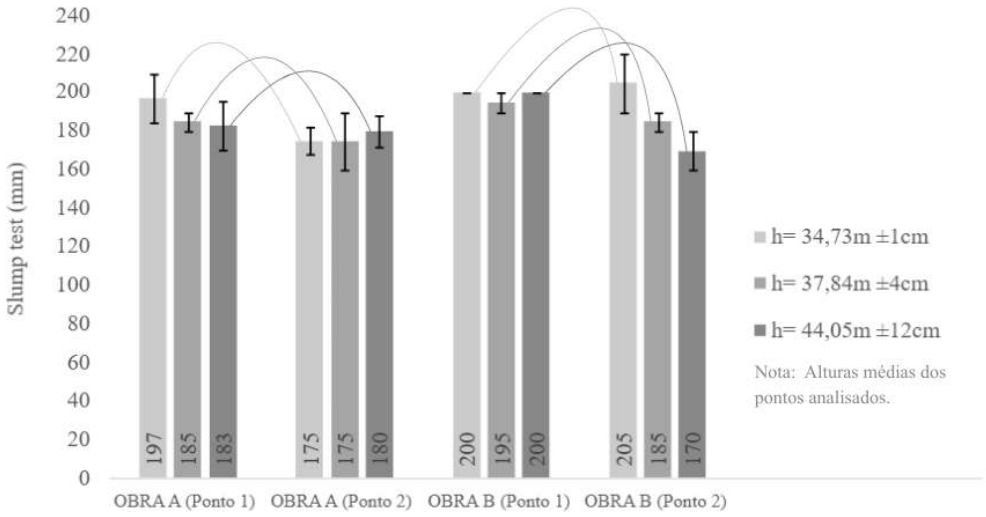
Outro fator relevante para explicar o comportamento distinto entre as obras é a granulometria do agregado graúdo. Na Obra B, onde foi utilizada brita nº 0, a maior superfície específica do agregado demanda maior quantidade de pasta para manter a coesão. Em tubulações de menor diâmetro, como a de 4”, essa maior dependência de finos torna a mistura mais sensível ao consumo da nata pela parede interna do tubo. Por outro lado, na Obra A, que utilizou brita nº 1 em tubulação de 5”, a menor

interação entre o agregado e a parede da tubulação reduz o desgaste da camada lubrificante, favorecendo maior estabilidade reológica durante o bombeamento. Esse comportamento está em conformidade com as recomendações da ACI 304.2R [3] e com estudos que indicam que tubulações mais estreitas intensificam a interação entre o concreto e a parede interna do tubo [5].

Em termos de abatimento, observou-se redução do *slump* entre o ponto 1 e o ponto 2 em diversas amostras. As variações registradas, entre 20 mm e 40 mm, apresentam comportamento semelhante ao relatado na literatura [7], mantendo-se dentro de limites considerados aceitáveis para concretos bombeáveis. Essa redução está associada ao consumo parcial da camada lubrificante e ao aumento da tensão de escoamento ao longo da tubulação.

Foram analisadas as diferenças de altura de bombeamento de 3,15 m e 6,30 m para a Obra A, e de 3,06 m e 6,12 m para a Obra B. Os resultados indicam que a altura influenciou de maneira distinta o comportamento das duas obras. Na Obra A, com tubulação de 5”, o aumento da altura não gerou variações significativas entre os valores de *slump* nos pontos de coleta, mesmo na maior elevação (44,17 m), indicando menores perdas de carga e maior estabilidade reológica durante o bombeamento. Já na Obra B, com tubulação de 4”, verificou-se redução mais expressiva da trabalhabilidade à medida que a altura aumentou, especialmente na maior coluna vertical, refletindo maior demanda de pressão, maior atrito interno e maior consumo da camada lubrificante. Dessa forma, a variável altura mostrou-se mais impactante em sistemas com tubulações de menor diâmetro, enquanto linhas de maior seção apresentaram maior estabilidade, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3: Resultados do *slump* nos pontos de coleta, evidenciando a redução da trabalhabilidade após o bombeamento, mais acentuada em tubulações de menor diâmetro.

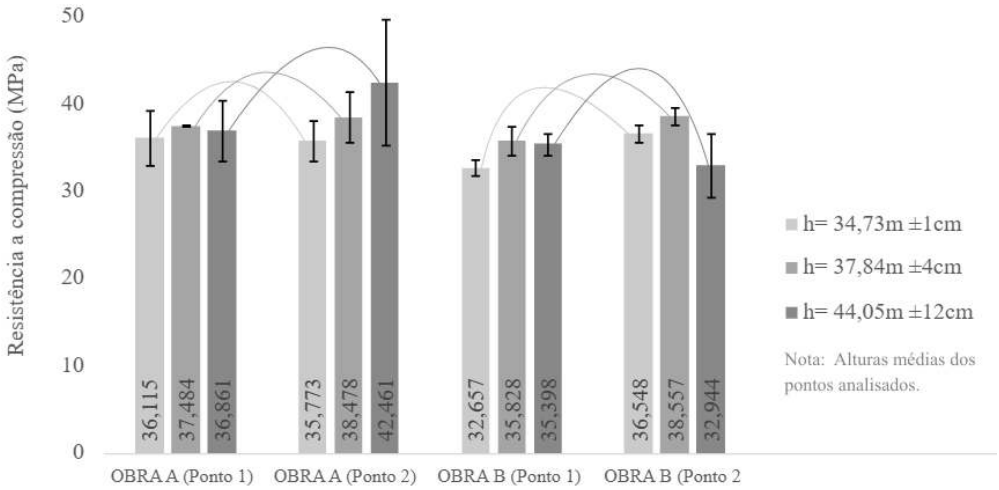


Fonte: o autor.

CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

A resistência à compressão aos 28 dias foi utilizada como parâmetro principal para avaliar o desempenho do concreto após o bombeamento. Nos ensaios realizados nas duas obras, as diferenças entre os pontos 1 e 2 foram pequenas, em média de 5% e não indicaram perda significativa de resistência durante o bombeamento, conforme Figura 4.

Figura 4: Comparativo da resistência à compressão aos 28 dias



Fonte: o autor.

Os maiores desvios foram observados nas maiores alturas de bombeamento; ainda assim, verificou-se, em alguns casos, aumento da resistência no ponto de lançamento. Esses resultados indicam que o bombeamento, mesmo em alturas superiores a 40 m, não compromete o desempenho mecânico do concreto. Comportamento semelhante foi reportado na literatura, com variações inferiores a 3 MPa entre coletas pré e pós-bombeamento em obras reais [7].

CONCLUSÕES

Este estudo teve como objetivo analisar o desempenho do concreto bombeável em edifícios altos, com ênfase nas alterações de trabalhabilidade ao longo do percurso pela tubulação e na comparação entre as propriedades medidas antes e depois do bombeamento. A pesquisa parte da premissa de que o concreto sofre transformações reológicas ao vencer pressões elevadas, variações geométricas e desgaste da camada lubrificante, sendo essencial verificar se a prática usual de controle tecnológico realizado apenas no ponto de saída do caminhão é suficiente para representar o comportamento real do material no ponto de aplicação.

Os resultados obtidos permitem concluir que o concreto bombeado apresenta variações mensuráveis de trabalhabilidade, com perdas de *slump* entre 10% a 20% observadas em diversas coletas. Essa redução está associada principalmente ao consumo da camada lubrificante, ao aumento da demanda de pressão e às condições operacionais de cada obra. Observou-se que a tubulação de 5” (Obra A) apresentou perdas muito menores quando comparada à tubulação de 4” (Obra B), indicando maior estabilidade reológica em redes com maior diâmetro.

Mesmo em maiores alturas, a trabalhabilidade se manteve estável na obra com tubulação mais robusta, enquanto a obra com tubulação de 4” apresentou quedas mais evidentes, especialmente em climas de extremo calor. Portanto, um dos principais achados deste estudo é demonstrar que o controle reológico exclusivo no ponto de saída do caminhão não é suficiente para garantir a trabalhabilidade efetiva do concreto bombeado, sobretudo em obras com tubulações mais longas ou de menor diâmetro.

Em relação ao desempenho mecânico, a resistência à compressão aos 28 dias não apresentou perdas significativas quando comparados os dois pontos, com variações médias de 5%. Em alguns casos, observou-se até pequeno aumento no ponto de lançamento, o que reforça que o bombeamento, nas alturas analisadas, não compromete a resistência final do concreto, ainda que altere sua fluidez inicial.

Declaração

Os autores declaram que não utilizaram IA generativa nem tecnologias assistidas por IA no processo de preparação do manuscrito.

REFERÊNCIAS

[1] NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **ONU-Habitat:** população mundial será 68% urbana até 2050. Brasília, 2022. Disponível em: https://brasil.un.org/. Acesso em: 10 abril 2025.

[2] NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

[3] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 304.2R-17:** placing concrete by pumping methods. Farmington Hills, MI, 2017.

[4] BANFILL, P. F. G.; TATTERSALL, G. H. Influence of superplasticizer additives in the production of concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 13, n. 2, p. 323-333, 1983.

[5] CHOI, M. S.; ROUSSEL, N.; KIM, Y.; KIM, J. Lubrication layer properties during concrete pumping. **Cement and Concrete Research**, v. 45, p. 69-78, 2013.

[6] JACOBSEN, S.; HAUGAN, L.; HAMMER, T. A.; KALOGIANNIDIS, E. Flow conditions of fresh mortar and concrete in different pipes. **Cement and Concrete Research**, v. 39, n. 11, p. 997-1006, 2009.

[7] HICKEL, C. G. **Concreto bombeável:** parâmetros reológicos e influência na performance de bombeamento. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

[8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16889:** Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020.

[9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738:** Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

[10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739:** Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

[11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7212:** Execução de concreto dosado em central. Rio de Janeiro, 2024.

[12] JANG, K.; CHOI, M.; KIM, Y.; PARK, C.; SHAH, S. Experimental observation on variation of rheological properties during concrete pumping. **International Journal of Concrete Structures and Materials**, v. 12, 2018.

[13] MORTENSVIK, R.; THORSTENSEN, R. Rheological measurements of fresh concrete: a practical approach. **Construction and Building Materials**, v. 420, 2024.