

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRAÇÃO LATINO-AMERICANA
INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E
TERRITÓRIO
ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA**

THAINÁ CAMILO PARAÍSO

**ESTUDO DE CASO: AVALIAÇÃO TÉCNICA DA DOSAGEM DE CONCRETO DE
UMA INDUSTRIA DE PRÉ-MOLDADOS EM MEDIANEIRA-PR**

Foz do Iguaçu - PR

2025

THAINÁ CAMILO PARAÍSO

**ESTUDO DE CASO: AVALIAÇÃO TÉCNICA DA DOSAGEM DE CONCRETO DE
UMA INDUSTRIA DE PRÉ-MOLDADOS EM MEDIANEIRA-PR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ana Carolina Parapinski Dos Santos

Foz do Iguaçu - PR

2025

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por me dar força, sabedoria e coragem para enfrentar cada desafio desta caminhada

Meu profundo agradecimento à minha mãe, Márcia, por seu amor incondicional, apoio e incentivo em cada etapa da minha vida. Ao meu pai, Murilo, que, mesmo não estando mais presente fisicamente, continua vivo em minhas lembranças e em tudo o que sou hoje. Seu exemplo e ensinamentos me acompanham e me dão forças para seguir em frente. Ao meu irmão, Danilo, por sua amizade, companheirismo e por sempre estar ao meu lado.

Ao meu companheiro, Lucas, por todo carinho, paciência e apoio durante essa jornada. Aos meus sogros e a toda a minha família, que sempre me incentivaram e me deram suporte, tornando essa conquista ainda mais significativa.

À minha orientadora, Ana Carolina, por sua orientação, dedicação e apoio durante o desenvolvimento deste trabalho. Sua paciência, conhecimento e incentivo foram essenciais para a realização deste estudo e para o meu amadurecimento pessoal e acadêmico.

Aos meus professores, por compartilharem seus conhecimentos, por sua dedicação e por me ajudarem a construir a profissional que sou hoje. Aos colegas de curso, pela parceria, apoio e pelas trocas de aprendizado ao longo dessa jornada.

Por fim, meu agradecimento aos colegas da fábrica de pré-moldados que me ajudaram durante a realização deste estudo, tornando possível a execução desta pesquisa.

RESUMO

O setor de cimento é um dos maiores emissores de dióxido de carbono no mundo, e a redução das emissões de CO₂ industriais é uma meta global para 2050. A adoção de medidas de eficiência energética e a utilização de materiais alternativos são essenciais para mitigar as emissões de carbono. No entanto, a indústria da construção civil ainda enfrenta desafios significativos na implementação de soluções eficazes de mitigação. Entre as estratégias, a redução no consumo de cimento se destaca como a abordagem mais eficiente. Para isso, é fundamental aprimorar as tecnologias de dosagem do concreto. Este trabalho teve como objetivo avaliar as propriedades do concreto utilizado na produção de elementos pré-moldados, com foco em aspectos técnicos e econômicos, em uma fábrica localizada na região oeste do Paraná. Os resultados indicaram que a implementação de ensaios rotineiros, como o abatimento do tronco de cone e a resistência à compressão, poderia melhorar significativamente o controle de qualidade do concreto. Foram identificadas falhas nas peças pré-moldadas, como trincas de retração e nichos de concreto, que impactam a durabilidade e resistência. A análise dos agregados revelou uma boa proximidade com a curva teórica de empacotamento, mas com algumas oscilações, indicando a necessidade de ajustes. A principal causa das variações nos valores de resistência e abatimento foi a inconsistência na medição da quantidade de água utilizada, um fator essencial para a qualidade do concreto. A falta de precisão na medição e a correção empírica do teor de umidade da areia ressaltam a importância de um controle mais rigoroso para garantir a eficiência do processo e a qualidade final do produto.

Palavras-chave: Concreto; Dosagem; Estudo de Viabilidade Técnica; Industrialização; Pré-moldados; Industrialização.

RESUMEN

El sector del cemento es uno de los mayores emisores de dióxido de carbono en el mundo, y la reducción de las emisiones industriales de CO₂ es un objetivo global para 2050. La adopción de medidas de eficiencia energética y el uso de materiales alternativos son esenciales para mitigar las emisiones de carbono. Sin embargo, la industria de la construcción todavía enfrenta desafíos significativos en la implementación de soluciones de mitigación efectivas. Entre las estrategias, la reducción del consumo de cemento destaca como el enfoque más eficiente. Para ello, es fundamental mejorar las tecnologías de dosificación del hormigón. Este trabajo tuvo como objetivo evaluar las propiedades del hormigón utilizado en la producción de elementos prefabricados, con enfoque en aspectos técnicos y económicos, en una fábrica ubicada en la región oeste de Paraná. Los resultados indicaron que la implementación de ensayos rutinarios, como el abatimiento del tronco de cono y la resistencia a la compresión, podría mejorar significativamente el control de calidad del hormigón. Se identificaron fallas en las piezas prefabricadas, como grietas de retracción y nichos de hormigón, que afectan la durabilidad y resistencia. El análisis de los agregados reveló una buena proximidad con la curva teórica de embalaje, pero con algunas oscilaciones, lo que indica la necesidad de ajustes. La principal causa de las variaciones en los valores de resistencia y abatimiento fue la inconsistencia en la medición de la cantidad de agua utilizada, un factor esencial para la calidad del hormigón. La falta de precisión en la medición y la corrección empírica del contenido de humedad de la arena subraya la importancia de un control más riguroso para garantizar la eficiencia del proceso y la calidad final del producto.

Palabras clave: Dosificación; Estudio de viabilidad técnica; Hormigón; Industrialización; Prefabricados.

ABSTRACT

The cement sector is one of the largest emitters of carbon dioxide in the world, and the reduction of industrial CO₂ emissions is a global goal for 2050. The adoption of energy efficiency measures and the use of alternative materials are essential to mitigate carbon emissions. However, the construction industry still faces significant challenges in implementing effective mitigation solutions. Among the strategies, reducing cement consumption stands out as the most efficient approach. To achieve this, it is essential to improve concrete dosing technologies. This study aimed to evaluate the properties of concrete used in the production of precast elements, focusing on technical and economic aspects, at a factory located in the western region of Paraná. The results indicated that the implementation of routine tests, such as slump and compressive strength tests, could significantly improve the quality control of concrete. Failures in precast elements were identified, such as shrinkage cracks and concrete voids, which affect durability and strength. The analysis of aggregates showed a good proximity to the theoretical packing curve, but with some fluctuations, indicating the need for adjustments. The main cause of variations in strength and slump values was the inconsistency in measuring the amount of water used, an essential factor for concrete quality. The lack of precision in measurement and the empirical correction of the sand moisture content emphasize the importance of stricter control to ensure process efficiency and the final product's quality.

Keywords: Concrete; Dosing; Industrialization; Precast; Technical Feasibility Study.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas do método.....	22
Figura 2 - Baía de agregados.....	25
Figura 3 - Silo de cimento.....	25
Figura 4 - Reservatórios de agregados.....	26
Figura 5 - Misturadora automática.....	26
Figura 6 - Esteiras transportadoras.....	27
Figura 7 - Peça pré-moldada com nicho de concreto.....	29
Figura 8 - Peça com trinca de retração.....	29
Figura 9 - Perfil granulométrico da areia.....	30
Figura 10 - Perfil granulométrico da granilha.....	31
Figura 11 – Perfil granulométrico da brita 0.....	32
Figura 12 - Perfil granulométrico da brita 1.....	33
Figura 13 - Composição granulométrica dos agregados - Traço A.....	34
Figura 14 - Composição granulométrica dos agregados - Traço B.....	34
Figura 15 - Distribuição normal da resistência - Traço A.....	37
Figura 16 - Distribuição normal do abatimento - Traço A.....	37
Figura 17 - Distribuição normal da resistência - Traço B.....	38
Figura 18 - Distribuição normal do abatimento - Traço B.....	38
Figura 19 - Abatimento x resistência - Lote 1.....	39
Figura 20 - Abatimento x resistência - Lote 2.....	40
Figura 21 - Abatimento x resistência - Lote 3.....	40
Figura 22 - Abatimento x Resistência - Traço A.....	40
Figura 23 - Temperatura x resistência - Traço A.....	41
Figura 24 - Umidade x resistência - Traço A.....	41
Figura 25 - Abatimento x resistência - Traço B.....	41
Figura 26 - Temperatura x resistência - Traço B.....	42
Figura 27 - Umidade x resistência - Traço B.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dias monitorados	24
Tabela 2 - Traço A.....	27
Tabela 3 - Traço B.....	27
Tabela 4 - Granulometria da areia.....	30
Tabela 5 - Granulometria da granilha.....	31
Tabela 6 - Granulometria da brita 0.....	32
Tabela 7 - Granulometria da brita 1.....	33
Tabela 8 - Controle tecnológico - Traço A.....	35
Tabela 9 - Controle tecnológico - Traço B.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
UNILA	Universidade Federal da Integração Latino-Americana
NBR	Norma Brasileira
ISO	Organização Internacional para Padronização
CP	Cimento Portland
IBRACON	Instituto Brasileiro do Concreto
SNIC	Sindicato Nacional da Indústria do Cimento
IEA	Agência Internacional de Energia
MPa	Megapascal
Fck	Resistência característica do concreto à compressão

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 INDÚSTRIA DE PRÉ-MOLDADOS	14
3.2 CONTROLE DE QUALIDADE DO CONCRETO	15
3.2.1 Água	16
3.2.2 Cimento e sustentabilidade	17
3.2.3 Empacotamento de partículas	18
3.2.4 Agregado miúdo	19
3.2.4.1 Granilha.....	19
3.2.5 Agregado graúdo	20
3.2.6 Aditivos e adições	20
3.2.6.1 Pó de pedra.....	21
4 METODOLOGIA	22
4.1 RECONHECIMENTO DA FÁBRICA	22
4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS.....	23
4.3 CONTROLE TECNOLÓGICO	23
4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	24
5 RESULTADOS	25
5.1 RECONHECIMENTO DA FÁBRICA	25
5.2 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS.....	29
5.2.1 Areia	30
5.2.2 Granilha	31
5.2.3 Brita 0	32
5.2.4 Brita 1	33
5.2.5 Distribuição granulométrica por ponderabilidade em massa	33
5.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS DE CONTROLE TÉCNICO	35
5.3.1 Realidade em Medianeira e região	43
CONCLUSÕES	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

1 INTRODUÇÃO

O setor do cimento é um dos que mais emitem gás carbônico no mundo (SNIC, 2021). A redução da emissão de CO₂ industrial é um dos objetivos para 2050 e medidas de eficiência energética e de materiais são alavancas para a mitigação da emissão de gás carbônico, dentre elas, se incluem a implantação de melhores tecnologias na construção civil (AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA, 2023).

A construção civil é um setor considerado pouco industrializado se comparado a outros ramos e um dos meios de melhorar a sua eficiência é com o uso de elementos pré-fabricados de concreto (DEBS, 2021).

A utilização de estruturas pré-fabricadas e pré-moldadas de concreto é benéfica devido a sua racionalidade, diminuição do tempo de execução da obra (WAGNER; CORRÊA; FREITAS, 2022), redução de resíduos na construção e o aumento da qualidade nas obras, por meio de controle tecnológico e mão de obra especializada (DEBS, 2021; SERRA; FERREIRA; PIGOZZO, 2005).

Entretanto, se os aspectos técnicos de produção não forem atendidos, estes elementos podem apresentar risco, com peças sem qualidade e com baixa resistência (SILVA; VALIN JR, 2014). De acordo com Fiori (2022), diversos estudos identificaram falhas e patologia causadas no processo de produção de empresas de pré-fabricados.

As perdas na construção civil devem ser evitadas, pois representam desperdícios de recursos, como materiais, equipamentos, capital e mão de obra, que ultrapassam o necessário para a execução da obra (FORMOSO et al., 1997). Dessa forma, a indústria de pré-fabricados deve adotar métodos de produção racionalizada na execução de suas peças.

Assim, a inspeção da dosagem do concreto é essencial para o controle que deve ser realizado das peças, visando garantir níveis de qualidade e conformidade adequados (DIREITINHO, 2015). Assim sendo, se faz necessária a disseminação de conhecimento técnico e tecnologias às empresas para que consigam apresentar qualidade satisfatória e economia em suas produções.

2 OBJETIVOS

Este trabalho teve por objetivo avaliar as propriedades do concreto utilizado em elementos pré-moldados, visando eficiência técnica, econômica e ambiental em uma fábrica da região do Oeste do Paraná.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Avaliar o ambiente fabril e o método de dosagem;
- b) Avaliar as propriedades do concreto no estado fresco e endurecido;
- c) Estimar a variabilidade dos materiais e da dosagem;
- d) Propor alternativas para melhorar a eficiência técnica, econômica e ambiental.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A indústria de pré-moldados tem um papel fundamental na construção civil, oferecendo soluções eficientes que combinam qualidade, racionalização e produtividade. Para compreender esse setor, é essencial conhecer os processos produtivos, os materiais utilizados e os métodos de controle tecnológico aplicados à produção do concreto. Adiante será abordada a diferença entre pré-moldados e pré-fabricados, os principais aspectos do controle de qualidade do concreto, incluindo a influência dos insumos como água, cimento, agregados e aditivos. O objetivo é apresentar uma visão abrangente sobre os desafios e benefícios dessa indústria, destacando práticas que garantem melhor desempenho dos elementos produzidos.

3.1 INDÚSTRIA DE PRÉ-MOLDADOS

Para compreender a indústria de pré-moldados, é fundamental, antes de tudo, diferenciar os conceitos envolvidos. Todo pré-fabricado é um pré-moldado. A principal distinção entre os dois termos está no controle do processo produtivo. O pré-moldado refere-se a elementos fabricados sem um controle rigoroso de qualidade, enquanto o pré-fabricado segue um padrão mais industrializado. Esse processo envolve o uso de máquinas e equipamentos que garantem maior racionalização e eficiência, além de contar com mão de obra treinada, controle rigoroso de qualidade, matéria-prima caracterizada e cura controlada por temperatura, de acordo com a NBR 9062 (ABNT, 2017).

O sistema construtivo de concreto pré-moldado surgiu com a industrialização (DEBS, 2021), e teve sua primeira aplicação em uma grande obra no Brasil em 1926, durante a execução do Hipódromo da Gávea, no Rio de Janeiro (JORGE, 2018). A construção foi realizada por uma empresa dinamarquesa com filial no Brasil, utilizando diversos elementos pré-moldados, como estacas na fundação e cercas no perímetro do terreno. Esse sistema tem como objetivo superar desafios recorrentes da indústria da construção civil, tais como baixa produtividade, desperdício de insumos, falta de controle de qualidade e demora na execução (DEBS, 2021).

Os elementos pré-moldados oferecem diversas vantagens para a construção civil, principalmente no que diz respeito à racionalização dos processos (ACKER; FERREIRA, 2003). Entre os principais benefícios do concreto pré-moldado, destacam-se o melhor desempenho técnico, devido ao controle de qualidade

rigoroso aplicado aos insumos, processos e produtos finais; a redução no tempo de construção, uma vez que os elementos podem ser produzidos antecipadamente sem interferir nas etapas anteriores da obra; e a minimização do desperdício de materiais e resíduos, favorecida pelo ambiente fabril, que permite otimização dos processos, melhor controle da relação água/cimento, cura controlada e mistura eficiente. Além disso, a mão de obra empregada nesse sistema é mais qualificada e trabalha em melhores condições, já que a produção ocorre em ambientes cobertos, sem interferência do clima, e com concretos que atingem a cura rapidamente (ACKER, 2002; DEBS, 2021).

Outra vantagem relevante, que se alinha às demandas do mercado da construção civil, é a adaptabilidade e flexibilidade dos elementos pré-moldados. Certos tipos de edificações exigem que suas divisões internas sejam facilmente modificáveis, permitindo reconfigurações sem necessidade de demolições, o que também se aplica às fachadas dessas estruturas (ACKER, 2021). Exemplos de construções que se beneficiam dessa característica incluem mercados, escritórios e depósitos.

No entanto, o uso do concreto pré-moldado também apresenta algumas desvantagens. Entre elas, destaca-se o alto custo inicial das formas, que, apesar de representar um investimento significativo no início, tende a ser compensado a longo prazo. Outras limitações incluem a tributação específica do setor e as dificuldades relacionadas ao transporte e à instalação dos elementos (DEBS, 2021).

Os elementos pré-moldados possuem ampla aplicabilidade na construção civil, podendo ser moldados tanto em fábricas quanto na própria obra. No entanto, quando produzidos no canteiro, são confeccionados fora da posição final de instalação (DEBS, 2021). Eles podem ser fabricados com protensão, possibilitando vencer grandes vãos, ou com concreto autoadensável, eliminando a necessidade de vibração (ACKER; FERREIRA, 2003). Exemplos de elementos que podem ser produzidos com concreto pré-moldado são: vigas, pilares, lajes, fundações, postes, tubos de drenagem, placas de fechamento. Essa versatilidade torna o concreto pré-moldado uma alternativa eficiente e viável para diversos tipos de construções.

3.2 CONTROLE DE QUALIDADE DO CONCRETO

Muitas variáveis são capazes de alterar as características do concreto, e por isso se deve a preocupação sobre o controle de seu processo produtivo

(DIREITINHO, 2015). A dosagem do concreto deve ser revisada sempre que houver alteração na origem ou qualidade dos agregados, assim como no tipo de cimento utilizado, conforme determina a NBR 12655 (ABNT, 2022a).

A NBR ISO 9001 (ABNT, 2024a) sobre sistemas de gestão de qualidade traz alguns processos necessários para o sistema de gestão de qualidade, como:

- a) Detecção dos processos essenciais para o desenvolvimento de gestão de qualidade;
- b) Definição de mecanismos que garantam a efetividade do controle e planejamento dos procedimentos;
- c) Alimentar recursos e informações para que fiquem à disposição, auxiliando na fiscalização do processo;
- d) Fiscalizar o processo;
- e) Instalar atividades necessárias para assegurar os resultados pretendidos.

Adiante serão discutidas maneiras de implementar estes processos em fábricas de pré-moldados.

3.2.1 Água

A água exerce grande influência na resistência do concreto, o teor de água é a variável mais significativa que pode afetar a resistência a compressão (LOPES et al., 2024), podendo reduzi-la significativamente quando utilizada de forma excessiva e sem controle (PARK; RYU; PARK, 2024), o excesso de água no concreto fresco se traduz em porosidade quando endurecido, afetando a resistência e durabilidade do mesmo (HOVER, 2011).

Na dosagem de concreto é importante considerar a umidade incorporada nos agregados, pois a mesma o que pode comprometer a relação água/cimento e, conseqüentemente, a qualidade do concreto (PANDA; SARKAR; DAVIS, 2020). Para minimizar esse problema, recomenda-se armazenar os agregados em baias pavimentadas em concreto com caimento para drenagem da água presente no material e aferir a umidade dos agregados miúdos antes da dosagem, como descrito na NBR 7212 (ABNT, 2024b), permitindo a devida correção e garantindo maior precisão na proporção dos materiais. Dessa forma, assegura-se o atendimento aos critérios estabelecidos pela NBR 12655 (ABNT, 2022a), que regulamenta a produção e controle do concreto de cimento Portland.

3.2.2 Cimento e sustentabilidade

O concreto pré-moldado desempenha um papel fundamental no aumento da produção e comercialização do Cimento Portland (AGOPYAN, 2018), uma vez que a indústria de pré-fabricados tem como principal insumo o concreto (GONÇALVES; CAMPOS, 2021). Em 2021, o volume de cimento destinado à produção de elementos pré-moldados no país atingiu 1.893 mil toneladas (SNIC, 2021). O Quadro 1 apresenta o consumo de cimento pelas diferentes regiões do Brasil e seus respectivos canais de consumo.

Diante da crescente preocupação com sustentabilidade e impactos ambientais na construção civil, tem-se buscado otimizar o consumo de materiais e energia, além de reduzir a geração de resíduos (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, [s.d.]). Nesse contexto, a indústria cimenteira já vem adotando medidas para minimizar suas emissões ao longo das últimas décadas (AGOPYAN, 2018). Um exemplo disso é a nova norma NBR 16697 – Cimento Portland – Requisitos (ABNT, 2018a), que trouxe mudanças na composição dos cimentos, aumentando o teor de fíler calcário e reduzindo o clínquer (ABCP, 2018; SNIC, 2021). Essas alterações resultam diretamente na diminuição das emissões de CO₂ por tonelada de cimento produzido (ABCP, 2018; AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA, 2023).

Quadro 1 - Perfil da distribuição do cimento Portland consumido, segundo as regiões geográficas em 2021 (em mil toneladas)

Canal de Distribuição e de Consumo <i>Intermediate Destination</i>	Quantidade Consumida nas Regiões / <i>Regional Consumption</i>					
	Norte <i>North</i>	Nordeste <i>Northeast</i>	C.Oeste <i>Middlewest</i>	Sudeste <i>Southeast</i>	Sul <i>South</i>	Brasil <i>Brazil</i>
1 - Revendedores/Retail Sales	2.877	8.802	4.249	12.413	5.265	33.606
2 - Consumidores Industriais/Concrete Product Manufacturers	428	1.978	1.568	8.923	6.041	18.938
I - Concreto/Ready-Mixed Concrete	240	991	1.071	5.541	3.694	11.537
II - Fibrocimento/Fiber Cement	35	158	190	1.115	844	2.342
III - Pré - Moldados/Pre-Cast	48	425	84	1.071	265	1.893
IV - Artefatos/Cement Masonry Units	80	209	162	697	1.072	2.220
V - Argamassas/Mortar	25	195	61	499	166	946
3 - Consumidores Finais/Finals Consumers	371	2.119	635	1.621	748	5.494
I - Construtoras e Empreiteiras/Contractors	371	2.119	635	1.612	748	5.485
II - Órgãos Públicos e Estatais/Government	-	-	-	9	-	9
III - Prefeituras/City Hall	-	-	-	-	-	-
4 - Importação/Imports	-	11	-	98	42	151
Sub-Total Brasil	3.676	12.910	6.452	23.055	12.096	58.189
Ajustes*/Adjustments*	210	1.249	-	4.812	64	6.335
Total Brasil	3.886	14.159	6.452	27.867	12.160	64.524

Fonte: Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (2021).

Outra estratégia para a mitigação dos impactos ambientais é a redução da quantidade de cimento por metro cúbico de concreto (AGOPYAN, 2018). A indústria do concreto tem avançado significativamente nesse sentido, aprimorando processos de dosagem e incorporando novos tipos de adições e aditivos, contribuindo para um uso mais eficiente dos recursos e para a sustentabilidade do setor (IBRACON, 2018).

O cimento de alta resistência inicial (CP V-ARI) é muito utilizado dentro da indústria de pré-moldados, visto que atinge alta resistência em um período curto, o que é essencial para uma desforma rápida, visto que aumenta a eficiência de produção. Entretanto não é o único cimento possível de ser utilizado, os cimentos compostos com fíler (CP-II-F), pozolana (CP-II-Z) são comuns na região e podem ser aplicados nos pré-moldados, apesar de não possuírem a mesma velocidade de desforma que o CP V – ARI.

3.2.3 Empacotamento de partículas

O empacotamento de partículas é um conceito fundamental otimização da dosagem de concreto. Ele se baseia na ideia de que partículas de diferentes tamanhos podem se acomodar de maneira eficiente, reduzindo o volume de vazios e aumentando a densidade da mistura (FUNK; DINGER, 1994). Esse princípio é essencial para a produção de concretos mais econômicos, resistentes e duráveis, pois permite minimizar o uso de pasta de cimento sem comprometer a trabalhabilidade e a resistência mecânica(FURNAS, 1931).

No Modelo de Empacotamento de Alfred, o expoente q representa o coeficiente de distribuição granulométrica, ou seja, a forma como as partículas de diferentes tamanhos estão distribuídas na mistura (FUNK; DINGER, 1994). Esse parâmetro influencia diretamente a compactação do sistema e o volume de vazios entre os grãos (GOES et al., 2020).

O valor q controla a quantidade relativa de partículas finas e grossas na distribuição dos agregados, impactando diretamente a densidade e a trabalhabilidade do concreto, sendo que um q baixo proporciona um aumento da proporção de partículas finas, já um q alto demonstra predominância de partículas grossas (CAMPOS et al., 2021).

O coeficiente de distribuição granulométrica ótima é $q=0,37$, pois proporciona um empacotamento eficiente, garantindo a máxima densidade, menor volume de

vazios e redução do consumo de pasta de cimento (CAMPOS et al., 2021; FUNK; DINGER, 1994; GOES et al., 2020).

Portanto, o expoente q define a proporção entre partículas de diferentes tamanhos e afeta diretamente a estrutura granular, a compactidade e o desempenho mecânico do concreto (FUNK; DINGER, 1994). A escolha adequada desse parâmetro é essencial para otimizar misturas cimentícias, garantindo melhor desempenho estrutural e maior eficiência na utilização dos materiais.

3.2.4 Agregado miúdo

A variação da granulometria do agregado miúdo, como a areia, é um fator importante na dosagem do concreto, pois influencia diretamente a demanda de água. Areias com partículas de menor granulometria apresentam uma maior área de superfície específica, em relação ao volume total, aumentando a demanda de água para garantir o recobrimento e a lubrificação adequada da mistura, de modo a preservar sua trabalhabilidade (OTHMAN et al., 2018).

A NBR 7211 (ABNT, 2022b) determina intervalos granulométricos como zonas ótimas e zonas utilizáveis. Apesar da granulometria da areia ser de grande importância, as características do material dependem da disponibilidade de mercado, a areia vem das jazidas próximas e a granulometria é influenciada pelo próprio rio, nem sempre haverá a mesma disposição granulométrica, visto que ocorrem mudanças devido as chuvas.

A granulometria dos sedimentos fluviais é fortemente influenciada pela quantidade de precipitação, com chuvas leves favorecendo sedimentos mais finos e chuvas intensas resultando em sedimentos mais grossos. Outros fatores, como processos eólicos, topografia e geologia, também desempenham papéis significativos na determinação da granulometria dos sedimentos (VAN DONGEN et al., 2019).

A água incorporada no agregado no momento da dosagem também é um fator relevante, como já foi citado anteriormente, para que não ocorra o uso excessivo de água na dosagem, é necessária a aferição da umidade na areia, que pode ser realizada medindo o peso da areia antes e depois de seca.

3.2.4.1 Granilha

É um agregado miúdo com granulometria essencialmente composta de grãos que ficam retidos na peneira 2,36mm, em sua composição pode-se encontrar

também pó de pedra. Sua função é melhorar a composição de agregado miúdo final na dosagem.

3.2.5 Agregado graúdo

O agregado graúdo é comercializado em diversas faixas de granulométricas. Segundo a NBR 7211 (ABNT, 2022b), esses materiais são separados entre 5 zonas. A escolha da granulometria adequada depende da finalidade do concreto, sendo que a densidade da armadura na estrutura também influencia na seleção do tamanho da brita. Em elementos esbeltos, como placas de fechamento, costumam-se utilizar granulometrias menores. Além disso, agregados especiais, como a granilha, podem ser empregados quando se necessita de partículas ainda menores que as da brita 0.

O aumento da porcentagem de agregados graúdos de 25mm na mistura, desde que estejam empacotados, leva a uma maior resistência a compressão, porém, reduz a trabalhabilidade do concreto (OKONKWO et al., 2023). Portanto, a escolha adequada da faixa granulométrica do agregado graúdo é essencial para garantir a qualidade da dosagem e o desempenho do concreto.

3.2.6 Aditivos e adições

A utilização de aditivos que melhorem a qualidade do concreto no estado fresco é essencial na indústria de pré-moldados, onde a fluidez, a coesão e o tempo de desforma são fatores críticos para a produtividade e a qualidade das peças.

Entre os aditivos químicos mais utilizados, os plastificantes e superplastificantes desempenham um papel fundamental na trabalhabilidade do concreto. A utilização desse aditivo permite reduzir o consumo de cimento, pois se a trabalhabilidade for regulada com o uso de aditivo e não somente água, se reduz a quantidade de água e conseqüentemente com a relação água cimento se mantendo constante, reduz o cimento (SMIRNOVA, 2016).

Além dos aditivos químicos, a incorporação de pós minerais como metacaulim, escória e cinzas volantes pode reduzir o teor de clínquer no cimento, diminuindo as emissões de CO₂ e o consumo de energia durante a produção (CASSAGNABÈRE et al., 2010).

3.2.6.1 Pó de pedra

O pó de pedra é uma areia artificial. A sua utilização, preenche os vazios entre os agregados finos e grossos, resultando em menor permeabilidade e maior durabilidade do concreto (HUMAYUN et al., 2021)

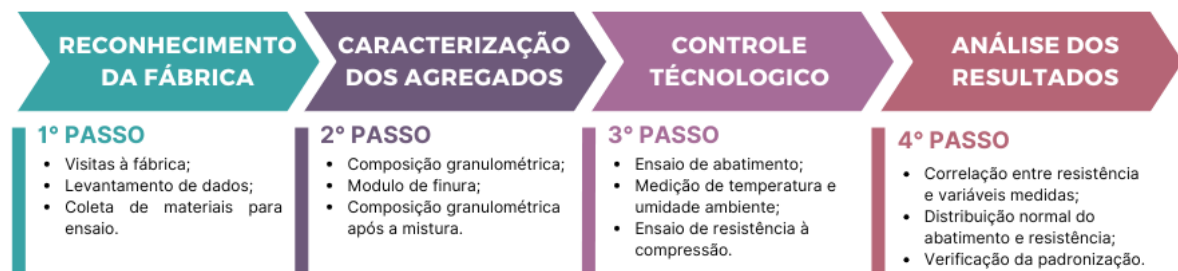
A substituição de 30% da areia natural por pó de pedra melhora as propriedades mecânicas e a durabilidade do concreto, além de reduzir a energia e o carbono incorporados. Essa prática também contribui para a diminuição do custo do material, tornando-se uma alternativa econômica e sustentável (GUPTA et al., 2019).

4 METODOLOGIA

A avaliação técnica realizada em uma fábrica de pré-moldados, localizada em Medianeira – PR, consistiu em um processo sistemático voltado para a verificação da conformidade dos materiais, a eficácia do controle tecnológico empregado na produção do concreto e a uniformidade das propriedades do concreto produzido, o que reflete no grau de padronização.

Esta avaliação é essencial para garantir a qualidade dos elementos fabricados, verificando sua adequação às normas técnicas vigentes e identificando possíveis fatores que influenciem seu desempenho. Para isso, a análise foi dividida em 4 etapas (figura 1) que seguiram uma abordagem estruturada, permitindo a obtenção de informações detalhadas sobre cada aspecto do processo produtivo.

Figura 1 - Etapas do método



Fonte: Autor (2025)

4.1 RECONHECIMENTO DA FÁBRICA

A primeira etapa envolveu o reconhecimento da fábrica, incluindo o levantamento de dados sobre a infraestrutura, os equipamentos disponíveis, os materiais utilizados e os procedimentos operacionais. Durante essa fase, foram realizadas duas visitas técnicas para observação direta das condições da unidade produtiva, permitindo uma visão geral do funcionamento da produção dos pré-moldados. Foram levantadas informações sobre:

- a) Tipo de cimento e agregados utilizados e como são armazenados;
- b) Forma de abastecimento da misturadora e qual o seu modo de operação e capacidade;
- c) Método de dosagem dos agregados, cimento e água: peso ou volume;
- d) Características dos traços produzidos: quantidade de traços, dosagens, relação a/c, consumo de cimento por volume de concreto e rendimento;
- e) Verificação se há correção da água e areia devido à umidade presente no agregado miúdo;

- f) Método utilizado para medição da umidade da areia;
- g) Ensaios realizados para verificar a aceitabilidade do concreto;
- h) Método de adensamento do concreto nas formas;
- i) Principais falhas encontradas nas peças produzidas.

Foram, também, coletadas amostras dos agregados utilizados na produção do concreto. A amostragem seguiu os procedimentos normativos estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT, 2022b), garantindo a representatividade e a precisão dos resultados obtidos nos ensaios laboratoriais subsequentes.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

Na segunda etapa, foi realizada a caracterização dos insumos empregados na fabricação do concreto. As amostras dos agregados foram submetidas a ensaios laboratoriais conforme as diretrizes da NBR 7211 (ABNT, 2022b), para determinação da composição granulométrica e do módulo de finura. Adicionalmente foi realizada a distribuição granulométrica considerando a composição dos agregados graúdos e miúdos constituintes dos traços. Essa distribuição foi comparada com o modelo de empacotamento de partícula de Alfred, utilizando o módulo de distribuição $q=0,37$ que é o que proporciona melhor empacotamento na mistura (ORTEGA et al., 1997).

4.3 CONTROLE TECNOLÓGICO

A terceira etapa do estudo consistiu na análise do controle tecnológico aplicado na produção do concreto e na avaliação da resistência mecânica do material. Entre janeiro e março de 2024, foram realizadas as moldagens dos corpos de prova representativos do concreto utilizado na fábrica, além da medição da temperatura e umidade ambiente no momento da produção do concreto e do ensaio de abatimento do tronco de cone para avaliar a trabalhabilidade.

O monitoramento foi realizado por meio da análise de todas as betonadas efetuadas nos dias selecionados aleatoriamente ao longo de um período de 8 semanas. No entanto, em algumas semanas, não houve levanta de dados como mostra a tabela 1. Ao todo, o monitoramento abrangeu 9 dias de observação. Nas semanas 7 e 8 não foram moldados exemplares para o ensaio de resistência a compressão.

Tabela 1 - Dias monitorados

Semana	Quantidade de dias monitorados
1 ^a	2
2 ^a	0
3 ^a	1
4 ^a	1
5 ^a	2
6 ^a	0
7 ^a	1
8 ^a	1

Fonte: Autor (2025)

O ensaio de abatimento seguiu as diretrizes da NBR 16889 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (ABNT, 2020), enquanto os corpos de prova moldados (cilíndricos de 10x20 cm) foram submetidos aos ensaios de resistência à compressão diametral aos 28 dias, conforme a NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos (ABNT, 2018b).

4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Por fim, a última etapa consistiu na distribuição normal da resistência à compressão e abatimento do concreto, para avaliação da dispersão dos resultados e na comparação dos valores de resistência à compressão com as variáveis de abatimento, temperatura e umidade no momento da produção, por meio de representações gráficas, com o objetivo de identificar possíveis fatores influentes no desempenho do concreto.

Dessa forma, a metodologia adotada possibilitou a condução de uma análise detalhada dos materiais e do processo produtivo da fábrica, permitindo a verificação da conformidade dos insumos, dos traços de concreto e do controle tecnológico com as normas vigentes, além da identificação de eventuais variáveis que impactaram a resistência do concreto dos elementos pré-moldados.

5 RESULTADOS

Os resultados estão a seguir, em 3 partes:

5.1 RECONHECIMENTO DA FÁBRICA

Quanto ao manuseio e armazenamento dos materiais, observou-se que os agregados (brita 0, brita 1, granilha e areia) são armazenados em baias descobertas (figura 2) e transportados diariamente até o reservatório da central dosadora, por meio de uma pá carregadeira. O cimento utilizado na produção é o Portland CP V-ARI, armazenado em silo (figura 3), com capacidade de 38 toneladas, o que garante maior durabilidade e proteção contra umidade.

Figura 2 - Baia de agregados



Fonte: Autor (2025)

Figura 3 - Silo de cimento



Fonte: Autor (2025)

A central possui reservatório para 4 agregados, cada um com capacidade de 4,5m³ (figura 4). Esta, por sua vez, encontra-se protegida por uma cobertura.

Figura 4 - Reservatórios de agregados



Fonte: Autor (2025)

A exposição dos agregados às intempéries pode ocasionar variações na umidade, influenciando a relação água/cimento do concreto e, conseqüentemente, suas propriedades mecânicas. A implementação de coberturas nas baias ou a realização da medição da umidade dos agregados poderia reduzir essas variações, resultando em um maior controle da qualidade do concreto produzido.

A mistura dos materiais é realizada na misturadora automática, com capacidade de 450L (figura 5), que é abastecida através da central dosadora que conta com esteira transportadora (figura 6) e balança acoplada com precisão de 0,1 kg. A dosagem dos materiais sólidos (agregados e cimento) é realizada por peso, garantindo maior precisão na proporção dos componentes.

Figura 5 - Misturadora automática



Fonte: Autor (2025)

Figura 6 - Esteiras transportadoras



Fonte: Autor (2025)

A classe de agressividade do concreto produzido é a II – moderada, por ser destinado a obras rurais e urbanas. A resistência de projeto para todas as peças é de 20MPa e a fábrica utiliza dois traços teóricos (tabelas 2 e 3):

a) Traço A – destinado à produção de pilares e vigas;

Tabela 2 - Traço A

Item	Quantidade	Un.	Rendimento
Brita 1	400	kg	
Granilha	80	kg	
Areia	280	kg	390L
Cimento	110	kg	
Água	65	L	

Fonte: Autor (2025)

b) Traço B – utilizado na fabricação de placas de vedação.

Tabela 3 - Traço B

Item	Quantidade	Un.	Rendimento
Brita 0	180	kg	
Granilha	270	kg	
Areia	300	kg	388L
Cimento	110	kg	
Água	70	L	

Fonte: Autor (2025)

O consumo de cimento Portland por metro cúbico de concreto é de 282 kg/m³ para o traço A e 283 kg/m³ para o traço B. As respectivas relações água/cimento são 0,59 e 0,64. Dessa forma, o consumo de cimento por metro cúbico atende aos limites estabelecidos pela NBR 12655 (ABNT, 2022a). No entanto, enquanto a relação água/cimento do traço A está em conformidade com a norma, a do traço B não atende aos requisitos.

A respeito do controle de água na mistura de concreto, verificou-se que não há um equipamento específico para medição precisa do volume de água utilizado. O processo é estimado com base na vazão da mangueira e no tempo necessário para alcançar o volume desejado. Além disso, o ajuste do volume de água, por conta da umidade da areia, é realizado de maneira empírica, sem a medição real da umidade. O critério empregado consiste em reduzir o volume de água em 5 litros quando a areia apresenta umidade visivelmente média e em 10 litros quando está muito molhada.

A ausência da medição da umidade da areia pode comprometer a precisão da relação água/cimento, resultando em variações na resistência e na trabalhabilidade do concreto. A adoção de métodos simplificados e de rápida execução, como o método da frigideira, que consiste no aquecimento de uma amostra de areia até a evaporação total da umidade, poderia fornecer maior confiabilidade na correção da quantidade de água a ser adicionada na mistura. Outro método viável é o uso de medidores de umidade portáteis, que utilizam a tecnologia de infravermelho ou micro-ondas para uma leitura rápida da umidade dos materiais. Essas abordagens permitem ajustes mais precisos da água de amassamento no dia a dia da produção, contribuindo para a uniformidade e qualidade do concreto.

Atualmente, não são realizados ensaios diários para verificar a aceitabilidade do concreto produzido na fábrica. Dessa forma, não há monitoramento de propriedades como resistência à compressão, trabalhabilidade.

A implementação de ensaios rotineiros, como o ensaio de abatimento do tronco de cone da NBR 16889 (ABNT, 2020) e a moldagem de corpos de prova de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2015) para averiguar a resistência à compressão conforme indica a NBR 5739 (ABNT, 2018b), permitiria um controle mais rigoroso da qualidade do concreto produzido. Esses ensaios auxiliariam na identificação precoce de desvios no processo, contribuindo para a padronização da produção e a redução de não conformidades nas peças pré-moldadas.

O método de adensamento do concreto observado na fábrica varia conforme o tipo de peça produzida. Para as placas de fechamento, que são elementos esbeltos, utiliza-se o vibrador de parede de forma, pois não há espaço para a penetração de vibradores de imersão. Já para as demais peças, o adensamento é realizado com vibradores de imersão, adequados para garantir a compactação do concreto. A escolha desses métodos está diretamente relacionada às características geométricas das peças e às necessidades do processo produtivo.

Durante a análise das peças pré-moldadas produzidas, foram identificadas falhas recorrentes que comprometem a qualidade final do produto. Dentre os principais problemas observados, destacam-se a presença de nicho de concretos (figura 7) e trincas de retração (figura 8), que não apenas afetam a estética das peças, mas também podem comprometer sua durabilidade e resistência. Além disso, essas imperfeições exigem retrabalho no acabamento, reforçando a necessidade de um controle de qualidade mais rigoroso na produção.

Figura 7 - Peça pré-moldada com nicho de concreto



Fonte: Autor (2025)

Figura 8 - Peça com trinca de retração



Fonte: Autor (2025)

5.2 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

O perfil granulométrico dos agregados utilizados na produção do concreto será apresentado a seguir (figuras 9 a 12), as tabelas 4 a 7 contém os dados de granulometria dos agregados.

5.2.1 Areia

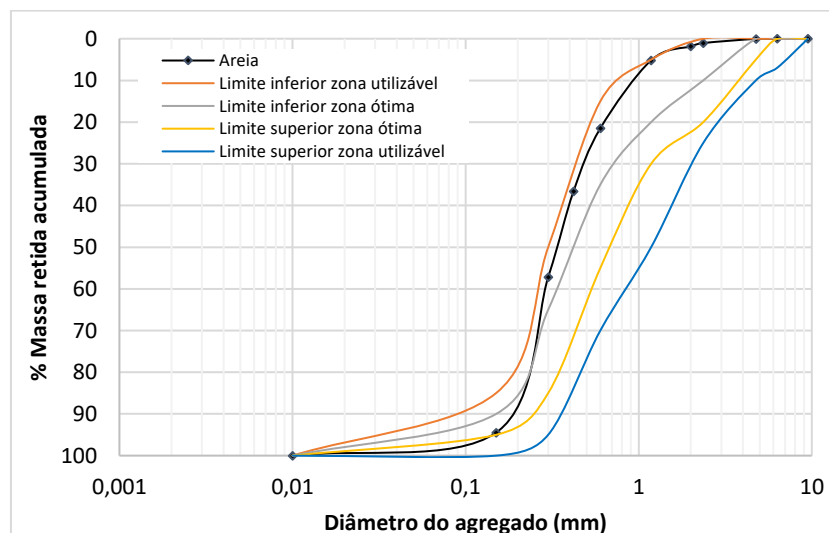
O módulo de finura da areia encontrado foi de 1,79, indicando que se trata de uma areia fina. Sua composição está dentro da zona utilizável inferior definida pela norma, tornando-a adequada para o emprego no concreto. A dimensão máxima característica da areia foi de 2,0 mm, ou seja, quase todas as partículas passam por essa peneira, caracterizando um agregado predominantemente fino, podendo influenciar a trabalhabilidade, visto que areias finas exigem maior demanda de água e cimento no concreto para garantir a fluidez da mistura e adensamento.

Tabela 4 - Granulometria da areia

Peneira (mm)	Peso retido médio (g)	Peso retido acumulado (g)	% Massa retida acumulada
9,5	0,00	0,00	0,0
6,3	0,00	0,00	0,0
4,75	0,15	0,15	0,0
2,36	5,10	5,25	1,0
2,0	3,92	9,16	1,8
1,18	16,92	26,08	5,2
0,6	82,44	108,51	21,5
0,42	76,40	184,91	36,6
0,3	103,68	288,59	57,2
0,15	188,44	477,03	94,5
Fundo	27,89	504,92	100,0
Total	504,92		

Fonte: Autor (2025)

Figura 9 - Perfil granulométrico da areia



Fonte: Autor (2025)

5.2.2 Granilha

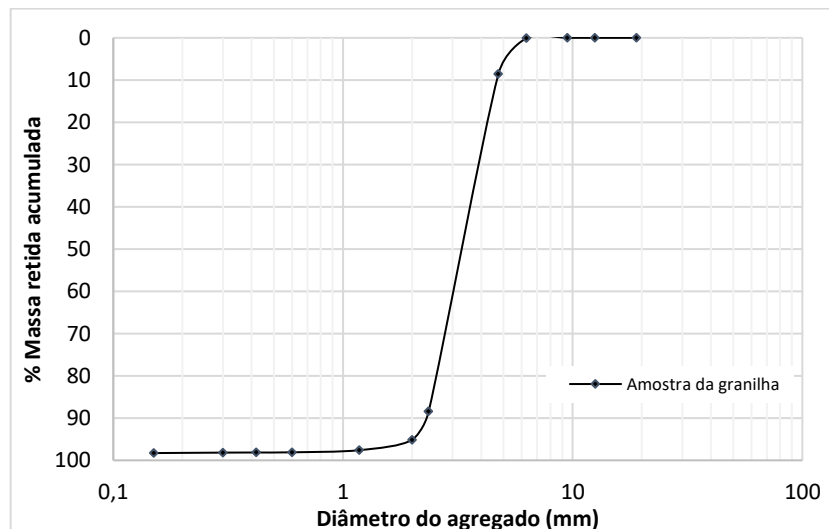
A granilha, utilizada para melhorar a composição de finos da mistura, possui módulo de finura de 4,89 e apresentou dimensão máxima característica de 6,3 mm, sendo majoritariamente composta por partículas de 2,36 mm. Esse agregado e auxilia no preenchimento dos vazios, melhorando a coesão da mistura e reduzindo a segregação do concreto.

Tabela 5 - Granulometria da granilha

Peneira (mm)	Peso retido médio (g)	Peso retido acumulado (g)	% Massa retida acumulada
19	0,00	0,00	0,0
12,5	0,00	0,00	0,0
9,5	0,00	0,00	0,0
6,3	0,22	0,22	0,0
4,75	37,97	38,19	8,6
2,36	356,50	394,69	88,4
2	29,93	424,62	95,2
1,18	10,89	435,50	97,6
0,6	2,23	437,73	98,1
0,42	0,20	437,93	98,1
0,3	0,16	438,09	98,2
0,15	0,47	438,55	98,3
Fundo	7,66	446,21	100,0
Total	446,21		

Fonte: Autor (2025)

Figura 10 - Perfil granulométrico da granilha



Fonte: Autor (2025)

5.2.3 Brita 0

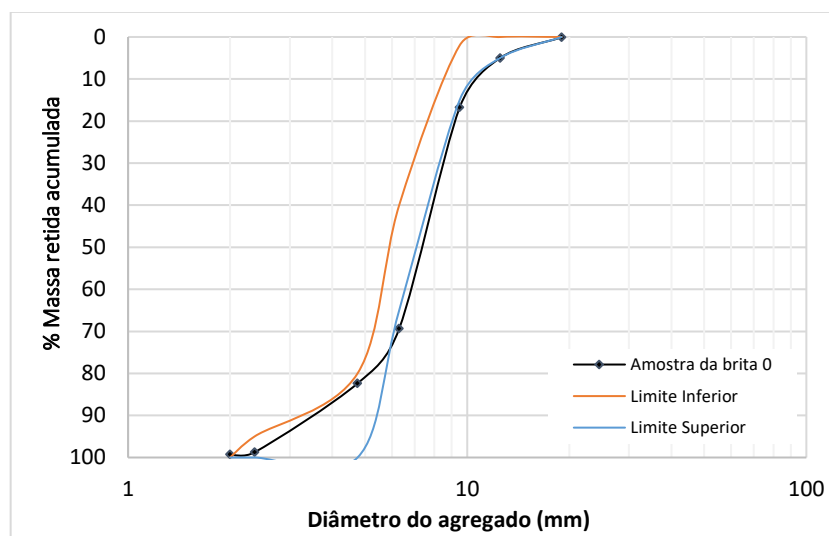
A brita 0 apresentou um pequeno desvio em relação aos limites normativos, com uma quantidade levemente superior de partículas nos diâmetros 6,3 mm e 9,5 mm. Esse excesso pode indicar uma alteração na distribuição dos tamanhos das partículas, o que pode influenciar o empacotamento dos agregados e, conseqüentemente, a trabalhabilidade do concreto. No entanto, o desvio é pequeno e, em princípio, não compromete a utilização desse agregado na mistura, visto que seu módulo de finura, que é 5,96, está dentro do parâmetro deste agregado. Sua dimensão característica máxima é de 12,5mm.

Tabela 6 - Granulometria da brita 0

Peneira (mm)	Peso retido médio (g)	Peso retido acumulado (g)	% Massa retida acumulada
19	5,00	5,00	0,0
12,5	509,60	514,60	5,0
9,5	1206,35	1720,94	16,8
6,3	5396,29	7117,23	69,4
4,75	1333,06	8450,29	82,4
2,36	1680,90	10131,19	98,8
2	53,59	10184,77	99,3
Fundo	73,10	10257,87	100,0
Total	10257,87		

Fonte: Autor (2025)

Figura 11 – Perfil granulométrico da brita 0



Fonte: Autor (2025)

5.2.4 Brita 1

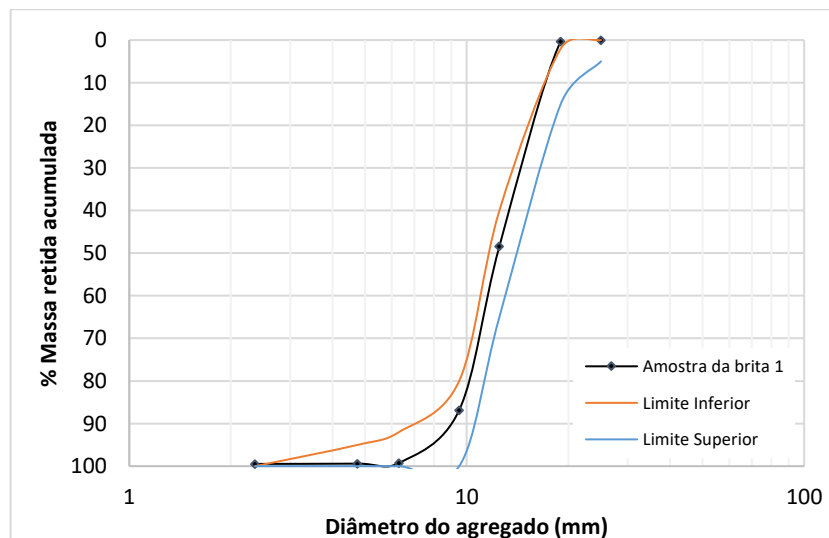
A brita 1 apresentou uma boa distribuição granulométrica com módulo de finura 6,84, se enquadrando dentro do módulo de finura de sua zona, que varia de 6,77 a 7,15. Sua dimensão máxima característica é de 19mm.

Tabela 7 - Granulometria da brita 1

Peneira (mm)	Peso retido médio (g)	Peso retido acumulado (g)	% Massa retida acumulada
25	0,00	0,00	0,0
19	22,16	22,16	0,3
12,5	3334,70	3356,86	48,4
9,5	2668,00	6024,86	86,9
6,3	860,46	6885,32	99,3
4,75	10,61	6895,92	99,4
2,36	4,46	6900,38	99,5
Fundo	36,89	6937,27	100,0
Total	6937,27		

Fonte: Autor (2025)

Figura 12 - Perfil granulométrico da brita 1

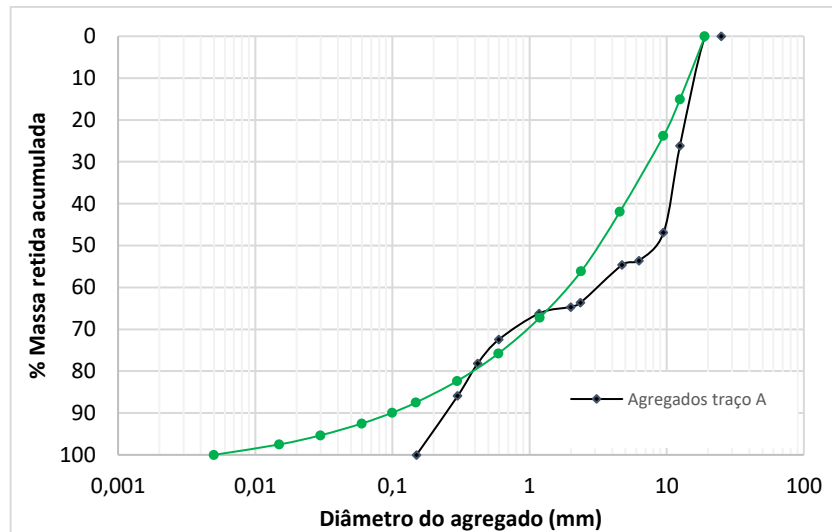


Fonte: Autor (2025)

5.2.5 Distribuição granulométrica por ponderabilidade em massa

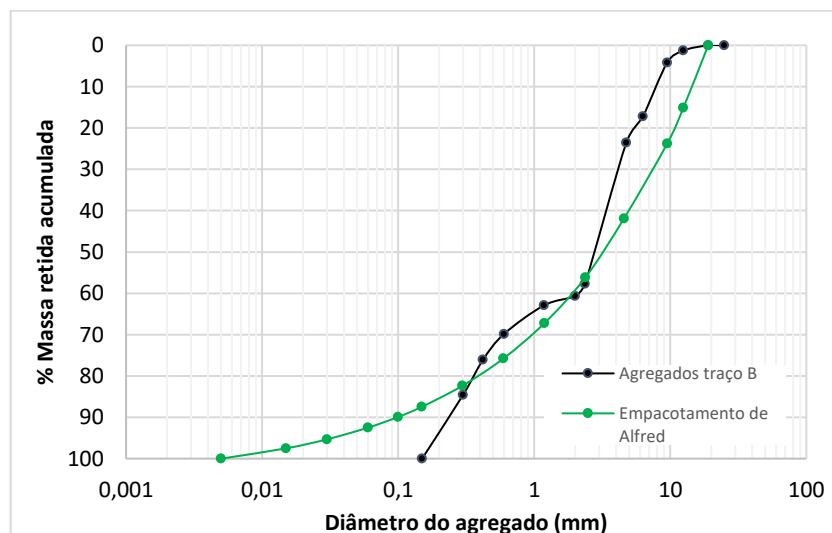
As figuras 13 e 14, mostram a comparação da composição granulométrica dos agregados para os traços A e B, respectivamente:

Figura 13 - Composição granulométrica dos agregados - Traço A



Fonte: Autor (2025)

Figura 14 - Composição granulométrica dos agregados - Traço B



Fonte: Autor (2025)

As duas misturas possuem menor quantidade de finos que o modelo de Alfred, isso ocorre pelo fato de que neste trabalho não foi analisada a granulometria do cimento utilizado nos traços e, conseqüentemente a curva granulométrica é afetada pela falta desse teor de finos.

De maneira geral, a curva granulométrica dos agregados se aproxima da curva teórica de empacotamento de Alfred com $q=0,37$, mas com algumas oscilações, indicando que a composição granulométrica dos agregados tem um bom potencial de empacotamento da mistura, ou seja, apresenta uma composição de agregados adequada, mas que pode ser melhorada.

5.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS DE CONTROLE TÉCNICO

As tabelas 8 e 9 contêm o resumo de dados do controle tecnológico realizado:

Tabela 8 - Controle tecnológico - Traço A

Exemplar	Data de moldagem	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Abatimento (cm)	Resistência (MPa)	Lote
B1	23/01/2024	28,0	64	11,0	30,7	1
B2	23/01/2024	27,7	62	10,5	35,0	1
D1	25/01/2024	30,4	46	19,0	28,8	1
D2	25/01/2024	30,8	45	12,0	34,4	1
D3	25/01/2024	31,3	44	13,5	36,2	1
E11	09/02/2024	37,8	40	12,0	28,9	2
E12	09/02/2024	36,5	42	11,0	33,0	2
E13	09/02/2024	32,2	50	9,0	33,5	2
C2	14/02/2024	33,0	61	16,0	31,6	2
C3	14/02/2024	33,1	61	12,5	34,5	2
C4	14/02/2024	33,0	62	14,5	33,0	2
C5	14/02/2024	33,3	61	13,5	37,0	2
F1	22/02/2024	31,8	65	13,0	39,5	3
F2	22/02/2024	34,1	55	16,0	32,1	3
F3	22/02/2024	36,0	51	10,0	39,9	3
F4	22/02/2024	36,1	47	14,5	34,6	3
F5	22/02/2024	36,5	46	11,5	34,8	3
F6	22/02/2024	36,5	45	16,5	32,6	3
F7	22/02/2024	36,1	46	16,5	32,0	3
G1	23/02/2024	32,9	64	15,0	26,6	3
G2	23/02/2024	33,5	60	11,5	33,3	3
G3	23/02/2024	34,2	57	14,0	36,3	3
G4	23/02/2024	35,0	55	12,5	35,6	3
G5	23/02/2024	35,4	54	19,0	32,4	3
G6	23/02/2024	36,4	52	8,5	35,6	3
	08/03/2024	30,9	70	12,0		4
	08/03/2024	30,8	70	15,5		4
	08/03/2024	30,5	71	14,5		4
	08/03/2024	30,5	72	12,5		4
	08/03/2024	30,5	73	13,5		4
	08/03/2024	30,5	72	12,5		4
	11/03/2024	36,3	49	9,5		4
	11/03/2024	36,9	46	17,5		4
	11/03/2024	37,1	45	12,0		4
	11/03/2024	36,8	45	14,5		4
	11/03/2024	37,2	44	16,5		4
	11/03/2024	37,4	42	17,5		4

Fonte: Autor (2025)

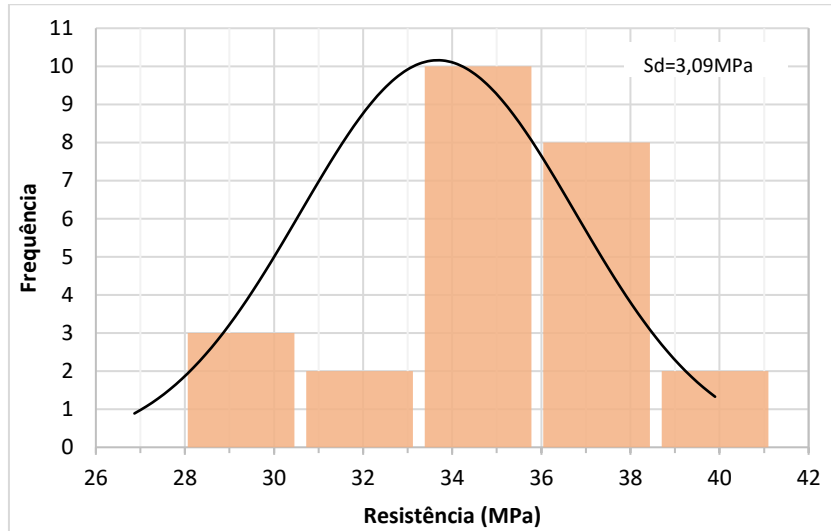
Tabela 9 - Controle tecnológico - Traço B

Exemplar	Data de moldagem	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Abatimento (cm)	Resistência (MPa)	Lote
B3	23/01/2024	26,5	72	20,5	18,9	1
B4	23/01/2024	26,7	74	19,0	21,1	1
B5	23/01/2024	26,7	72	22,0	22,3	1
B6	23/01/2024	26,8	72	22,5	21,9	1
B7	23/01/2024	27,3	71	20,5	25,1	1
B8	23/01/2024	27,5	69	21,0	23,3	1
B9	23/01/2024	27,3	66	22,5	30,1	1
C1	14/02/2024	32,5	61	15,0	29,1	1
D4	25/01/2024	31,2	44	17,5	28,7	1
D5	25/01/2024	31,7	42	14,0	29,5	1
D6	25/01/2024	31,7	40	15,5	28,0	2
E1	09/02/2024	34,4	55	14,0	27,0	2
E10	09/02/2024	37,2	44	10,5	25,6	2
E2	09/02/2024	35,6	54	15,5	27,1	2
E3	09/02/2024	36,5	50	14,0	25,7	2
E4	09/02/2024	36,4	49	14,0	27,0	2
E5	09/02/2024	36,2	47	8,0	22,7	2
E6	09/02/2024	37,1	47	16,5	32,2	2
E7	09/02/2024	37,2	46	13,5	26,3	2
E8	09/02/2024	37,2	45	12,0	28,7	2
E9	09/02/2024	37,2	45	12,0	27,3	2
	08/03/2024	31,1	69	17,5		3
	08/03/2024	31,1	70	14,5		3
	08/03/2024	31,0	71	7,5		3
	08/03/2024	31,0	71	9,0		3
	11/03/2024	34,9	57	19,0		3
	11/03/2024	36,7	55	19,5		3
	11/03/2024	37,1	47	18,0		3
	11/03/2024	37,1	46	16,0		3
	11/03/2024	36,3	49	13,5		3

Fonte: Autor (2025)

Para a avaliação da dispersão dos resultados de resistência e abatimento, foi realizada a distribuição normal para os dois traços, de maneira global, visto que a análise individual não trazia mais clareza aos dados, pelo fato de não serem em quantidade expressiva (figuras 15 a 18):

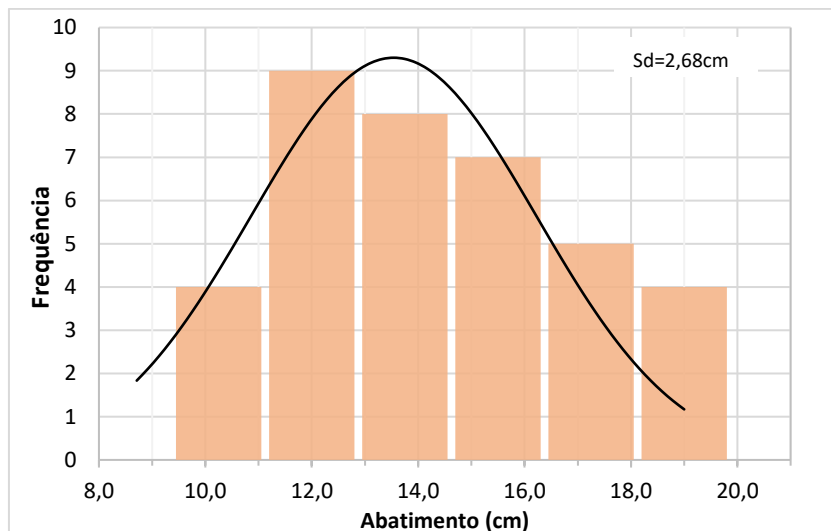
Figura 15 - Distribuição normal da resistência - Traço A



Fonte: Autor (2025)

Na figura 15 é possível observar que a distribuição da resistência possui assimetrias, sendo que há um agrupamento significativo na faixa de 35Mpa, significando que é a mais comum, porém, as amostras de valores mais baixos como 32Mpa estão bem afastadas da média e por outro lado, há um número elevado de amostras na faixa de 37Mpa. O desvio padrão para uma fábrica que produz o mesmo traço repetidas vezes pode ser reduzido para 2Mpa.

Figura 16 - Distribuição normal do abatimento - Traço A

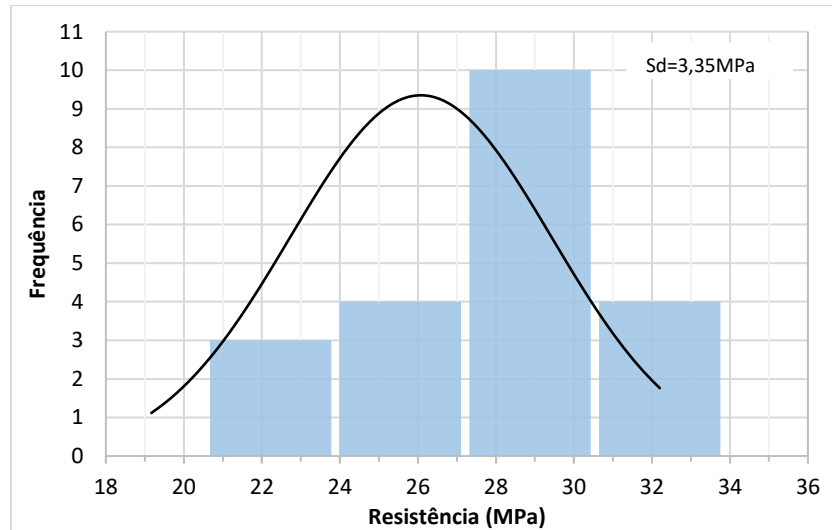


Fonte: Autor (2025)

O abatimento tem distribuição semelhante à normal (figura 16), com pico nas regiões de 12 e 14cm. Há uma quantidade de amostras com abatimento de valor elevado, nas regiões 18 e 20cm, indicando que houve trabalhabilidade acima do

esperado, do concreto. A amplitude de abatimento variou entre 8,5 e 19cm, indicando que há flutuações no teor de água da mistura.

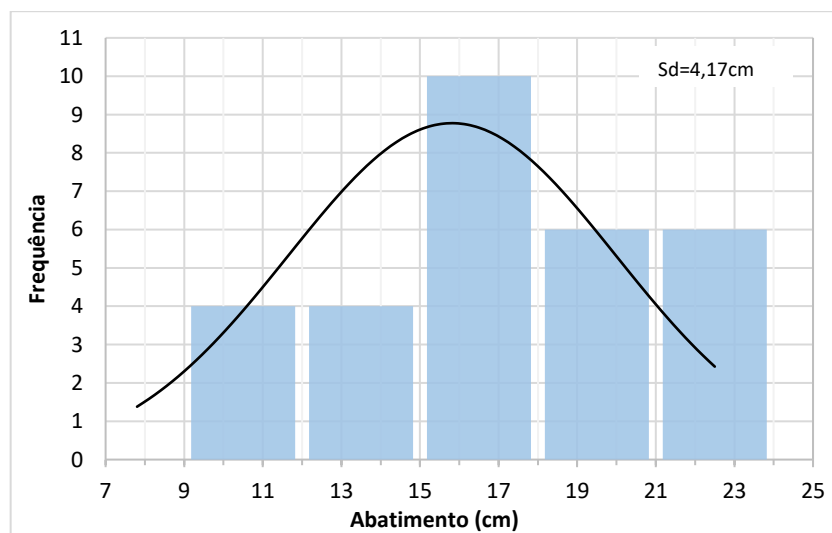
Figura 17 - Distribuição normal da resistência - Traço B



Fonte: Autor (2025)

A distribuição (figura 17) tem um pico em torno de 29 MPa, indicando que essa foi a resistência mais frequente, apesar da concentração de resultados, há uma dispersão significativa, especialmente com algumas amostras na faixa de 19 a 26 MPa, indicando inconsistências na dosagem do concreto.

Figura 18 - Distribuição normal do abatimento - Traço B



Fonte: Autor (2025)

Na figura 18, o abatimento mais frequente está próximo de 17 cm, mas a distribuição é mais espalhada. O desvio padrão de 4,17 cm mostra uma alta variabilidade na trabalhabilidade do concreto e a amplitude do abatimento (entre

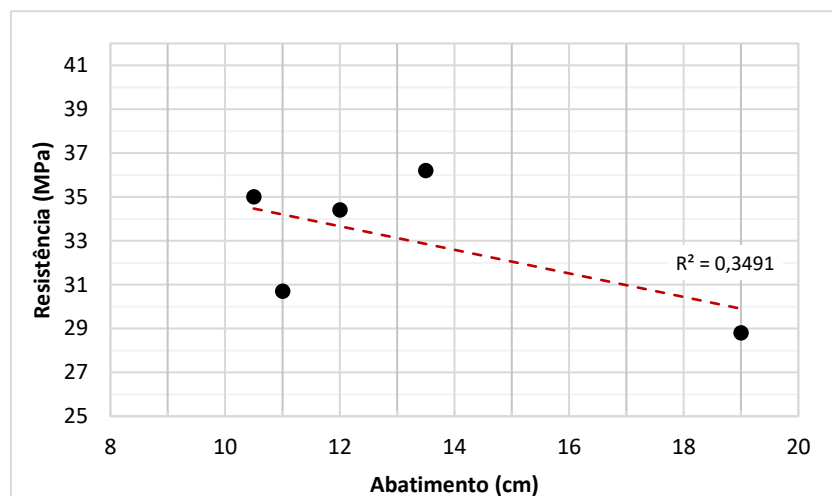
aproximadamente 8 e 23 cm) sugere que a uniformidade e padrão da mistura estão sendo prejudicados por variações na água.

Os dados obtidos no controle tecnológico do concreto indicaram uma oscilação na dosagem do material, resultando em variabilidade nos valores de resistência e abatimento do concreto. A principal causa potencial dessas variações é a inconsistência na quantidade de água utilizada, já que a medição do volume de água na dosagem não é precisa e o teor de umidade da areia é corrigido apenas empiricamente.

As comparações entre abatimento, temperatura ambiente e umidade do ar com a resistência à compressão também foram realizadas de forma global, sem separação por lotes, pois a análise individual por lote não apresentou um padrão mais esclarecedor do que a abordagem global.

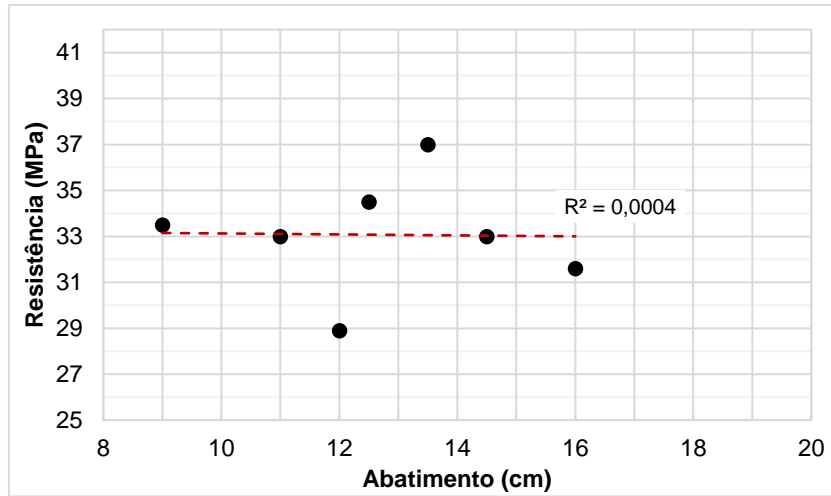
Para demonstrar que as análises por lotes não são mais funcionais que a global, tem-se as comparações entre resistência e abatimento para o traço A (figuras 19 a 21).

Figura 19 - Abatimento x resistência - Lote 1



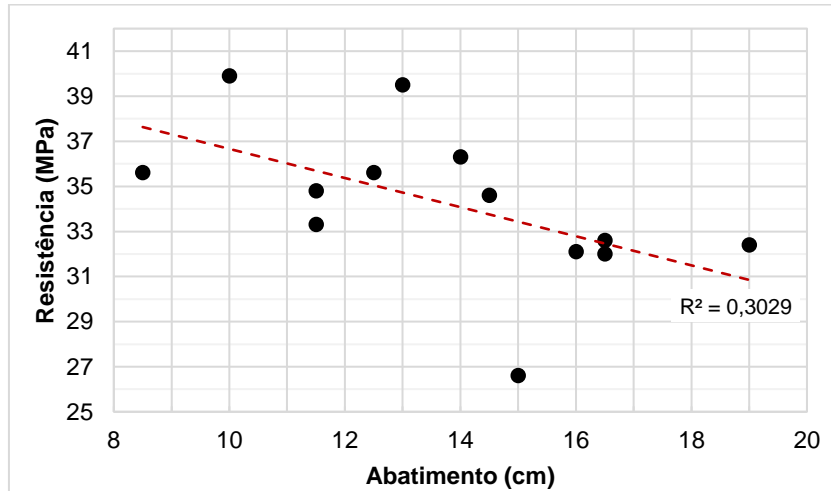
Fonte: Autor (2025)

Figura 20 - Abatimento x resistência - Lote 2



Fonte: Autor (2025)

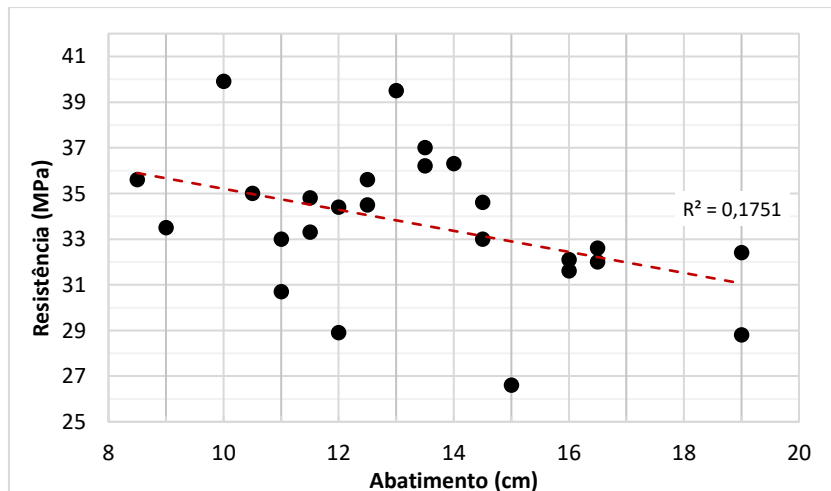
Figura 21 - Abatimento x resistência - Lote 3



Fonte: Autor (2025)

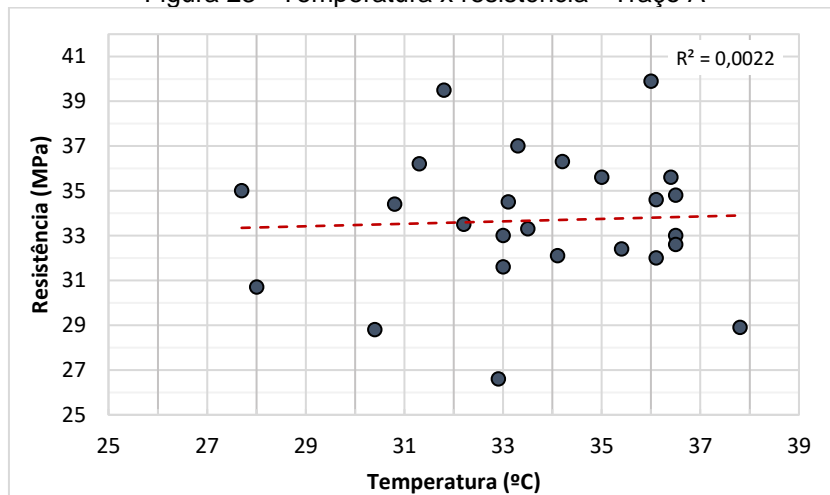
Nas figuras 22 a 24 tem-se os gráficos globais das análises do traço A:

Figura 22 - Abatimento x Resistência - Traço A



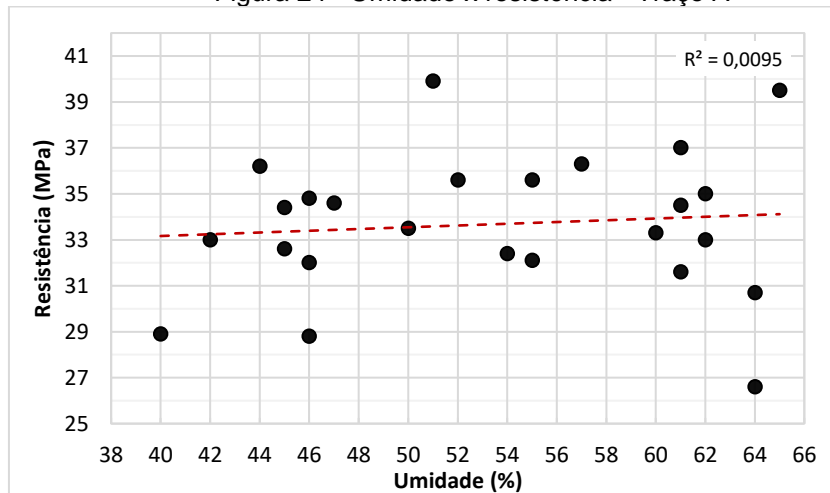
Fonte: Autor (2025)

Figura 23 - Temperatura x resistência - Traço A



Fonte: Autor (2025)

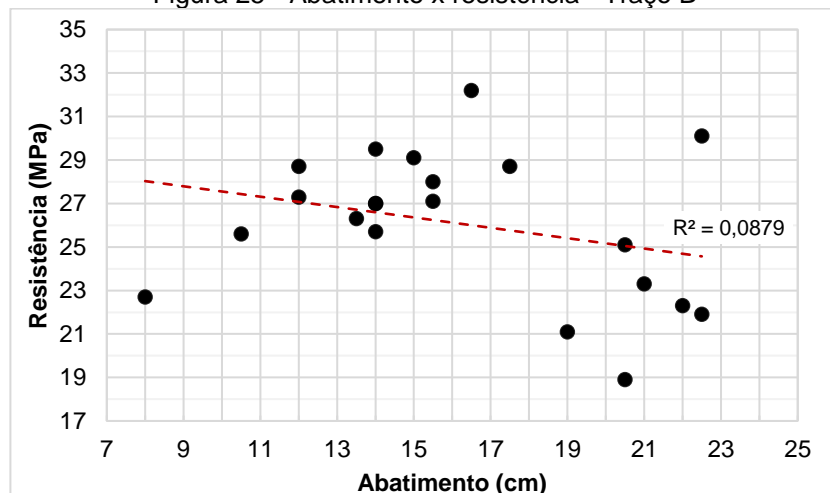
Figura 24 - Umidade x resistência - Traço A



Fonte: Autor (2025)

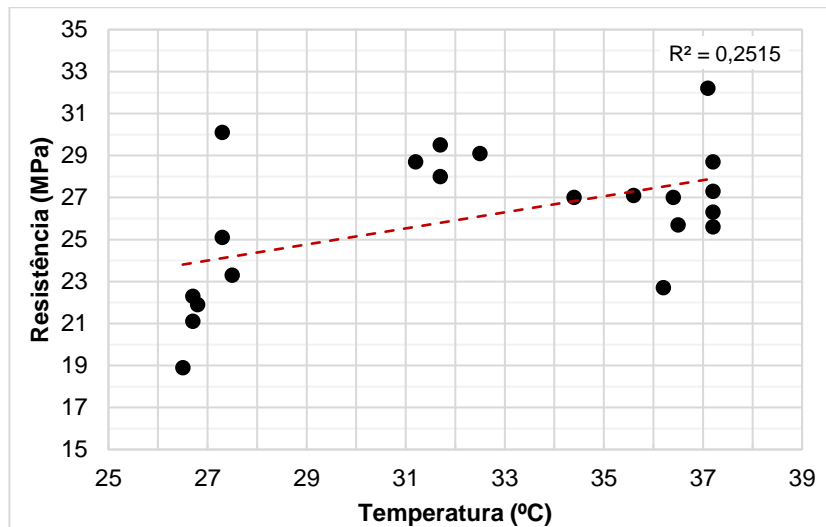
Da mesma forma, tem-se as comparações do traço B (figuras 25 a 27):

Figura 25 - Abatimento x resistência - Traço B



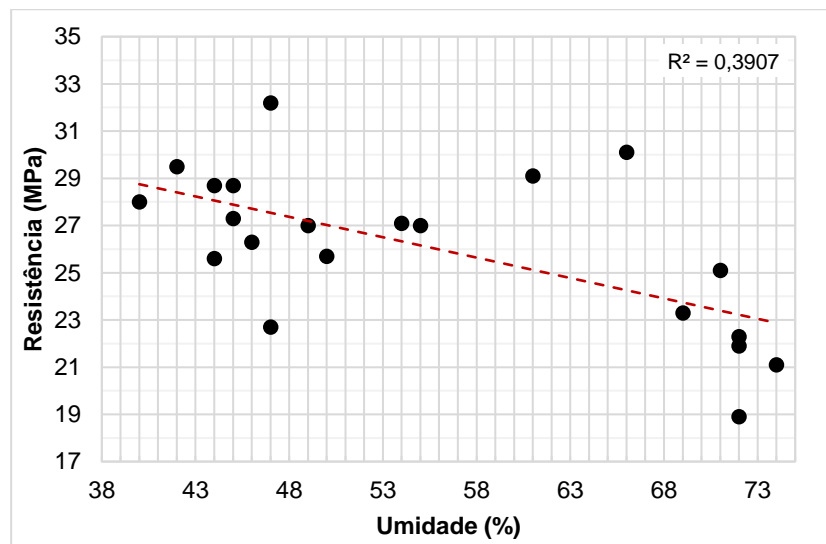
Fonte: Autor (2025)

Figura 26 - Temperatura x resistência - Traço B



Fonte: Autor (2025)

Figura 27 - Umidade x resistência - Traço B



Fonte: Autor (2025)

Em todos os casos, o coeficiente de determinação (R^2) apresentou valores muito baixos, indicando uma correlação fraca ou inexistente. Isso sugere que os fatores analisados não exerceram uma influência direta e significativa na resistência à compressão.

O baixo R^2 pode ser atribuído a diversos fatores, como heterogeneidade dos materiais, variações na dosagem, dispersão nos dados e inconsistências no processo de cura, que podem ter impactado os resultados de maneira mais expressiva do que as variáveis analisadas.

5.3.1 Realidade em Medianeira e região

A indústria de pré-moldados localizada em Medianeira e região é caracterizada pela presença de diversas pequenas fábricas, acredita-se que a maioria não adota procedimentos básicos de controle de qualidade. Embora o conhecimento técnico sobre a gestão eficiente de uma fábrica – incluindo a caracterização de materiais, controle de qualidade, uso de aditivos, manutenção de uma baixa relação água/cimento, medição da umidade da areia, verificação do abatimento e da resistência do concreto – seja de fácil acesso aos profissionais da engenharia civil, podem não estar sendo aplicado na maioria das fábricas da região.

Essa falta de controle resulta em um processo produtivo pouco racionalizado, elevando os custos dos produtos além do necessário e comprometendo a qualidade final. Medidas simples de controle de qualidade podem corrigir essas deficiências, garantindo maior eficiência e melhor desempenho dos elementos pré-moldados.

CONCLUSÕES

A análise da fábrica de pré-moldados na região Oeste do Paraná evidenciou pontos críticos no processo de produção de concreto, comprometendo a eficiência técnica, econômica e ambiental. A avaliação do ambiente fabril e do método de dosagem indicou que a exposição dos agregados às intempéries, a ausência de controle preciso da umidade e a dosagem empírica da água impactam diretamente na qualidade do concreto produzido. Além disso, a ausência de ensaios rotineiros para controle da resistência e trabalhabilidade dificulta o monitoramento da qualidade do produto final.

A análise das propriedades do concreto no estado fresco e endurecido revelou variabilidades expressivas, especialmente na resistência à compressão e no abatimento, indicando falta de uniformidade na mistura. A caracterização dos agregados apontou uma granulometria próxima da curva teórica de empacotamento, mas com potencial de melhorias para otimizar o adensamento e a coesão da mistura.

Propostas foram apresentadas para aprimorar a eficiência técnica, como a implementação de medidores de umidade portáteis, ensaios rotineiros de controle de qualidade e o uso de aditivos plastificantes. Esses aditivos melhoram a trabalhabilidade do concreto, permitindo a redução da relação água/cimento, o que contribui para o aumento das propriedades mecânicas e a durabilidade das peças pré-moldadas.

Na vertente econômica, a padronização dos processos e a redução do retrabalho podem gerar economia de materiais e mão de obra. Em relação à eficiência ambiental, o controle mais rigoroso da relação água/cimento e a redução de desperdícios contribuem para uma produção mais sustentável. Dessa forma, o estudo reforça a importância de um controle de qualidade mais apurado e da adoção de tecnologias acessíveis para otimizar a produção de concreto pré-moldado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP. **A nova norma de especificação de cimento ABNT NBR 16697: saiba o que mudou e o que não mudou.** , 2 ago. 2018. Disponível em: <<https://abcp.org.br/a-nova-norma-de-especificacao-de-cimento-abnt-nbr-16697-saiba-o-que-mudou-e-o-que-nao-mudou/>>. Acesso em: 10 ago. 2023

ABNT. **ABNT NBR 5738 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2015.

ABNT. **NBR 9062: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado.** Rio de Janeiro, 2017.

ABNT. **NBR 16697: Cimento Portland – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2018a.

ABNT. **NBR 5739 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2018b.

ABNT. **NBR 16889 : Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, 2020. . Acesso em: 9 mar. 2025

ABNT. **NBR 12655 - Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento.** Rio de Janeiro, 2022a.

ABNT. **NBR 7211: Agregados para concreto - Requisitos.** Rio de Janeiro, 2022b. . Acesso em: 9 mar. 2025

ABNT. **NBR ISO 9001: Sistemas de gestão da qualidade - Requisitos.** Rio de Janeiro, 2024a.

ABNT. **NBR7212: Concreto dosado em central - Preparo, fornecimento e controle.** Rio de Janeiro, 2024b. . Acesso em: 24 mar. 2025

ACKER, A. V.; FERREIRA, M. Manual de Sistemas Pré-Fabricados de Concreto. 2003.

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach - 2023 Update. p. 217, 2023.

AGOPYAN, V. Revista Concreto & Construções. n. 90, jun. 2018.

CAMPOS, H. F. et al. Eco-efficient concrete, optimized by Alfred's particle packing model, with partial replacement of Portland cement by stone powder. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 15, p. e15205, 22 set. 2021.

CASSAGNABÈRE, F. et al. Metakaolin, a solution for the precast industry to limit the clinker content in concrete: Mechanical aspects. **Construction and Building Materials**, v. 24, n. 7, p. 1109–1118, 1 jul. 2010.

DEBS, M. K. E. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações.** São Paulo: Oficina de Textos, 2021. v. 2

DIREITINHO, R. M. L. C. **Diretrizes para práticas de qualidade nas diferentes etapas do processo de produção de lajes alveolares de concreto protendido.** São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2015.

FIORI, L. **Estudo de caso para implantação de melhorias no processo de produção em uma indústria de pré-fabricados.** Toledo: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2022.

FORMOSO, C. T. et al. As perdas na construção Civil: conceitos, classificações e seu papel na melhoria do setor. 1997.

FUNK, J. E.; DINGER, D. R. **Controle de Processo Preditivo de Suspensões de Partículas Aglomeradas.** Nova Iorque: Kluwer Academic Publishers, 1994.

FURNAS, C. C. Grading Aggregates - I. - Mathematical Relations for Beds of Broken Solids of Maximum Density. **Industrial & Engineering Chemistry**, v. 23, n. 9, p. 1052–1058, 1 set. 1931.

GOES, C. M. W. DE et al. **Revisão sobre empacotamento de partículas e os materiais utilizados no desenvolvimento de concreto de ultra-alto desempenho.** . Em: 62 CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO. Florianópolis - SC: set. 2020.

GONÇALVES, D. DE S.; CAMPOS, P. E. F. O concreto no processo de industrialização da arquitetura: da pré-fabricação à fabricação digital. n. 101, mar. 2021.

GUPTA, T. et al. Influence of stone processing dust on mechanical, durability and sustainability of concrete. **Construction and Building Materials**, v. 223, p. 918–927, 30 out. 2019.

HOVER, K. C. The influence of water on the performance of concrete. **Construction and Building Materials**, v. 25, n. 7, p. 3003–3013, 1 jul. 2011.

HUMAYUN, M. et al. Physical and mechanical characterization of sand replaced stone dust concrete. **Materials Research Express**, v. 8, n. 8, p. 085507, 1 ago. 2021.

JORGE, J. J. **A História do Pré-Fabricado no Brasil.** **Pré-Fabricar**, 15 jun. 2018. Disponível em: <<https://prefabricar.com.br/a-historia-do-pre-fabricado-no-brasil/>>. Acesso em: 8 mar. 2025

LOPES, R. C. et al. Influence of crystallizing type chemical admixture on precast micro concretes: a statistical analysis and holistic engineering overview. **Materiales de Construcción**, v. 74, n. 353, p. e336, 14 mar. 2024.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, A. **Construção Sustentável.** Disponível em: <<http://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/planejamento-ambiental-e-territorial-urbano/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel.html>>. Acesso em: 10 set. 2023.

OKONKWO, V. O. et al. Effects of Coarse Aggregates Gradings on the Properties of Concrete. **Engineering And Technology Journal**, v. 8, n. 2, p. 1992–1996, 18 fev. 2023.

ORTEGA, F. DOS S. et al. Influência dos modelos de Alfred e de Andreasen sobre a microestrutura e densidade a verde de compactos cerâmicos obtidos por colagem ou prensagem. **Cerâmica**, v. 43, p. 185–191, dez. 1997.

OTHMAN, N. A. et al. Medição da composição de umidade da areia para mistura de concreto. p. 119–120, maio 2018.

PANDA, S.; SARKAR, P.; DAVIS, R. Effect of Water-Cement Ratio on Mix Design and Mechanical Strength of Copper Slag Aggregate Concrete. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 936, n. 1, p. 012019, 1 set. 2020.

PARK, S.-H.; RYU, H.-S.; PARK, W.-J. Influence of Unit Water Content Control on Concrete Performance in the Ready-Mixed Concrete Production Process. **Materials**, v. 17, n. 4, p. 834, 9 fev. 2024.

SERRA, S. M. B.; FERREIRA, M. DE A.; PIGOZZO, B. N. **Evolução dos Pré-Fabricados de Concreto**. . Em: 1° ENCONCTRO NACIONAL DE PESQUISA-PROJETO-PRODUÇÃO EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO. São Carlos, set. 2005. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/15141278-Evolucao-dos-pre-fabricados-de-concreto.html>>. Acesso em: 3 out. 2023

SILVA, M. R. DA; VALIN JR, M. DE O. **Fabricação de vigotas pré-moldadas em Cuiabá/MT**. . Em: 56° CONGRESSO BRASIELEIRO DO CONCRETO. Anais do CBC2014, out. 2014. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/19968377-Fabricacao-de-vigotas-pre-moldadas-em-cuiaba-mt.html>>. Acesso em: 19 set. 2023

SMIRNOVA, O. M. Compatibility of portland cement and polycarboxylate-based superplasticizers in high-strength concrete for precast constructions. **Magazine of Civil Engineering**, v. 66, n. 06, p. 12–22, dez. 2016.

SNIC. **Relatório Anual**. Brasil: Sindicato Nacional da Indústria de cimento, 2021. Disponível em: <snic.org.br/assets/pdf/relatorio_anual/rel_anual_2021.pdf>.

VAN DONGEN, R. et al. Cosmogenic ^{10}Be in river sediment: where grain size matters and why. **Earth Surface Dynamics**, v. 7, n. 2, p. 393–410, 2 maio 2019.

WAGNER, L. L.; CORRÊA, A. L. S.; FREITAS, D. B. DE. Revisão sobre a utilização de elementos pré-fabricados. v. 6, n. 10, p. 75455–75465, out. 2022.