v7.n9.2026

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA, ERGONÔMICA E AMBIENTAL DA PRODUÇÃO DE CONCRETO ESTRUTURAL: MODELAGEM PARAMÉTRICA APLICADA A UMA EDIFICAÇÃO EM BELÉM, PARÁ

TECHNICAL-ECONOMIC, ERGONOMIC AND ENVIRONMENTAL ANALYSIS OF STRUCTURAL CONCRETE PRODUCTION: A PARAMETRIC MODELING APPLIED TO A BUILDING IN BELÉM, PARÁ, BRAZIL

ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO, ERGONÓMICO Y AMBIENTAL DE LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO ESTRUCTURAL: MODELIZACIÓN PARAMÉTRICA APLICADA A UNA EDIFICACIÓN EN BELÉM, PARÁ, BRASIL

Cayttano Saul de Sá Zarpellon[1], Martha Tussolini[2], Arnaldo Taveira Chioveto[1], Letícia Alves da Costa Laqua[3], Vitor Franco Rodrigues[1], Letícia Gabrielle de Pinho e Silva[1], Gildete Evangelista da Silva[4], Ana Rigel Santos Souza[4]

e798919
https://doi.org/10.47820/recima21.v7i9.8919

PUBLICADO: 09/2026

RESUMO

Este estudo compara, sob abordagem paramétrica, a produção de concreto estrutural (fck 25 MPa) por dois métodos: concreto usinado bombeado e concreto produzido em betoneira estacionária no canteiro, aplicados a uma proposta real de projeto estrutural de dois pavimentos (36,90 m³) para uma edificação em Belém, Pará. Os índices de produtividade (Homem-hora) foram extraídos de composições do SINAPI, e o traço produzido no canteiro foi dosado pelo método ABCP e validado em laboratório. Foram moldados nove corpos de prova, com resistência média aos 28 dias de 28,64 MPa e desvio-padrão de 0,65 MPa; pela expressão fck = fcm − 1,65·Sd, da NBR 12655, obteve-se resistência característica de 27,57 MPa, superior ao fck de projeto. Os custos diretos, os prazos de execução, os indicadores de demanda física e as emissões associadas ao consumo de cimento foram quantificados para os dois cenários, considerando os prazos mínimos normativos de cura entre etapas construtivas. Os resultados indicam que o concreto usinado bombeado apresenta custo direto total inferior ao do concreto produzido em betoneira (diferença de aproximadamente 28,63%, sensível ao preço de mercado e ao número de mobilizações do equipamento de bombeamento), exige cerca de sete vezes menos esforço em Homem-hora, enquanto o concreto produzido em betoneira apresenta emissões associadas ao consumo de cimento aproximadamente 57% superiores. O estudo entrega um modelo paramétrico replicável mediante substituição das variáveis de mercado.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto usinado. Concreto produzido em betoneira. Engenharia de custos. Produtividade da construção. Belém.

ABSTRACT

This study compares, through a parametric approach, the production of structural concrete (25 MPa) by two methods: pumped ready-mixed concrete and concrete produced on-site in a stationary mixer, applied to a real structural design proposal for a two-story building (36.90 m³) in Belém, Pará, Brazil.

[1] UNEMAT, mestre.
[2] UNICENTRO, doutora.
[3] UFSC, doutora.
[4] UNEMAT, doutor(a).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Productivity indices (man-hours) were extracted from official cost composition tables (SINAPI), and the on-site concrete mix was proportioned using the ABCP method and experimentally validated in laboratory. Nine specimens were cast, with a mean compressive strength at 28 days of 28.64 MPa and a standard deviation of 0.65 MPa; applying the expression fck = fcm − 1.65·Sd, set out in Brazilian standard NBR 12655, an estimated characteristic strength of 27.57 MPa was obtained, above the design value. Direct costs, execution schedules, physical demand indicators and emissions associated with cement consumption were quantified for both scenarios, considering the minimum normative curing intervals between construction stages. Results indicate that pumped ready-mixed concrete shows a lower total direct cost than on-site mixed concrete (a difference of approximately 28.63%, sensitive to market price and to the number of pump mobilizations) and requires roughly seven times fewer man-hours, while on-site mixed concrete shows emissions associated with cement consumption approximately 57% higher. As an additional contribution, the study delivers a replicable parametric calculation model adaptable to other regions by substituting market input variables.

KEYWORDS: *Ready-mixed concrete. Mixer-produced concrete. Cost engineering. Construction productivity. Belém.*

RESUMEN

Este estudio compara, bajo un enfoque paramétrico, la producción de concreto estructural (fck 25 MPa) mediante dos métodos: concreto premezclado bombeado y concreto producido en hormigonera estacionaria en obra, aplicados a una propuesta real de proyecto estructural de dos plantas (36,90 m³) para una edificación en Belém, Pará, Brasil. Los índices de productividad (Hombre-hora) se extrajeron de composiciones del SINAPI, y la mezcla producida en obra fue dosificada por el método ABCP y validada en laboratorio. Se moldearon nueve probetas, con una resistencia media a los 28 días de 28,64 MPa y desviación estándar de 0,65 MPa; por la expresión fck = fcm – 1,65·Sd, de la NBR 12655, se obtuvo una resistencia característica de 27,57 MPa, superior al fck de proyecto. Los costos directos, los plazos de ejecución, los indicadores de demanda física y las emisiones asociadas al consumo de cemento fueron cuantificados para ambos escenarios, considerando los plazos mínimos normativos de curado entre etapas constructivas. Los resultados indican que el concreto premezclado bombeado presenta un costo directo total inferior al del concreto producido en hormigonera (diferencia de aproximadamente 28,63%, sensible al precio de mercado y al número de movilizaciones del equipo de bombeo) y requiere aproximadamente siete veces menos esfuerzo en Hombre-hora, mientras que el concreto producido en hormigonera presenta emisiones asociadas al consumo de cemento aproximadamente 57% superiores. El estudio entrega un modelo paramétrico replicable mediante la sustitución de las variables de mercado.

PALABRAS CLAVE: *Concreto premezclado. Concreto producido en hormigonera. Ingeniería de costos. Productividad de la construcción. Belém.*

INTRODUÇÃO

A escolha do método de produção do concreto estrutural — usinado, adquirido de uma central dosadora, ou produzido em betoneira estacionária no canteiro — é decisão recorrente no planejamento de obras de pequeno e médio porte. Na prática profissional, essa escolha frequentemente se apoia na comparação entre o preço do metro cúbico anunciado pela

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

concreteira e o custo aparente dos materiais adquiridos para a produção no canteiro, comparação que não incorpora parcelas do custo real que se manifestam ao longo da execução (Mattos, 2019).

Entre essas parcelas menos evidentes estão o consumo de Homem-hora (Hh) da equipe de concretagem, a variabilidade do traço quando a produção ocorre com controle tecnológico limitado, e o risco de patologias construtivas como a junta fria (Mattos, 2019; Bolina; Tutikian; Helene, 2019).

Essa lacuna de análise assume contornos próprios em contextos regionais específicos, como o de Belém, no Pará — cidade amazônica onde dois fatores condicionam de forma particular a produção *in loco*. O primeiro é climático: o regime de chuvas vespertinas intensas, característico da região (Inmet, 2024), pode comprometer concretagens manuais cuja duração se estenda além do período de menor precipitação.

O segundo é geológico: a escassez local de rocha britada torna o seixo rolado o agregado graúdo predominante na região. Sua forma arredondada e textura lisa influenciam a aderência na zona de transição entre pasta e agregado, de modo que o comportamento mecânico do concreto resulta da combinação entre granulometria, forma, textura, teor de argamassa, consumo de cimento, relação água/cimento, aditivos e condições de adensamento (Neville, 2016; Isaia, 2011). Trata-se, portanto, de uma tendência tecnológica cuja magnitude depende do conjunto desses fatores, e não de uma relação determinística isolada.

Ressalva-se que essas condicionantes não configuram uma inviabilidade generalizada do método em qualquer região amazônica: a extensão dessa análise a outras localidades exigiria caracterização própria de clima e de agregados locais, o que está fora do escopo deste trabalho, centrado especificamente em Belém.

Diante desse cenário, a presente pesquisa tem como objetivo geral analisar comparativamente a viabilidade técnica, econômica e ambiental, bem como os indicadores de demanda física, da execução de 36,90 m³ de concreto estrutural com fck de 25 MPa, contrastando a produção *in loco* com o uso do concreto usinado bombeado, a partir de um projeto estrutural real proposto para uma edificação em Belém, Pará.

Como objetivos específicos, busca-se: (a) quantificar o esforço em Homem-hora e o custo direto de cada método, a partir de composições oficiais de referência; (b) comparar os prazos de execução e o risco técnico de patologias associadas à junta fria entre os dois cenários; (c) avaliar os indicadores de demanda física associados à movimentação manual de insumos, à luz da Norma Regulamentadora 17 (Brasil, 2022); e (d) quantificar as emissões de CO_2 associadas ao consumo de cimento de cada método, alinhando-se aos debates recentes sobre sustentabilidade e materiais ecoeficientes (Habert *et al.*, 2020).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

A comparação entre a produção de concreto em canteiro e as alternativas industrializadas exige compreender quatro dimensões: os critérios normativos de qualidade, os condicionantes de produtividade, os limites de demanda física do trabalho e o impacto ambiental da atividade.

1.1. Métodos de concretagem, controle tecnológico e patologias

A integridade do concreto estrutural depende do controle dos seus constituintes (Neville, 2016). A NBR 14931 (ABNT, 2023) estipula diretrizes para mistura, transporte, lançamento e adensamento, de forma que o material mantenha homogeneidade e trabalhabilidade.

Na produção *in loco*, a mistura ocorre em betoneiras estacionárias de pequeno volume. Em condições de produção com controle tecnológico limitado, a relação água/cimento (a/c) pode estar mais sujeita a variações operacionais do que em centrais dosadoras. Isaia (2011) alerta que a adição não controlada de água no canteiro, prática por vezes adotada para facilitar o manuseio da massa, reduz a resistência à compressão (fck) e aumenta a porosidade da matriz cimentícia. Já no concreto usinado, a dosagem é feita em centrais automatizadas sob controle rígido, o que favorece a conformidade exigida pela NBR 12655 (ABNT, 2022).

Além da variabilidade do traço, o fator tempo na produção *in loco* associa-se a riscos patológicos. A evidência bibliográfica sobre o mecanismo é consolidada: Bolina, Tutikian e Helene (2019) destacam que a interrupção prolongada do lançamento permite que o concreto lançado antes inicie sua pega antes que a nova camada seja sobreposta, formando a junta fria — plano de fraqueza estrutural não previsto em projeto, suscetível a fissuração por esforços de cisalhamento e a infiltrações.

A duração efetiva do lançamento em cada cenário, por sua vez, não é dado da literatura, mas hipótese operacional calculada neste trabalho a partir dos coeficientes de produtividade e da composição de equipe adotada como premissa do modelo (itens 2.3 e 3.1). A distinção é relevante: a literatura sustenta o mecanismo da patologia, enquanto a exposição a esse mecanismo em cada cenário decorre da modelagem aqui desenvolvida.

1.2. Produtividade e caminho crítico

A concretagem frequentemente se encontra no caminho crítico do cronograma de obras, e atrasos em atividades críticas postergam a entrega do empreendimento (Mattos, 2019). No

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

ciclo estrutural, o tempo gasto na concretagem retarda as etapas seguintes de cura, desforma e escoramento residual.

A produtividade na construção civil costuma ser medida pela razão Homem-hora (Hh), que representa o esforço necessário para produzir uma unidade de serviço. Autores da vertente *Lean Construction*, como Isatto *et al.* (2000), classificam o tempo de espera e o transporte ineficiente de materiais como perdas evitáveis do processo produtivo. Na concretagem manual de pavimentos elevados, parcela relevante do esforço da equipe destina-se ao transporte, o que se reflete em índices de Hh mais altos do que os obtidos com o lançamento por bombas acopladas a caminhões betoneira.

1.3. Demanda física e riscos ocupacionais na operação

Esclarece-se, de início, o alcance da dimensão ergonômica anunciada no título deste trabalho: ela é aqui tratada no âmbito dos indicadores de demanda física e de exposição laboral associados à movimentação manual de materiais, e não como Análise Ergonômica do Trabalho, conforme delimitado no item 2.9.

A viabilidade de um método construtivo também é balizada pelos limites físicos da mão de obra, uma vez que a produção de concreto em canteiro exige o fracionamento e o transporte manual de toneladas de agregados e cimento. Iida e Guimarães (2016) explicam que o trabalho braçal sob alta temperatura e umidade, condições típicas da região amazônica, acelera a fadiga muscular periférica e reduz a produtividade nas horas finais da jornada. No campo normativo, a NR-17 (Brasil, 2022) estabelece parâmetros para a movimentação manual de cargas, com vistas a mitigar distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho (DORT).

A substituição de processos de alta exigência biomecânica pelo concreto usinado atua, assim, em duas frentes: reduz o prazo de execução, por eliminar a etapa de transporte manual do caminho crítico do cronograma (Mattos, 2019), e reduz a exposição biomecânica associada à movimentação manual de carga, discutida na Seção 3.3.

1.4. Sustentabilidade e emissão de gases de efeito estufa

A cadeia produtiva do cimento Portland responde por parcela relevante das emissões antrópicas globais de dióxido de carbono (CO_2), o que motiva a busca por ecoeficiência (Mehta; Monteiro, 2014). Segundo o SNIC (2022), o fator de emissão médio nacional situa-se em torno de 564 kg de CO_2 por tonelada de cimento, valor inferior à média mundial em razão do uso de matérias-primas alternativas e da eficiência do parque industrial brasileiro.

Agopyan *et al.* (1998), em estudos sobre desperdício no Brasil, demonstraram que o manejo de agregados soltos em canteiro resulta em perdas materiais que podem ultrapassar

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

10%, decorrentes de contaminação com o solo e lixiviação por chuvas. Habert *et al.* (2020) mostram que o aumento no consumo de cimento, seja por ajuste de dosagem, seja por desperdício logístico, impacta diretamente as emissões associadas à edificação. A magnitude desse efeito no contexto deste estudo é examinada a partir da dosagem efetivamente realizada (Seção 2.5), e não por associação regional genérica.

1.5. Trabalhos relacionados

A literatura brasileira sobre métodos industrializados e artesanais de produção de concreto concentra-se, em boa parte, em sistemas de parede de concreto moldada *in loco*, aplicados a empreendimentos habitacionais de grande escala. Carvalho e Santos (2012), em estudo de caso sobre parede de concreto com forma metálica, constataram que o método industrializado, embora mais oneroso por unidade produzida, reduz o prazo de execução — tensão qualitativamente equivalente à observada neste estudo. A CBIC (2017), por sua vez, reúne indicadores de produtividade para esses sistemas a partir de casos reais, servindo como referência de triangulação aos coeficientes SINAPI adotados na Metodologia.

Não foram localizados, contudo, estudos que comparem a produção de concreto usinado bombeado e concreto produzido em betoneira para elementos estruturais convencionais (fundações, pilares, vigas e lajes) em edificações de pequeno porte, tampouco com recorte para a realidade de Belém. A presente pesquisa estende esse corpo de conhecimento a um objeto de estudo, uma escala de obra e um contexto geográfico ainda não contemplados, por meio de um procedimento de cálculo (Seção 2, Equações 1 a 6) descrito de forma replicável em outras regiões mediante substituição das variáveis locais.

2. METODOLOGIA

2.1. Delineamento e classificação da pesquisa

A presente pesquisa configura-se como uma modelagem paramétrica de cenários, de caráter descritivo e abordagem quantitativa, aplicada a uma estrutura de referência única. Gil (2022) define a pesquisa descritiva como aquela que estabelece relações matemáticas e operacionais entre variáveis observáveis. Diferentemente de um estudo de caso na acepção estrita de Yin (2015), que pressupõe triangulação de múltiplas fontes de evidência sobre um fenômeno em curso, este trabalho adota uma estrutura única como referência de cálculo, com o objetivo de demonstrar e testar um modelo matemático replicável, e não de generalizar estatisticamente para o universo de edificações da região.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

O processamento de dados, a parametrização de custos e a modelagem foram desenvolvidos em planilha eletrônica, contrastando dois cenários que compartilham a mesma sequência construtiva e os mesmos intervalos mínimos de cura, diferindo exclusivamente no método de produção e lançamento: Cenário A (concreto usinado, lançado por bomba) e Cenário B (concreto produzido em betoneira estacionária no canteiro).

A notação empregada nas equações apresentadas ao longo deste trabalho é reunida no Quadro 1.

Quadro 1. Lista de símbolos utilizados nas equações

Símbolo	Descrição	Unidade
Hh_{total}	Esforço total da equipe em Homem-hora	Hh
I_i	Coeficiente de produtividade da composição SINAPI para a etapa i	Hh/m³
V_i	Volume de concreto da etapa construtiva i	m³
V	Volume ocupado por unidade de traço (método da massa específica)	dm³
C	Consumo teórico de cimento por metro cúbico de concreto	kg/m³
γc, γareia, γseixo, γágua	Massa específica do cimento, areia, seixo e água, respectivamente	kg/dm³
a/c	Relação água/cimento em massa	adimensional
Q_{real}, $Q_{teórico}$	Quantidade comercial real e consumo teórico de um insumo	kg ou m³
p	Coeficiente de perda de material	adimensional
C_T	Custo total direto do cenário	R$
C_{mat}, C_{mo}, C_{eq}, C_{per}	Custos de material, mão de obra, equipamentos e periféricos	R$
C_{bomba}	Custo total do serviço de bombeamento	R$
n	Número de mobilizações do equipamento de bombeamento	adimensional
$C_{mobilização}$	Custo unitário de cada mobilização de bomba	R$
fck	Resistência característica à compressão do concreto	MPa
fcm	Resistência média à compressão obtida nos corpos de prova	MPa
Sd	Desvio-padrão da resistência à compressão	MPa

Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Os símbolos do Quadro 1 são retomados com a mesma notação na Metodologia, onde cada equação é apresentada no contexto do cálculo a que se refere.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

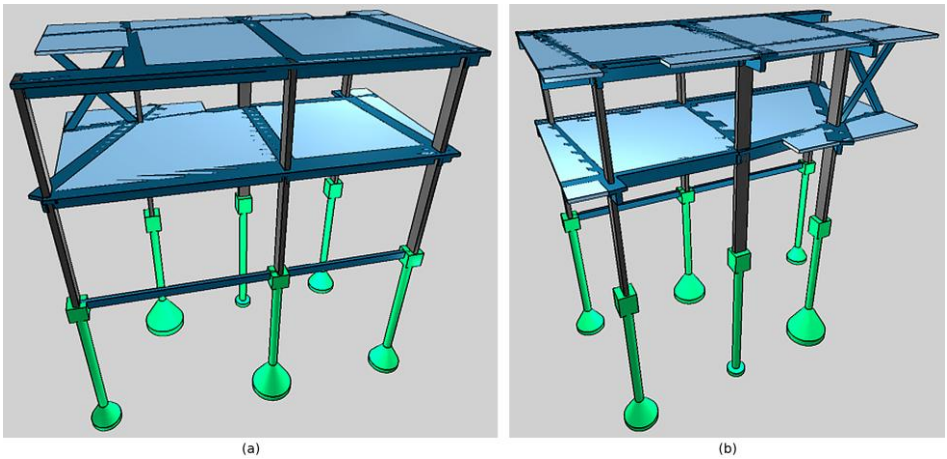
2.2. Caracterização do objeto de estudo

O objeto de análise é a superestrutura de concreto armado de uma proposta de projeto estrutural para uma edificação residencial de dois pavimentos em Belém, no Pará. Trata-se de um projeto de ampliação sobre um lote onde já existe edificação construída, condição que impôs uma restrição específica ao projeto estrutural: não foi possível executar vigas baldrames na região interna da edificação, devido a restrições geradas pela edificação existente.

O caráter simulado deste estudo está na comparação hipotética entre os dois métodos executivos de concretagem (Cenários A e B, item 2.1) aplicada a esse projeto; o projeto estrutural em si é uma proposta real, não uma edificação fictícia.

O fck de projeto é de 25 MPa, e o volume total de concreto estrutural necessário é de 36,90 m³. A Figura 1 apresenta o modelo tridimensional esquemático da estrutura projetada, em duas perspectivas complementares, evidenciando a sequência de fundações profundas, blocos de coroamento, pilares, vigas e lajes dos dois pavimentos.

Figura 1. Modelo tridimensional esquemático da estrutura objeto de estudo: (a) perspectiva 1; (b) perspectiva 2



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Na perspectiva (a) observam-se as fundações profundas em primeiro plano, seguidas pelos blocos de coroamento, pelos pilares e pelas vigas e lajes de ambos os pavimentos; a perspectiva (b) complementa a visualização de elementos parcialmente ocultos nesse ângulo, evidenciando a disposição das vigas do pavimento superior e o alinhamento dos pilares ao longo do eixo longitudinal. A distribuição volumétrica de concreto por etapa construtiva é detalhada na Tabela 1.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

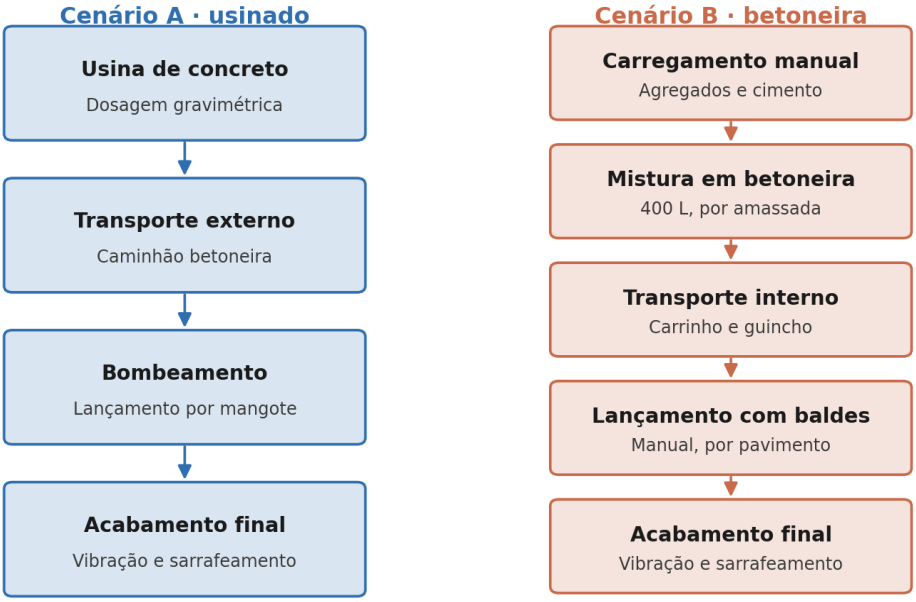
Tabela 1. Distribuição volumétrica e sequência construtiva

Etapa	Elementos	Volume (m³)	Cota
1	Estacas	7,07	Nível do solo
2	Blocos de coroamento	1,08	Nível do solo
3	Pilares térreo	2,32	Até 4,30 m
4	Vigas + laje térreo	12,52	4,30 m
5	Pilares superior	1,73	Até 7,50 m
6	Vigas + laje superior	12,18	7,50 m
—	Volume total	36,90	—

Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Cada etapa constitui uma concretagem fisicamente distinta, separada da seguinte por um intervalo mínimo de cura (Tabela 7, item 2.6). Essa segmentação em seis eventos de concretagem rege tanto a produtividade (item 2.3) quanto o número de mobilizações de equipamento necessárias em cada cenário (item 2.4). O fluxograma comparativo das etapas é apresentado na Figura 2.

Figura 2. Fluxograma comparativo dos processos de concretagem (Cenário A x Cenário B)



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

O fluxograma evidencia diferenças operacionais entre os cenários: o Cenário A concentra o esforço da equipe em quatro etapas, das quais apenas o bombeamento exige presença intensiva no canteiro, enquanto o Cenário B distribui o trabalho em cinco etapas

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

dependentes de mão de obra direta, do carregamento manual dos insumos ao acabamento final. Essa diferença é quantificada, em termos de Homem-hora, na Seção 2.3.

2.3. Fonte e coleta dos índices de produtividade (Homem-hora)

A quantificação do esforço humano fundamentou-se em composições do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), mantido pela Caixa Econômica Federal em parceria com o IBGE, por se tratar de base pública e auditável. Foram utilizadas as composições 94965 (concreto fck = 25 MPa, preparo mecânico com betoneira 400 L), 92873 (lançamento com uso de baldes, adensamento e acabamento) e 92874 (lançamento com uso de bomba, adensamento e acabamento), extraídas do Relatório de Custos de Composições SINAPI, localidade Belém-PA, referência de junho de 2026 (Caixa Econômica Federal, 2026).

O cálculo do tempo total de produção e lançamento baseou-se na Equação 1:

$$Hh_{total} = \Sigma\,(I_i \cdot V_i) \quad (1)$$

Onde Hh_{total} é o tempo total de esforço da equipe em Homem-hora; I_i é o coeficiente de produtividade da composição SINAPI aplicável à etapa i, expresso em Hh/m³; e V_i é o volume da etapa i (Tabela 1). Os coeficientes de mão de obra adotados por composição são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Coeficientes de Homem-hora por composição SINAPI

Composição	Categoria	Hh/m³
94965 (mistura, Cenário B)	Servente	2,31
94965 (mistura, Cenário B)	Operador de betoneira	1,46
92873 (lançamento c/ baldes, Cenário B)	Carpinteiro de formas	1,85
92873 (lançamento c/ baldes, Cenário B)	Pedreiro	1,85
92873 (lançamento c/ baldes, Cenário B)	Servente	5,54
Total Cenário B	—	13,01
92874 (lançamento c/ bomba, Cenário A)	Carpinteiro de formas	0,35
92874 (lançamento c/ bomba, Cenário A)	Pedreiro	0,35
92874 (lançamento c/ bomba, Cenário A)	Servente	1,06
Total Cenário A	—	1,77

Fonte: adaptado de Caixa Econômica Federal (2026).
Para o volume total de 36,90 m³, o esforço agregado resulta em 65,13 Hh para o Cenário A e 479,90 Hh para o Cenário B.

Cabe registrar uma distinção metodológica relevante: o Homem-hora agregado mede esforço de equipe, não duração de execução. A conversão de um no outro depende do número

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

de trabalhadores mobilizados simultaneamente. Para permitir essa conversão de forma inequívoca, adotou-se como premissa deste modelo a composição de equipe descrita na Tabela 3, mantida constante em todas as etapas de cada cenário.

Tabela 3. Composição das equipes adotada como premissa do modelo

Cenário	Composição da equipe	Total de trabalhadores
A (concreto usinado)	1 pedreiro, 1 carpinteiro de formas, 3 serventes	5
B (produzido em betoneira)	1 pedreiro, 1 carpinteiro de formas, 1 operador de betoneira, 5 serventes	8

Fonte: elaborado pelos autores (2026), a partir das categorias profissionais das composições SINAPI utilizadas.

Com essas composições, o esforço agregado converte-se em duração aproximada de trabalho efetivo: 13,03 horas para o Cenário A (65,13 Hh distribuídos entre 5 trabalhadores) e 59,99 horas para o Cenário B (479,90 Hh distribuídos entre 8 trabalhadores), considerando o volume total. Todas as referências a prazos apresentadas neste trabalho decorrem dessa premissa de composição de equipe, que deve ser substituída pelo leitor caso a estrutura de equipe da sua obra seja distinta.

2.4. Fonte e coleta dos dados de custo

Os salários-hora de pedreiro (código SINAPI 88309), servente (88316), operador de betoneira (88377) e carpinteiro de formas (88262), com encargos complementares e regime de desoneração, foram extraídos do Relatório de Custos de Composições do SINAPI, localidade Belém-PA, referência de junho de 2026 (Caixa Econômica Federal, 2026), conforme reportado na Tabela 4.

Tabela 4. Salários-hora adotados (SINAPI Belém-PA, junho de 2026)

Categoria	Código SINAPI	Valor (R$/h, desonerado)
Pedreiro	88309	31,10
Servente	88316	25,66
Operador de betoneira	88377	28,35
Carpinteiro de formas	88262	30,50

Fonte: adaptado de Caixa Econômica Federal (2026).

Os preços de mercado foram levantados em dois momentos: cimento, areia média e seixo rolado junto a fornecedores de Belém/PA em julho de 2026, com base na média de três cotações por insumo; e concreto usinado, serviço de bombeamento e ensaios de controle

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

tecnológico junto a três concreteiras e três laboratórios da mesma praça, por telefone, em agosto de 2026.

Registra-se, portanto, uma defasagem de até dois meses entre a referência SINAPI (junho de 2026) e as cotações de mercado (julho e agosto de 2026). Optou-se por não aplicar correção monetária a esse intervalo, uma vez que a variação do Índice Nacional de Custo da Construção no período é inferior à dispersão de preços observada entre fornecedores na mesma praça e data, discutida na Seção 3.2. Essa defasagem é declarada como limitação no item 2.9.

A Tabela 5 apresenta os três orçamentos de concreto usinado e bombeamento, a média adotada e os preços dos demais insumos.

Tabela 5. Preços de insumos, Belém-PA (cotações de julho e agosto de 2026)

Fonte	Concreto usinado (R$/m³)	Bombeamento (R$/mobilização)
Empresa 1	696,00	2.200,00
Empresa 2	400,00	699,00
Empresa 3	700,00	2.000,00
Média adotada	598,67	1.633,00
Cimento Portland CP II-F-32 (saco 50 kg)	—	R$ 52,00/saco
Areia média	—	R$ 130,00/m³
Seixo rolado	—	R$ 400,00/m³

Fonte: elaborado pelos autores (2026), a partir de cotações diretas junto a fornecedores de Belém-PA.

Como o Cenário A segue a mesma sequência construtiva de seis etapas do Cenário B (Tabela 1), separadas pelos mesmos intervalos mínimos de cura (Tabela 7), cada etapa exige uma mobilização independente da bomba estacionária. Adotou-se, portanto, seis mobilizações de bomba como premissa do modelo para o Cenário A, uma por etapa construtiva.

O custo de locação de equipamentos do Cenário B (betoneira 400 L e guincho de coluna) foi calculado sobre a permanência real do equipamento no canteiro (20 dias corridos, correspondentes ao intervalo entre a primeira e a última concretagem da sequência construtiva), e não sobre uma locação mensal cheia. Para a betoneira, adotou-se a tabela de preços por faixa de permanência de uma locadora de equipamentos de construção civil (1 dia: R$ 190,00; 7 dias: R$ 290,00; 15 dias: R$ 390,00; 30 dias: R$ 480,00), interpolando linearmente a taxa marginal entre as faixas de 15 e 30 dias para os 20 dias de uso real, resultando em R$ 420,00.

Para o guincho de coluna, adotou-se estimativa de R$ 600,00 pelo período de mobilização, obtida por triangulação com as taxas horárias do SINAPI para o mesmo equipamento (códigos 93281 e 93282), que variam de R$ 18,41 a R$ 30,19 por hora em composições de referência do Pará (Caixa Econômica Federal, 2026), compatíveis com uso efetivo de 20 a 30 horas.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

O custo de controle tecnológico foi calculado a partir de três cotações para o ensaio de ruptura de corpo de prova cilíndrico 10 × 20 cm: o Laboratório 1 cobra R$ 30,00 por ruptura, com relatório; o Laboratório 2 cobra R$ 30,00 por ruptura, com laudo técnico; e o Laboratório 3 cobra R$ 25,00 por ruptura — média de R$ 28,33.

O plano de amostragem adotado segue um exemplar (dois corpos de prova) por etapa construtiva para o Cenário A (6 etapas × 2 CPs = 12 CPs), e o dobro para o Cenário B (6 etapas × 4 CPs = 24 CPs), refletindo a ausência de certificado de qualidade do fornecedor na produção *in loco*, que demanda controle amostral mais intenso. Isso resulta em R$ 340,00 para o Cenário A e R$ 680,00 para o Cenário B.

A água de amassamento foi calculada a partir do consumo teórico do traço (item 2.5): 209,71 L/m³ × 36,90 m³ ≈ 7,74 m³, tarifado à tarifa comercial de referência da concessionária local, resultando em aproximadamente R$ 155,00. A energia elétrica considerou a potência nominal combinada dos motores da betoneira (1,5 kW) e do guincho (1,1 kW), totalizando 2,6 kW, aplicada a 45 horas de operação efetiva estimada e à tarifa comercial de referência de R$ 1,05/kWh, resultando em R$ 122,85. Ambos são estimativas de ordem de grandeza, não faturas verificadas.

2.5. Caracterização do traço de concreto e ajustes técnicos

O traço adotado para o Cenário B foi dosado pelo método ABCP (Rodrigues, 1995), e executado e rompido no laboratório de materiais de construção da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), campus de Nova Xavantina-MT, na proporção unitária em massa 1 : 2,2 : 1,9 : 0,5 (cimento CP II-F-32 : areia média : seixo rolado : água/cimento).

A caracterização física dos agregados seguiu as normas vigentes: composição granulométrica conforme a NBR 17054 (ABNT, 2022); densidade do agregado miúdo conforme a NBR 16916 (ABNT, 2021); densidade do agregado graúdo conforme a NBR 16917 (ABNT, 2021); e massa unitária de ambos, no estado compactado exigido pelo método ABCP, conforme a NBR 16972 (ABNT, 2021).

Os ensaios resultaram em: agregado miúdo (areia média), massa específica de 2.627 kg/m³ e massa unitária compactada de 1.441 kg/m³; agregado graúdo (seixo rolado), massa específica de 2.631 kg/m³, dimensão máxima característica de 19 mm e massa unitária compactada de 1.587 kg/m³. O ensaio de massa específica do agregado graúdo foi adaptado para o método de deslocamento de volume, em vez do picnômetro previsto na NBR 16917 (ABNT, 2021), por limitação de recursos do laboratório — adaptação declarada por transparência metodológica.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

O controle estatístico de resistência baseou-se em nove corpos de prova, rompidos aos 28 dias de cura submersa (valores individuais, em MPa: 29,30; 29,00; 27,79; 28,84; 28,20; 27,62; 29,65; 29,00; 28,35), resultando em resistência média fcm = 28,64 MPa e desvio-padrão Sd = 0,65 MPa. Aplicando a expressão fck = fcm − 1,65·Sd, conforme a NBR 12655 (ABNT, 2022), obtém-se fck = 27,57 MPa, valor superior ao fck de projeto de 25 MPa.

Esclarece-se que esse procedimento corresponde à validação estatística de um traço em fase de dosagem laboratorial, prática consolidada no método ABCP (Rodrigues, 1995), e não ao procedimento formal de controle de aceitação de concreto em obra descrito no item 7 da NBR 12655 (ABNT, 2022), que exige a formação de lotes e exemplares constituídos por, no mínimo, dois corpos de prova da mesma amassada. Os dois procedimentos têm propósitos distintos, e a distinção é feita para evitar ambiguidade normativa.

A adoção do método ABCP e do laboratório da UNEMAT como fonte do traço experimental é corroborada por trabalhos publicados por Zarpellon *et al.* (2024a, 2024b), que utilizaram o mesmo laboratório, o mesmo método de dosagem e agregados de mesma origem local. Um desses trabalhos (Zarpellon *et al.*, 2024a) emprega um traço unitário de proporção de agregados semelhante à deste estudo (1:2,20:1,89:0,56, para fck de 20 MPa).

Cabe destacar uma diferença relevante entre os dois traços: a relação água/cimento adotada por Zarpellon *et al.* (2024a) é de 0,56, superior à relação de 0,50 adotada neste estudo. Essa redução de 0,06 na relação a/c, mantida proporção de agregados semelhante, tende a resultar em ganho de resistência mecânica e de durabilidade, por reduzir a porosidade capilar da matriz cimentícia (Neville, 2016) — coerente com o fck superior de projeto adotado neste trabalho (25 MPa, contra 20 MPa no traço de referência).

O consumo de cimento por metro cúbico foi derivado pelo método da massa específica dos materiais (Neville, 2016). Para a massa específica do cimento, adotou-se o valor médio de 3,08 kg/dm³, calculado a partir do intervalo de valores localizados para cimentos CP II-F comercializados na região Centro-Oeste: 3,05 g/cm³ (Cimento Itambé, 2024); 3,11 g/cm³ e 3,09 g/cm³, medidos conforme a NBR 16605 (ABNT, 2017) por Bezerra e Almeida (2019).

$$V = \frac{1}{\gamma c} + \frac{2,2}{\gamma areia} + \frac{1,9}{\gamma seixo} + \frac{0,5}{1,00} \quad (2)$$

Substituindo os valores adotados (γc = 3,08 kg/dm³; γareia = 2,63 kg/dm³; γseixo = 2,63 kg/dm³), obtém-se V = 2,38 dm³.

$$C = \frac{1000}{V} \quad (3)$$

Logo, C = 1000 / 2,38 = 419,41 kg/m³ — o consumo teórico de cimento, equivalente a 8,39 sacos de 50 kg por metro cúbico, sem considerar perdas.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

O consumo mássico de areia (922,71 kg/m³) e seixo (796,88 kg/m³) foi convertido para volume comercial pelas massas unitárias medidas, resultando em 0,64 m³/m³ e 0,50 m³/m³. Sobre esses valores aplicou-se o índice de perda de 12% para agregados soltos (Agopyan *et al.*, 1998) e de 5% para manuseio de sacaria de cimento, conforme a Equação 4:

$$Q_{real} = Q_{teórico} \cdot (1 + p) \quad (4)$$

Onde Q_{real} é a quantidade comercial efetiva a ser adquirida; $Q_{teórico}$ é o consumo estipulado pelo traço; e p é o coeficiente de perda adotado. O consumo e o custo resultantes são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Consumo e custo de materiais, Cenário B (traço UNEMAT)

Insumo	Consumo real (com perdas)	Custo unitário	Custo/ m³
Cimento	8,81 sacos	R$ 52,00	R$ 458,00
Areia	0,72 m³	R$ 130,00	R$ 93,23
Seixo	0,56 m³	R$ 400,00	R$ 224,95
Total	—	—	R$ 776,18/ m³

Fonte: elaborado pelos autores (2026).

O cimento responde por 59% do custo de material do Cenário B, seguido pelo seixo (29%) e pela areia (12%). O custo total de material por metro cúbico (R$ 776,18) é o valor utilizado no cálculo do custo direto do Cenário B, apresentado na Seção 3.2.

2.6. Prazos mínimos entre etapas construtivas

Há uma distinção normativa entre o prazo para avançar à próxima etapa construtiva (com o escoramento da peça anterior mantido) e o prazo para retirada definitiva do escoramento. A NBR 14931 (ABNT, 2023) e a NBR 15696 (ABNT, 2009) estabelecem prazo mínimo de 14 dias para a remoção ou remanejamento do escoramento, que corre em paralelo ao avanço construtivo sem bloqueá-lo. Os prazos mínimos adotados estão reunidos na Tabela 7.

Tabela 7. Prazos mínimos adotados entre etapas construtivas

Transição	Prazo mínimo	Base
Estaca → bloco de coroamento	3 dias	Resistência inicial para arrasamento sem fissuração do fuste

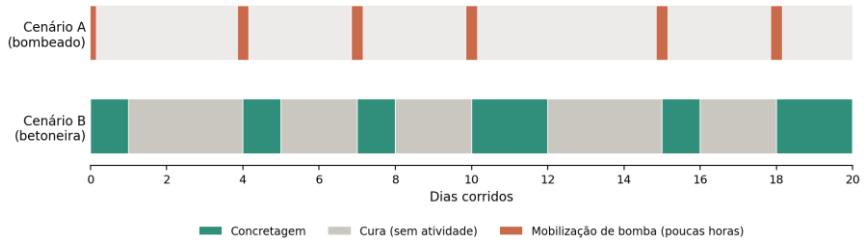
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Bloco → pilar	2 dias	Cura para suportar fôrma e concreto fresco sobreposto
Pilar → viga/laje (mesmo nível)	2 dias	Evitar fissuração por retração plástica na ligação pilar-viga
Laje → pilares do pavimento seguinte	3 dias	Resistência à tração/punção; laje permanece escorada
Retirada definitiva do escoramento	14 dias	NBR 14931 (ABNT, 2023); NBR 15696 (ABNT, 2009)
Cura total / resistência de projeto	28 dias	Neville (2016)

Fonte: elaborado pelos autores (2026), com base nas normas citadas.

Aplicando esses intervalos à sequência da Tabela 1, a fase de concretagem e cura ocupa 20 dias corridos em ambos os cenários, do início da concretagem das estacas ao término da concretagem da laje de cobertura, conforme o cronograma comparativo da Figura 3.

Figura 3. Cronograma comparativo dos dois cenários ao longo de 20 dias corridos



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

O cronograma evidencia que, embora a duração total do ciclo de concretagem e cura seja idêntica nos dois cenários, a ocupação da equipe difere: no Cenário A, considerando a composição da Tabela 3, a equipe permanece disponível para outras frentes na maior parte do período, enquanto no Cenário B cada etapa consome de uma a duas jornadas completas de dedicação.

Registra-se que os 20 dias corridos representam exclusivamente o caminho crítico de concretagem e cura mínima, recorte definido pelo escopo deste estudo, e não incluem armação, montagem de fôrma e escoramento. Um cronograma executivo completo tende, portanto, a ultrapassar esse prazo. Como tais atividades independem do método de mistura e lançamento, sua inclusão afetaria igualmente os dois cenários, sem alterar os custos diretos nem a comparação entre os métodos.

2.7. Procedimento de cálculo dos custos diretos

O custo total direto (C_T) de cada cenário é regido pela Equação 5:

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

$$C_T = \Sigma\ (C_{mat} + C_{mo} + C_{eq} + C_{per}) \quad (5)$$

Onde C_{mat} corresponde aos custos de materiais básicos; C_{mo} aos custos de mão de obra; C_{eq} aos custos de locação de equipamentos; e C_{per} aos custos operacionais periféricos (energia elétrica, água de amassamento e controle tecnológico). Para o Cenário A, acrescenta-se o termo de bombeamento, conforme a Equação 6:

$$C_{bomba} = n \cdot C_{mobilização} \quad (6)$$

Onde n é o número de mobilizações (seis, conforme item 2.4) e $C_{mobilização}$ o custo unitário de cada visita, correspondente à média das três cotações (R$ 1.633,00, Tabela 5).

Registra-se que C_T representa exclusivamente o custo direto de produção e lançamento do concreto. Não se aplicou BDI a nenhum dos cenários, por se tratar de taxa que varia entre construtoras e não é objeto de comparação técnica entre métodos. Sua inclusão, por ser percentual multiplicativo aplicado igualmente a ambos, não alteraria a diferença relativa entre eles.

2.8. Comparação com a caracterização física de agregados de Belém-PA

Como complemento à validação do traço, buscou-se na literatura publicada uma referência de comparação para os agregados comercializados em Belém. Ribeiro, Silva e Cordeiro (2018), em estudo conduzido na UFPA, caracterizaram agregados naturais da região metropolitana: o seixo rolado apresentou massa específica de 2,62 g/cm³ e dimensão máxima de 19 mm; a areia quartzosa apresentou massa específica de 2,68 g/cm³. A comparação com os dados medidos é apresentada na Tabela 8.

Tabela 8. Comparação entre os agregados medidos no traço experimental e caracterizações publicadas para Belém-PA

Parâmetro	UNEMAT (medido)	Ribeiro; Silva; Cordeiro (2018)	Peniche; Pinheiro (2023)	Mattos; Dal Molin; Carneiro (2002)
Seixo — massa específica	2,63 g/cm³	2,62 g/cm³ (−0,4%)	—	—
Seixo — dimensão máxima	19 mm	19 mm (idêntico)	—	—
Areia — massa específica	2,63 g/cm³	2,68 g/cm³ (+2,0%)	2,63 g/cm³ (−0,1%)	2,64 g/cm³ (+0,5%)
Areia — massa unitária (solto)	1,44 kg/dm³*	—	—	1,57 kg/dm³

Fonte: elaborado pelos autores (2026), a partir das fontes citadas. *Massa unitária medida em estado compactado, não diretamente comparável ao estado solto.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

A convergência é consistente para a areia: a massa específica medida diverge em menos de 2% de três caracterizações independentes de areias da região metropolitana de Belém, o que apoia a aplicação do traço dosado em Nova Xavantina ao contexto local.

Uma constatação de sinal oposto decorre de Silva (2008), dissertação de mestrado da UFPA sobre concreto autoadensável com materiais de Belém. O autor relata que a areia correntemente utilizada na produção de concreto na região apresenta módulo de finura entre 1,70 e 1,90 — classificada como areia fina pela NBR 7211 (ABNT, 2022), e mais fina do que a areia média utilizada neste estudo (módulo de finura 3,08).

Esse é um indício de que a areia predominante em Belém para uso em concreto pode ser mais fina do que a assumida neste estudo, limitação registrada no item 2.9. Como referência complementar, Branco (2015) caracterizou areias de Santarém/PA obtendo módulo de finura de 2,1 e 2,7 e massa unitária de 1,6 e 1,7 kg/dm³, valores da mesma ordem de grandeza dos adotados.

2.9. Limitações do estudo

1. Os resultados são específicos a uma estrutura de referência única e à praça de preços de Belém/PA. Os salários e coeficientes SINAPI referem-se a junho de 2026 e as cotações de mercado a julho e agosto de 2026, defasagem de até dois meses entre as fontes. Qualquer uso do modelo para decisão de compra deve ser precedido de nova coleta de preços simultânea.

2. O traço foi dosado com agregados do Mato Grosso. A comparação com a literatura (item 2.8) indica boa equivalência de massa específica com os agregados de Belém, triangulada por três fontes. Quanto ao módulo de finura, contudo, Silva (2008) relata valores mais baixos para a areia empregada na região; adotou-se o valor medido em laboratório, e a substituição por areia mais fina exigiria reavaliação da dosagem.

3. Os custos de locação do guincho de coluna, de água de amassamento e de energia elétrica são estimativas de ordem de grandeza calculadas a partir de parâmetros técnicos e tarifas de referência, não de faturas emitidas. O peso conjunto desses três itens é inferior a 2% do custo direto do Cenário B.

4. A dimensão de demanda física apoia-se em indicadores de Homem-hora e na massa total de insumos movimentada manualmente, discutidos à luz da NR-17 (Brasil, 2022). Não foi conduzida Análise Ergonômica do Trabalho (AET) completa, com avaliação estruturada de posturas, frequências, distâncias e condições de levantamento. Os resultados dessa dimensão devem ser lidos como indicadores de exposição, não como diagnóstico ergonômico.

5. A avaliação ambiental restringe-se às emissões associadas ao consumo de cimento. Não foram contabilizados o transporte do caminhão betoneira, a operação da central dosadora

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

e o bombeamento (Cenário A), nem o transporte dos materiais até o canteiro (Cenário B). Trata-se, portanto, de comparação de emissões por fronteira de sistema restrita ao cimento, e não de avaliação de pegada de carbono completa dos dois sistemas.

6. As conclusões sobre junta fria decorrem de análise de risco técnico baseada nos tempos estimados de lançamento, e não de observação experimental da ocorrência de patologias.

7. O traço experimental utilizado como referência foi desenvolvido no laboratório de vínculo institucional dos autores (UNEMAT), informação declarada por transparência metodológica, sem prejuízo da validade técnica do traço, cuja resistência foi verificada conforme a NBR 12655 (ABNT, 2022).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A modelagem revelou diferenças relevantes nas vertentes analisadas: custo direto, esforço de trabalho, prazo, demanda física e emissões associadas ao consumo de cimento. Os resultados distinguem os indicadores efetivamente calculados das inferências operacionais deles decorrentes.

3.1. Análise de prazos e riscos construtivos

A aplicação das composições SINAPI ao volume total de 36,90 m³ indicou consumo acumulado de 65,13 Homem-hora (Hh) para o Cenário A contra 479,90 Hh para o Cenário B, razão de aproximadamente 7,4 vezes. Convertendo esse esforço em duração pela composição de equipe adotada como premissa (Tabela 3), obtêm-se 13,03 horas de trabalho efetivo para o Cenário A e 59,99 horas para o Cenário B.

Tomando-se como exemplo a concretagem da laje do pavimento térreo (12,52 m³), elemento que exige lançamento contínuo: no Cenário A, com equipe de cinco trabalhadores, o lançamento e adensamento demandam cerca de 4,4 horas de trabalho efetivo, compatível com execução em uma única jornada. No Cenário B, com equipe de oito trabalhadores, a mesma etapa demanda cerca de 20,4 horas, o que se distribui por duas a três jornadas de trabalho.

Esse prolongamento associa-se a riscos patológicos: a interrupção do lançamento de uma jornada para outra pode comprometer o monolitismo da peça, gerando junta fria não prevista no cálculo estrutural, e a extensão ao longo de múltiplos dias aumenta a exposição da concretagem às chuvas características de Belém (Bolina; Tutikian; Helene, 2019).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Cabe delimitar o alcance dessa análise: este estudo não mediu empiricamente a ocorrência de juntas frias. O que se apresenta é uma análise de risco técnico decorrente dos tempos de lançamento estimados pelo modelo, não um resultado experimental de patologia.

Para dimensionar a ordem de grandeza financeira desse risco, sem quantificar sua probabilidade de ocorrência, tomou-se o custo unitário de injeção de resina epóxi para reparação estrutural de fissuras, de R$ 39,61 por metro linear (Cype Ingenieros, 2024). Aplicando esse custo a uma fissura hipotética ao longo da menor dimensão da laje térreo (6,50 m), o reparo custaria aproximadamente R$ 257,00, valor ao qual se somariam custos indiretos não capturados, como mobilização de equipe especializada e paralisação da obra.

3.2. Viabilidade econômico-financeira

A Tabela 9 sintetiza a matriz de custos diretos para os dois cenários, incorporando os salários-hora e o traço validados nas Seções 2.4 e 2.5, a média das cotações reais (Tabela 5) e a premissa de seis mobilizações de bomba.

Tabela 9. Comparativo de custos diretos, Cenário A x Cenário B

Item de custo	Cenário A	Cenário B
Material	R$ 22.090,80	R$ 28.641,18
Bombeamento (6 × R$ 1.633,00)	R$ 9.798,00	—
Água de amassamento	—	R$ 155,00
Energia elétrica	—	R$ 122,85
Mão de obra	R$ 1.805,15	R$ 13.160,02
Equipamentos	—	R$ 1.020,00
Controle tecnológico (12 CPs / 24 CPs)	R$ 340,00	R$ 680,00
Custo total direto	R$ 34.033,95	R$ 43.779,05

Fonte: elaborado pelos autores (2026).

O Cenário B resulta 28,63% mais caro que o Cenário A (diferença de R$ 9.745,10). A diferença decorre principalmente do menor esforço em Homem-hora do Cenário A, refletido no custo de mão de obra (R$ 1.805,15 contra R$ 13.160,02): mesmo com custo de material da mesma ordem entre os cenários, a parcela de mão de obra domina o resultado final.

Registra-se que a dispersão entre as três cotações de concreto usinado foi ampla — de R$ 400,00/m³ a R$ 700,00/m³, diferença de 75% —, o que reforça a recomendação de coletar múltiplas cotações antes de contratar.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

3.3. Indicadores de demanda física

Sob a ótica da NR-17 (Brasil, 2022), o Cenário B apresenta demanda física substancialmente superior. Para produzir os 36,90 m³ de concreto, a equipe necessita fracionar, levantar, despejar na betoneira e transportar em carrinhos de mão aproximadamente 88 toneladas de insumos, somando-se a massa do seixo, da areia, dos sacos de cimento e da água de amassamento.

Essa movimentação, realizada sob o clima quente e úmido de Belém, associa-se a fadiga muscular e à redução da produtividade nas horas finais do turno (Iida; Guimarães, 2016), configurando exposição biomecânica relevante do ponto de vista do risco ocupacional. No Cenário A, a supressão dessa etapa transfere o esforço físico para a energia mecânica do caminhão-bomba.

Delimita-se o alcance desta dimensão: os indicadores aqui apresentados — Homem-hora e massa total movimentada manualmente — caracterizam demanda física e exposição laboral, mas não constituem Análise Ergonômica do Trabalho, que exigiria avaliação estruturada de posturas, frequências, distâncias e condições de levantamento (item 2.9).

3.4. Emissões associadas ao consumo de cimento

Utilizando o fator de emissão nacional do cimento Portland (564 kg de CO_2 por tonelada, SNIC, 2022) e o consumo mínimo normativo de cimento para concreto classe C25 pelo método ABCP (280 kg/m³, conforme critérios de durabilidade da NBR 12655, ABNT, 2022), quantificou-se a comparação apresentada na Tabela 10.

Tabela 10. Emissões de CO_2 associadas ao consumo de cimento, por cenário

Cenário	Consumo de cimento (kg/m³)	Emissão (kg CO_2/m³)	Emissão total (t CO_2)
A (piso normativo ABCP/NBR 12655)	280,00	157,90	5,83
B (traço UNEMAT, com perdas)	440,40	248,40	9,17

Fonte: elaborado pelos autores (2026), a partir do fator de emissão do SNIC (2022).

O Cenário B apresenta emissões associadas ao cimento 3,34 toneladas de CO_2 superiores às do Cenário A, acréscimo de aproximadamente 57%. O valor adotado para o Cenário A corresponde ao piso normativo mínimo de dosagem, não ao traço proprietário de uma concreteira específica; a diferença real pode ser menor, o que torna a estimativa conservadora.

É necessário delimitar com precisão a fronteira desta avaliação. O cálculo contabiliza exclusivamente as emissões decorrentes do consumo de cimento. Não foram incluídos o transporte em caminhão betoneira, a operação da central dosadora e o bombeamento, no

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Cenário A, nem o transporte dos materiais até o canteiro e a energia da betoneira, no Cenário B. Trata-se, portanto, de comparação de emissões por fronteira restrita ao cimento, e não de avaliação de pegada de carbono completa dos dois sistemas.

Adicionalmente, a produção *in loco* incorpora desperdício de 12% em agregados (Agopyan *et al.*, 1998), com passivo ambiental no próprio canteiro, onde sobras de areia e seixo podem ser contaminadas com solo ou carreadas pela chuva.

Cabe registrar que a diferença apurada decorre do consumo de cimento, e não da natureza industrializada ou artesanal do processo em si. Isso implica que estratégias de redução das emissões atuam sobre ambos os cenários: a substituição parcial do clínquer por materiais cimentícios suplementares — escória granulada de alto-forno, cinza volante ou metacaulim — reduz o fator de emissão do aglomerante independentemente do método de produção adotado (Habert *et al.*, 2020). Para o Cenário B, soma-se ainda o ganho potencial da redução das perdas de agregados em canteiro.

3.5. Análise de sensibilidade

Testou-se a variação unidirecional dos parâmetros de maior impacto sobre o resultado financeiro, mantendo os demais no valor-base, conforme a Tabela 11.

Tabela 11. Análise de sensibilidade unidirecional (Cenário B em relação ao Cenário A)

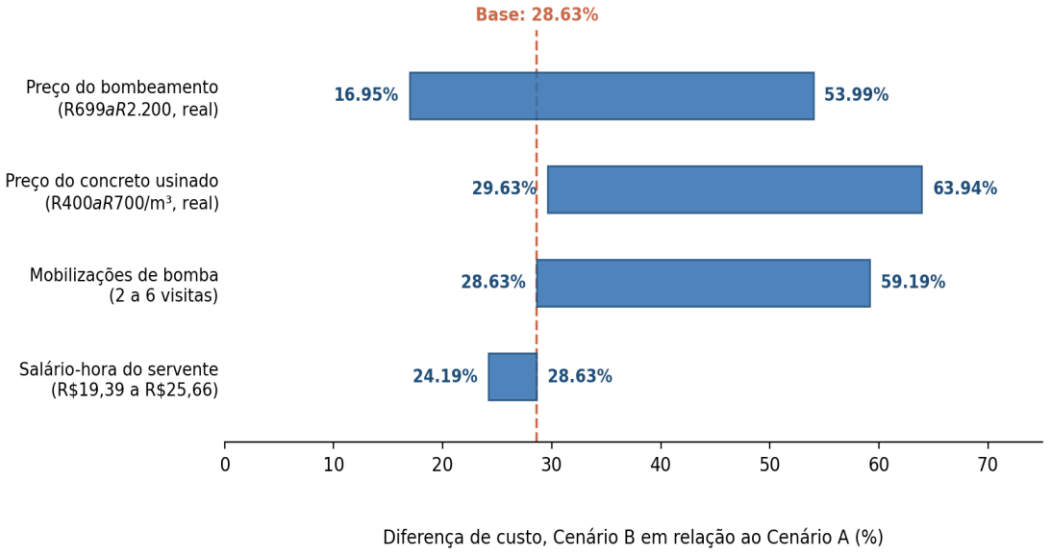
Parâmetro	Cenário testado	Diferença B em relação a A
Mobilizações de bomba	2 (mínimo testado)	59,19% mais caro
Mobilizações de bomba	4	42,29% mais caro
Mobilizações de bomba	6 (base adotada)	28,63% mais caro
Preço do concreto usinado	R$ 400,00/m³ (mínimo)	63,94% mais caro
Preço do concreto usinado	R$ 598,67/m³ (média, base)	28,63% mais caro
Preço do concreto usinado	R$ 700,00/m³ (máximo)	29,63% mais caro
Preço do bombeamento	R$ 699,00 (mínimo)	53,99% mais caro
Preço do bombeamento	R$ 1.633,00 (média, base)	28,63% mais caro
Preço do bombeamento	R$ 2.200,00 (máximo)	16,95% mais caro
Salário-hora do servente	R$ 19,39/h	24,19% mais caro
Salário-hora do servente	R$ 25,66/h (base)	28,63% mais caro
Produtividade da equipe (Cenário B)	−20% de Hh (equipe mais produtiva)	20,90% mais caro
Produtividade da equipe (Cenário B)	Coeficientes SINAPI (base)	28,63% mais caro
Produtividade da equipe (Cenário B)	+20% de Hh (equipe menos produtiva)	36,37% mais caro

Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Para visualização comparativa do impacto de cada parâmetro, os mesmos resultados são representados na Figura 4, em gráfico tornado, com os parâmetros ordenados pela amplitude de variação provocada no resultado.

Figura 4. Análise de sensibilidade unidirecional



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Em todos os cenários testados, o Cenário A manteve-se financeiramente mais vantajoso, com margem variando de 16,95% a 63,94%, a depender sobretudo do preço do bombeamento e do concreto usinado. O parâmetro de maior impacto foi o preço do bombeamento, seguido pelo preço do concreto usinado, ambos superando o número de mobilizações.

Testou-se também a sensibilidade à produtividade da própria equipe do Cenário B, variando em ±20% os coeficientes de Homem-hora das composições SINAPI. Ainda no cenário mais favorável ao método artesanal — equipe 20% mais produtiva que a referência oficial —, o Cenário A permanece 20,90% mais barato, o que indica que a vantagem econômica não decorre de uma premissa desfavorável de produtividade.

3.6. Volume crítico de equilíbrio econômico

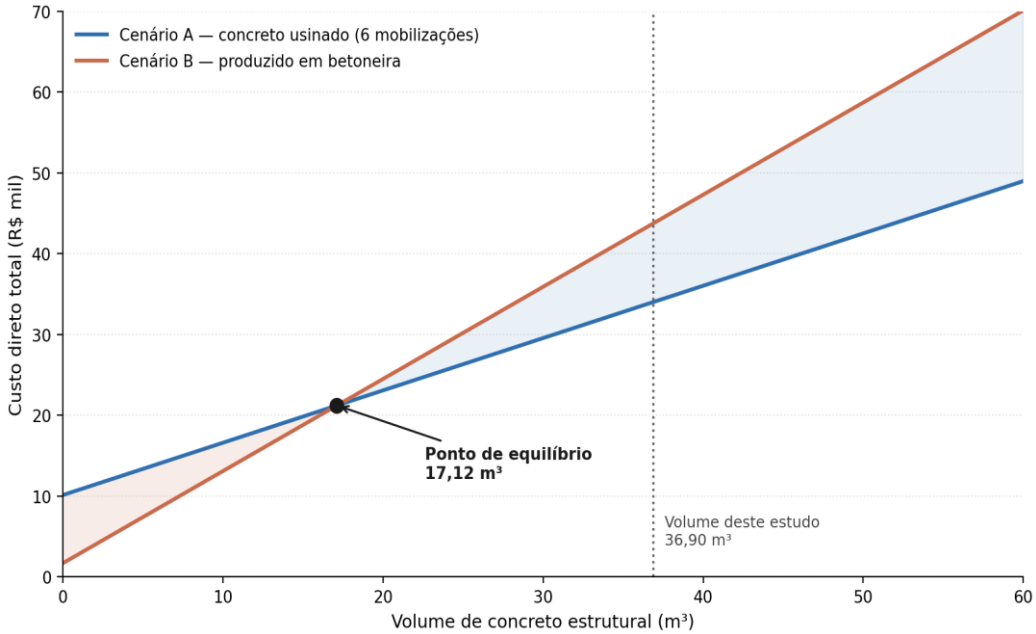
A vantagem econômica do concreto usinado não é independente da escala da obra. Como o custo do Cenário A incorpora uma parcela fixa relevante — a mobilização da bomba, cobrada por visita e não por volume —, enquanto o Cenário B tem custo predominantemente proporcional ao volume, existe um volume abaixo do qual a relação se inverte.

Igualando as equações de custo total dos dois cenários e resolvendo para o volume, obtém-se o volume crítico de equilíbrio. Para a premissa de seis mobilizações adotada neste estudo, esse

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

volume é de 17,12 m³: abaixo dele, o concreto produzido em betoneira torna-se financeiramente mais vantajoso; acima dele, a vantagem é do concreto usinado. A Figura 5 representa graficamente essa relação.

Figura 5. Ponto de equilíbrio econômico entre os cenários em função do volume de concreto



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

O volume deste estudo (36,90 m³) situa-se aproximadamente 2,15 vezes acima do volume crítico, o que explica a margem de 28,63% obtida no cenário-base e indica que a conclusão não é marginal.

A análise pode ser lida também pela ótica do número de mobilizações: mantido o volume de 36,90 m³, o Cenário A permanece mais barato até aproximadamente doze mobilizações, enquanto a sequência construtiva exige seis. Esse resultado delimita a aplicabilidade prática do modelo: para obras de volume reduzido, ou com fracionamento excessivo das concretagens, a conclusão não deve ser transposta sem recálculo.

3.7. Análise de sensibilidade probabilística (simulação de Monte Carlo)

A análise unidirecional testa um parâmetro por vez, sem capturar o efeito conjunto das incertezas. Executou-se, portanto, simulação de Monte Carlo com 100.000 iterações, implementada em linguagem Python com a biblioteca NumPy, utilizando gerador de números pseudoaleatórios com semente fixa para reprodutibilidade.

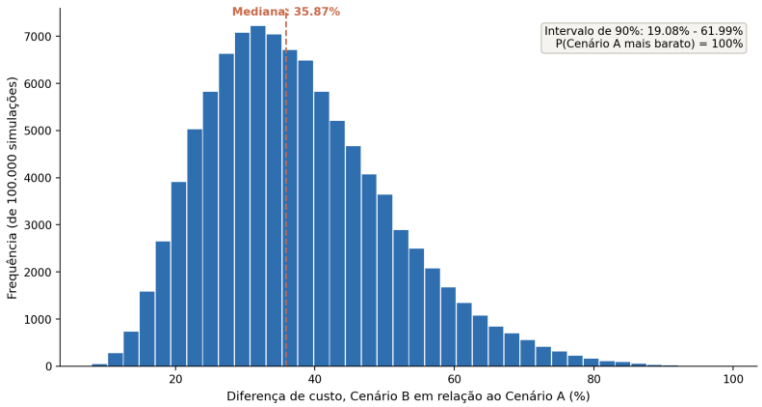
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

A cada iteração, sortearam-se: o preço do concreto usinado (distribuição triangular, R$ 400,00 a R$ 700,00, moda em R$ 598,67), o preço do bombeamento (triangular, R$ 699,00 a R$ 2.200,00, moda em R$ 1.633,00), a massa específica do cimento (uniforme, 3,05 a 3,11 kg/dm³) e o custo de controle tecnológico de cada cenário (triangulares, faixa de R$ 25,00 a R$ 30,00 por ruptura). Os demais parâmetros foram mantidos fixos, por corresponderem a dados da base SINAPI, a estimativas trianguladas com preços de mercado, ou a decisão estrutural determinada pelos prazos de cura.

O resultado indica diferença mediana de 35,87%, com intervalo de 90% de confiança entre 19,08% e 61,99%. A mediana simulada supera o cenário determinístico (28,63%) porque a distribuição triangular do preço do concreto usinado é assimétrica em torno da média das cotações, deslocando a mediana para cima — efeito esperado da propagação não linear de incertezas.

Em nenhuma das 100.000 combinações simuladas o Cenário B resultou mais barato que o Cenário A, conforme a distribuição da Figura 6.

Figura 6. Distribuição da diferença percentual de custo entre os Cenários B e A, simulação de Monte Carlo (100.000 iterações)



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

A forma aproximadamente normal e unimodal da distribuição, sem caudas cruzando o eixo de igualdade de custo, indica que a vantagem financeira do Cenário A se mantém ao longo da faixa plausível de variação conjunta dos parâmetros de mercado, dentro das premissas de volume e de número de mobilizações estabelecidas.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo comparou, por meio de modelagem paramétrica fundamentada em cotações reais de mercado e composições oficiais do SINAPI, a produção de concreto estrutural por dois métodos — concreto usinado bombeado e concreto produzido em betoneira estacionária — aplicados a uma proposta real de projeto estrutural para uma edificação em Belém, Pará.

Entre os indicadores efetivamente calculados, o Cenário B apresentou custo direto 28,63% superior ao do Cenário A (R$ 43.779,05 contra R$ 34.033,95), esforço de trabalho cerca de 7,4 vezes maior (479,90 Hh contra 65,13 Hh) e emissões associadas ao consumo de cimento aproximadamente 57% superiores (9,17 t contra 5,83 t de CO_2).

A análise de sensibilidade indicou que a vantagem se mantém em toda a faixa de cotações observada, com margem entre 16,95% e 63,94%, e a simulação de Monte Carlo confirmou essa estabilidade em 100.000 combinações. O volume crítico de equilíbrio, de 17,12 m³ para seis mobilizações, delimita a escala a partir da qual a conclusão se aplica.

Decorrem desses resultados, como inferências de natureza operacional, a menor exposição da equipe à movimentação manual de aproximadamente 88 toneladas de insumos e o menor risco técnico de formação de junta fria, derivado dos tempos de lançamento estimados. Essas inferências não foram objeto de medição experimental neste trabalho e devem ser interpretadas nesse limite.

Como contribuição metodológica, o estudo entrega um modelo de cálculo paramétrico, com constantes físicas e variáveis de mercado segregadas, replicável para outras regiões mediante substituição dos preços de insumos, salários-hora e coeficientes de produtividade locais, preservando a estrutura das Equações 1 a 6.

As limitações do estudo estão detalhadas no item 2.9 e compreendem: a estrutura de referência única; a defasagem de até dois meses entre as fontes de preço; a variabilidade entre fornecedores; a ausência de generalização para outras cidades amazônicas; a fronteira de sistema restrita ao cimento na avaliação ambiental; e o caráter de indicador de exposição, e não de diagnóstico ergonômico, da dimensão de demanda física.

Como agenda de pesquisa futura, recomenda-se a caracterização experimental dos agregados efetivamente comercializados em Belém para uso estrutural, particularmente quanto ao módulo de finura; a ampliação da fronteira da avaliação ambiental para contemplar transporte e operação de equipamentos; e a incorporação de materiais cimentícios suplementares como alternativa de redução das emissões associadas ao cimento.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Declarações

Conflito de interesses e financiamento: os autores declaram não haver conflito de interesses e informam que a pesquisa não contou com financiamento externo. Aprovação ética: por se tratar de modelagem paramétrica de cenários construtivos, sem coleta de dados de seres humanos ou de dados sensíveis, não se aplica a exigência de submissão a Comitê de Ética em Pesquisa.

Uso de Inteligência Artificial: este trabalho utilizou ferramenta de inteligência artificial generativa como apoio no desenvolvimento do manuscrito, nas seguintes finalidades: revisão do texto das seções redacionais, nos três idiomas; verificação de cálculos numéricos do consumo de materiais, dos custos diretos e da simulação probabilística e formatação conforme os padrões editoriais desta revista.

Todas as premissas metodológicas, os parâmetros de entrada, os resultados numéricos e as interpretações científicas foram definidos, revisados e validados pelos autores em cada etapa do

desenvolvimento, que assumem integral responsabilidade pela precisão das informações, pela validade científica, pela originalidade do conteúdo e pela integridade ética do trabalho, em conformidade com a Política de Uso de Inteligência Artificial da RECIMA21.

Disponibilidade de dados e material suplementar: os dados de custo e os coeficientes de produtividade, extraídos de bases públicas (SINAPI) e de registros primários dos autores, estão disponíveis mediante solicitação. As bases de entrada (Tabelas 2, 4, 5 e 6), as constantes físicas e o passo a passo dos cálculos (Equações 1 a 6) constam nas Seções 2 e 3, permitindo a reprodução dos resultados sem material suplementar adicional.

REFERÊNCIAS

AGOPYAN, V.; SOUZA, U. E. L.; PALIARI, J. C.; ANDRADE, A. C. **Alternativas para a redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras: relatório final**. São Paulo: EPUSP/PCC, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211:** Agregados para concreto — Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655:** Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931:** Execução de estruturas de concreto armado, protendido e com fibras — Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15696:** Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto — Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605:** Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16916:** Agregado miúdo — Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16917:** Agregado graúdo — Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16972:** Agregados — Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17054:** Agregados — Determinação da composição granulométrica — Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

BEZERRA, I. E. P.; ALMEIDA, D. G. **Análise comparativa entre argamassas de cimentos Portland variando o tipo de cimento (CP II-F-32, CP II-F-40 e CP V-ARI)**. Rio Verde: Universidade de Rio Verde, 2019. Disponível em: https://www.unirv.edu.br/conteudos/fckfiles/files/Analise%20Comparativa%20Entre%20Argamassas%20de%20Cimentos%20Portland%20Variando%20o.pdf. Acesso em: 28 jul. 2026.

BOLINA, F. L.; TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. **Patologia de estruturas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

BRANCO, Y. H. R. **Concretos dosados com agregados miúdos da cidade de Santarém/PA**. 2015. 74 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Processos Construtivos e Saneamento Urbano) — Universidade Federal do Pará, Belém, 2015. Disponível em: https://ppcs.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/2015/yverton.pdf. Acesso em: 12 ago. 2026.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. **Norma Regulamentadora nº 17 (NR-17): Ergonomia**. Brasília, DF: MTP, 2022.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Manual básico de indicadores de produtividade na construção civil**, v. 1. Brasília, DF: CBIC, 2017.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **SINAPI — Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil: relatório de custos de composições sintético, localidade Belém-PA, referência junho de 2026, regime desonerado**. Brasília, DF: CAIXA, 2026. Composições 92873, 92874, 93281, 93282, 94965 e insumos 88262, 88309, 88316, 88377. Disponível em: https://www.caixa.gov.br/site/paginas/downloads.aspx. Acesso em: 10 jul. 2026.

CARVALHO, G. S. C.; SANTOS, M. M. **Construção em parede de concreto moldado *in loco* com forma metálica**. 2012. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) — Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

CIMENTO ITAMBÉ. **Relatório de ensaios de cimento CP II-F-32, conforme ABNT NBR 16605**. *[S.l.]*: Itambé, mar. 2024.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

CYPE INGENIEROS. **Gerador de preços para construção civil: injeção de resinas em fissuras para reparação estrutural**. *[S.l.]*: Cype Ingenieros, 2024. Disponível em: http://www.brasil.geradordeprecos.info/reabilitacao/Estruturas/Concreto_armado/Reparacoes/EHY065_Injecao_de_resinas_em_fissuras__par.html. Acesso em: 28 jul. 2026.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2022.

HABERT, G.; MILLER, S. A.; JOHN, V. M.; PROVIS, J. L.; FAVIER, A.; HORVATH, A.; SCRIVENER, K. L. Environmental impacts and decarbonization strategies in the cement and concrete industries. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 1, p. 559-573, 2020. DOI: https://doi.org/10.1038/s43017-020-0093-3. Acesso em: 28 jul. 2026.

IIDA, I.; GUIMARÃES, L. B. M. **Ergonomia: projeto e produção**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais climatológicas do Brasil**. Brasília, DF: INMET, 2024. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/normais. Acesso em: 28 jul. 2026.

ISAIA, G. C. (ed.). **Concreto: ciência e tecnologia**. São Paulo: IBRACON, 2011. 2 v.

ISATTO, E. L.; FORMOSO, C. T.; DE CESARE, C. M.; HIROTA, E. H.; ALVES, T. C. L. **Lean construction: diretrizes e ferramentas para o controle de perdas na construção civil**. Porto Alegre: SEBRAE/RS, 2000.

MATTOS, A. D. **Como preparar orçamentos de obras**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

MATTOS, L. R. S.; DAL MOLIN, D. C. C.; CARNEIRO, A. M. P. Caracterização das argamassas para revestimento externo utilizadas em Belém/PA (Brasil): estudo do comportamento no estado fresco. **Revista Engenharia Civil UM**, n. 15, p. 63-74, 2002. Disponível em: https://www.civil.uminho.pt/revista/artigos/Num15/Pag_63-74.pdf. Acesso em: 12 ago. 2026.

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

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

PENICHE, K. F.; PINHEIRO, R. A. L. **Caracterização técnica dos agregados brita 0, pó de pedra e areia para fins de uso em concreto asfáltico: estudo de caso da obra do BRT Metropolitano de Belém**. 2023. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) — Universidade Federal do Pará, Belém, 2023. Disponível em: https://bdm.ufpa.br/server/api/core/bitstreams/3050d6d2-face-4a66-8e04-313cb9fdddec/content. Acesso em: 12 ago. 2026.

RIBEIRO, J. M.; SILVA, M. R. C.; CORDEIRO, L. N. P. Concretos autoadensáveis com agregado miúdo reciclado de concreto (AMRC). In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: ANTAC, 2018. p. 2749-2756. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/1685. Acesso em: 28 jul. 2026.

RODRIGUES, P. P. F. **Parâmetros de dosagem de concreto (ET-67)**. São Paulo: ABCP, 1995.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

SILVA, M. O. B. **Produção do concreto autoadensável (CAA) com a utilização de materiais da região de Belém-PA**. 2008. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Federal do Pará, Belém, 2008. Disponível em: https://www.ppgec.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/2008/marcelootaviano.pdf.pdf. Acesso em: 12 ago. 2026.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **Relatório de sustentabilidade e emissões de CO2 da indústria cimenteira brasileira**. Rio de Janeiro: SNIC, 2022. Disponível em: http://snic.org.br. Acesso em: 28 jul. 2026.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

ZARPELLON, C. S. de S.; SOUZA, M. G. de; OLIVEIRA, R. A. de; CHIOVETO, A. T.; TUSSOLINI, M.; RAMALHO, L. V.; FONSECA, G. D. B.; FERREIRA, M. D.; ARRUDA, E. M. Análise experimental para dosagem de concreto estrutural. **Caderno Pedagógico**, Curitiba, v. 21, n. 10, p. 1-27, 2024a. DOI: https://doi.org/10.54033/cadpedv21n10-179. Disponível em: https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/9219. Acesso em: 28 jul. 2026.

ZARPELLON, C. S. de S.; SILVA, G. V. S.; CHIOVETO, A. T.; OLIVEIRA, R. A.; TUSSOLINI, M.; RAMALHO, L. V.; FONSECA, G. D. B.; MAIA, A. H.; ANDRADE, K. L.; LAQUA, L. A. C.; FELETTI, R. C. G.; PRUDENCIO, G. S.; SILVA NETO, G. P.; OLIVEIRA, J. C. A.; RODRIGUES, V. F. Análise experimental: produção de concreto estrutural com aditivo líquido à base de óxido de grafeno. **Revista Caderno Pedagógico**, Curitiba, v. 21, n. 13, p. 1-28, 2024b. DOI: https://doi.org/10.54033/cadpedv21n13-449. Disponível em: https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/12831. Acesso em: 28 jul. 2026.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.