

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

ROBSON NÉRY

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PROCEDIMENTOS DAS NORMAS
BRASILEIRA E EUROPEIA PARA A CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE
CONCRETO**

Alegrete - RS

2025

ROBSON NÉRY

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PROCEDIMENTOS DAS NORMAS
BRASILEIRA E EUROPEIA PARA A CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE
CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Ederli Marangon

Coorientador: Jonathan Duarte Oliveira

Alegrete - RS

2025

ROBSON NERY

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PROCEDIMENTOS DAS NORMAS BRASILEIRA E EUROPEIA PARA A CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE CONCRETO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 18 de julho de 2025.

Banca examinadora:

Prof. Dr. EDERLI MARANGON - UNIPAMPA - Orientador

Eng. JONATHAN DUARTE OLIVEIRA - Membro Externo - Coorientador

Prof. Dr. JONATHAN DUARTE OLIVEIRA - UNIPAMPA

Me. Eng. WAGNER DAMBROS FERNANDES - Membro Externo



Assinado eletronicamente por **LUIS EDUARDO KOSTESKI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 22/07/2025, às 15:25, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **EDERLI MARANGON, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 22/07/2025, às 16:20, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **JONATHAN DUARTE OLIVEIRA, Usuário Externo**, em 22/07/2025, às 16:36, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **WAGNER DAMBROS FERNANDES, Usuário Externo**, em 22/07/2025, às 16:42, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1792583** e o código CRC **969BE9AE**.

Dedico este trabalho a minha mãe, Sirlene Dos Santos Néry, que sempre me apoiou e me incentivou a seguir em frente para a realização dos meus sonhos.

AGRADECIMENTO

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a Deus, que me possibilitou ter tudo o que almejei, nunca lhe peço nada, apenas agradeço, pois Ele já me concede muito mais do que eu mereço. Com ele ao meu lado, tudo é possível, e o impossível existe apenas em meus pensamentos.

A minha amada mãe, Sirlene dos Santos Néry, minha maior fã, por demonstrar incansável apoio e amor incondicional, sendo a maior força por trás de cada conquista que alcancei, desde o início da minha vida até hoje. Ela nunca deixou de me incentivar e acreditar em mim, mesmo nos momentos mais difíceis. Sou profundamente grato por tudo. Mãe, tu és um muro de concreto maciço, e só você sabe o quanto precisou lutar para chegar onde chegou. Tu és, e sempre serás, o meu Norte.

Ao meu irmão Ryan, que, apesar de não estar mais entre nós, carrego sempre em meu coração e pensamentos, com a certeza de que ele olha por mim, sendo mais um anjo no reino do Pai. À minha família, que foi exemplo de perseverança e me ensinou valores essenciais que levarei comigo por toda a vida, obrigado por compartilharem suas experiências e me inspirarem a seguir em frente.

Ao meu orientador, Ederli Marangon, que foi fundamental com sua expertise e dedicação durante a orientação deste trabalho. Sou muito grato pela atenção e apoio que recebi. Ao meu coorientador, Jonathan Oliveira, pela ajuda em todo esse processo.

Ao grupo MAEC, que sempre esteve de portas abertas para mim e me ajudou a conquistar o título de Bacharel em Engenharia Civil. Estendo meus agradecimentos aos demais professores, em especial a professora Simone Venquiaruto, que de diferentes formas, contribuíram para meu crescimento acadêmico e pessoal.

Aos meus colegas de curso, em especial aqueles que se tornaram amigos: Bruna Tamiosso, Gustavo Vargas, Ian Mota, Luan Garcia e Lucas Goes, com quem compartilhei risos, lágrimas, aprovações, desafios e aprendizados, tanto na vida acadêmica quanto pessoal.

As empresas que apoiaram a realização deste trabalho: Indústria de Postes Indaial LTDA, Construtora Alegretense LTDA, MC Bauchemie Brasil e o grupo GPTEC pelo fornecimento dos materiais indispensáveis para o desenvolvimento desta pesquisa. Aos técnicos laboratoristas da Fundação Universidade Federal do Pampa - Campus Alegrete, em especial ao do Laboratório de Estruturas e Materiais de

Construção (LEMAC), Marcelo de Jesus, pelo cuidado, dedicação e tempo investidos neste trabalho.

Por fim, expresso meu mais profundo agradecimento a todos que fizeram parte desta caminhada até a conclusão deste ciclo. À Daniela, meu reconhecimento especial, por ter sido a melhor coisa que encontrei ao longo dessa jornada. Sem o apoio de cada um de vocês, esta conquista não teria sido possível. Serei eternamente grato por terem feito parte da minha história.

“Não me diga onde chegaste, mas de onde partiste. Assim posso mensurar a dimensão de seu feito”.

Provérbio chinês

RESUMO

No presente trabalho foi realizado uma análise comparativa entre as normas brasileiras (ABNT) e europeias (EN) para caracterização mecânica em concretos. A pesquisa foi fundamentada na execução de ensaios mecânicos de resistência à compressão axial, tração indireta e tração na flexão em quatro pontos. O estudo experimental foi conduzido no Laboratório de Estruturas e Materiais de Construção (LEMAC) da Universidade Federal do Pampa, campus Alegrete-RS. Foram moldados três tipos de concretos: concreto autoadensável (CAA), concreto convencional vibrado (CCV) e concreto permeável (CP). Para os ensaios de compressão axial, utilizou-se corpos de prova cilíndricos de 10x20 cm (NBR 5739:2018) e cubos de 15 cm (EN 12390-3:2003). Para os ensaios de tração indireta, adotaram-se corpos de prova cilíndricos de 10x20 cm (NBR 7222:2011) e prismas serrados de 10x10x20 cm, obtidos a partir de prismas de 10x10x40 cm (EN 12390-6:2002). Por fim, para os ensaios de tração na flexão em quatro pontos, foram utilizados prismas de 10x10x40 cm com vão útil de 30 cm, conforme as normas (NBR 12142:2010) e (EN 12390-5:2002). Os ensaios foram realizados para a idade de cura do concreto de 28 dias, devidamente regularizados para garantir a uniformidade na aplicação das cargas. Os resultados mostraram que, embora existam diferenças metodológicas entre as normas, como a geometria dos corpos de prova e as taxas de carregamento, houve boa concordância na maioria dos ensaios, não sendo detectadas diferenças estatisticamente significativas, exceto para o ensaio de tração indireta no concreto permeável, que pode ser atribuído à sensibilidade da estrutura deste tipo de concreto. Adicionalmente, foi realizada uma análise comparativa para estimar a resistência à tração direta com base nas formulações do CEB-FIB Model Code (2010), que indicou que os ensaios de tração indireta e na flexão são os métodos mais adequados para determinar a resistência à tração direta.

Palavras-Chave: Concreto, Ensaio mecânicos, Normas técnicas, ABNT, EN.

ABSTRACT

This study performed a comparative analysis between Brazilian (ABNT) and European (EN) standards for mechanical characterization of concrete. The research was based on the performance of mechanical tests for axial compression, indirect tensile strength, and four-point flexural tensile strength. The experimental study was conducted at the Laboratory of Structures and Construction Materials (LEMAC) of the Federal University of Pampa, Alegrete-RS campus. Three types of concrete were molded: self-compacting concrete (SCC), conventional vibrated concrete (CCV), and pervious concrete (PC). For the axial analysis tests, 10 × 20 cm cylindrical specimens (NBR 5739:2018) and 15 cm cubes (EN 12390-3:2003) were used. For the indirect attraction tests, we used cylindrical specimens of 10×20 cm (NBR 7222:2011) and serrated prisms of 10×10×20 cm, obtained from prisms of 10×10×40 cm (EN 12390-6:2002). Finally, for the four-point flexural tensile tests, 10 × 10 × 40 cm prisms with a 30 cm span were used, in accordance with standards (NBR 12142:2010) and (EN 12390-5:2002). The tests were performed for a concrete curing age of 28 days, duly regularized to ensure uniformity in load application. The results showed that, although there are methodological differences between the standards, such as specimen geometry and loading rates, there was good agreement in most tests, with no statistically significant differences detected, except for the indirect tensile test on pervious concrete, which can be attributed to the structural sensitivity of this type of concrete. Additionally, a comparative analysis was performed to estimate the direct tensile strength based on the CEB-FIB Model Code (2010) formulations, which indicated that indirect tensile and flexural tests are the most appropriate methods for determining the direct tensile strength.

Keywords: Concrete, Mechanical tests, Technical standards, ABNT, EN.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação do ensaio de compressão diametral NBR.....	21
Figura 2 - Representação do ensaio de resistência à tração indireta dos corpos de prova EN	22
Figura 3 - Representação do ensaio de resistência à tração na flexão dos corpos de prova	23
Figura 4 - Programa experimental.....	31
Figura 5 - Agregados graúdos.....	35
Figura 6 - Curva granulométrica dos agregados graúdo, incluindo os limites normativos: brita 0 e brita 1	36
Figura 7 - Agregado miúdo.....	36
Figura 8 - Curva granulométrica do agregado miúdo, incluindo os limites normativos	37
Figura 9 - Cone de Abrams	39
Figura 10 - Índice de estabilidade visual	40
Figura 11 - Cone de Abrams com o anel “J”.....	42
Figura 12 - Caixa “L”	43
Figura 13 - Ensaio Funil "V"	45
Figura 14 - Slump Test.....	47
Figura 15 - Mesa vibratória.....	48
Figura 16 - Averiguação táctil e visual da mistura	50
Figura 17 - Rolo de compactação	50
Figura 18 - Extração dos corpos de prova de CP.....	51
Figura 19 - Máquina universal de ensaios Instron e Emic.....	52
Figura 20 - Máquina Universal de Ensaios Mecânicos EMIC DL 2000.	53
Figura 21 - Imagem ao final do espalhamento – Cone de Abrams	58
Figura 22 - Imagem registrada ao final do ensaio do Anel J	60
Figura 23 - Imagem da Caixa L com concreto na parte vertical antes da abertura da comporta	61
Figura 24 - Imagem do ensaio da Caixa L, medidas H1 e H2	62
Figura 25 - Imagem registrada durante a da execução do ensaio no Funil V	63
Figura 26 - Imagem registrada durante a da execução do slump test.....	64
Figura 27 - Averiguação táctil e visual da mistura	65

Figura 28 - Modos de fratura nos concretos estudados	69
Figura 29 - Comportamentos de tensão x deslocamento dos ensaios de flexão em 4 pontos	70
Figura 30 - Fraturas na resistência à tração na flexão em 4 pontos.....	73

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Requisitos para classificação do CAA – Espalhamento	41
Quadro 2 - Requisitos para classificação do CAA – Anel J.....	42
Quadro 3 - Requisitos para classificação do CAA – Caixa L.....	44
Quadro 4 - Requisitos para classificação do CAA – Funil V.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação dos procedimentos normativos	32
Tabela 2 - Ensaios para a caracterização dos materiais	33
Tabela 3 - Características dos aditivos	34
Tabela 4 - Caracterização do cimento CPV ARI	34
Tabela 5 - Caracterização do agregado graúdo	35
Tabela 6 - Caracterização do agregado miúdo	37
Tabela 7 - Composição da mistura do CAA	38
Tabela 8 - Composição da mistura do CCV	47
Tabela 9 - Composição da mistura do CP	49
Tabela 10 - Massa de concreto por amostra	49
Tabela 11 - Resultados reológicos do CAA no estado fresco	58
Tabela 12 – Resultados obtidos nos ensaios mecânicos	66
Tabela 13 - Dados dos ensaios de resistência à compressão axial	67
Tabela 14 - Resultados de resistência à tração indireta	68
Tabela 15 - Dados dos ensaios de resistência à tração na flexão em 4 pontos	71
Tabela 16 - Resultados das amostras de concreto	75

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	American Concrete Institute
ANOVA	Analysis of Variance (Análise de Variância)
ASCE	American Society of Civil Engineers
ASTM	American Society for Testing and Materials
CAA	Concreto Autoadensável
CCV	Concreto Convencional Vibrado
CEB-FIB	Comité Euro-International du Béton / Fédération Internationale du Béton
CEN	Comitê Europeu de Normalização (Comité Européen de Normalisation)
CP	Concreto Permeável
CPV ARI	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial
CV	Coeficiente de Variação
DP	Desvio Padrão
EFNARC	European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems
EN	European Norms (Normas Europeias)
IEV	Índice de Estabilidade Visual
LEMAC	Laboratório de Estruturas e Materiais de Construção
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
PC	Concreto Permeável
PCE	Policarboxilato (tipo de polímero superplastificante)
UNI EN	Norma Europeia unificada (comum na Itália, associada ao CEN)
UNIPAMPA	Universidade Federal do Pampa

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.2. Objetivo geral	19
1.2.1 Objetivos específicos.....	19
2. CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1 Normas brasileiras e europeias.	20
2.1.1 Resistência à compressão axial	20
2.1.2 Resistência à tração indireta.....	21
2.1.3 Resistência à tração na flexão.	22
2.2 CEB-FIB.....	24
2.3 Concreto autoadensável (CAA).....	24
2.3.1 Propriedades gerais do CAA.....	25
2.3.2 Benefícios e desafios do CAA.....	26
2.4 Concreto convencional vibrado (CCV).....	26
2.4.1 Propriedades gerais do CCV	26
2.4.2 Adensamento do CCV.....	27
2.4.3 Benefícios e desafios do CCV	27
2.5 Concreto permeável (CP).....	28
2.5.1 Propriedades gerais do CP.....	28
2.5.2 Compactação do CP.....	29
2.5.3 Benefícios e desafios do CP	30
3. MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1 Síntese das diferenças normativas	31
3.2 Materiais.....	33
3.3 Caracterização dos Materiais	33
3.3.1 Caracterização dos aditivos e do cimento	33
3.3.2 Caracterização dos agregados	35
3.4 Produção de amostras.....	38
3.4.1 Composição, moldagem e adensamento do CAA.....	38
3.4.1.1 Ensaio de Espalhamento (slump flow).....	39
3.4.1.2 Ensaio de habilidade passante (Anel J)	41
3.4.1.3 Ensaio de habilidade passante (Caixa L)	43
3.4.1.4 Ensaio de tempo de escoamento no funil V	44
3.4.2 Composição, moldagem e adensamento do CCV	46

3.4.2.1 Ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone	47
3.4.3 <i>Composição</i> , moldagem e compactação do CP	48
3.4.4 Ensaio de resistência à compressão axial.....	51
3.4.5 Ensaio de resistência à tração Indireta.	52
3.4.6 Ensaio de resistência tração na flexão em 4 pontos.....	53
3.5 Equações de correlação dos ensaios mecânicos com fórmulas CEB-FIB (2010).....	54
3.5.1 Correlação de resistência à compressão axial com resistência à tração direta.	54
3.5.2 Correlação de resistência à tração indireta com resistência à tração direta.	55
3.5.3 Correlação de resistência à tração na flexão com resistência à tração direta.	56
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	57
4.1 Resultados dos ensaios reológicos	57
4.1.1 Concreto Autoadensável: Ensaio Reológico no Estado Fresco	57
4.1.2 Concreto Convencional: Ensaio Reológico no Estado Fresco	63
4.1.3 Concreto Permeável.....	64
4.2 Resultados dos ensaios mecânicos	65
4.2.1 Resistência à compressão axial	66
4.2.2 Resistência à tração indireta.....	67
4.2.3 Comportamento à tração na flexão em 4 pontos.....	70
4.3 Comparação dos resultados obtidos com equações que correlacionam à tração direta.....	74
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	76
6. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	78
REFERÊNCIAS.....	79

1. INTRODUÇÃO

O concreto se estabelece como um dos materiais mais fundamentais e amplamente utilizados na engenharia civil contemporânea, sendo a espinha dorsal de inúmeras estruturas que moldam nosso ambiente construído, desde edificações residenciais e comerciais até complexas obras de infraestrutura como pontes, barragens e pavimentos (MEHTA; MONTEIRO, 2014). A garantia da segurança, durabilidade e desempenho dessas estruturas depende intrinsecamente da caracterização das propriedades mecânicas do concreto empregado (NEVILLE, 2015). Nesse contexto, as normas técnicas desempenham um papel crucial, fornecendo diretrizes e procedimentos padronizados para a realização de ensaios, assegurando a qualidade e a confiabilidade dos materiais, e por conseguinte, das construções (HELENE; TERZIAN, 1993).

No cenário mundial existem diferentes sistemas normativos que regulamentam as práticas da construção civil. Dentre eles, destacam-se o sistema brasileiro, regido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), e o sistema europeu, unificado pelo Comitê Europeu de Normalização (CEN), com as normas europeias (EN). Embora ambos os sistemas visem garantir padrões elevados de qualidade e segurança, eles frequentemente prescrevem metodologias distintas para a avaliação das mesmas propriedades do concreto (DA SILVA, 2007). Essas diferenças podem abranger aspectos como a geometria e as dimensões dos corpos de prova, os equipamentos utilizados, as taxas de aplicação de carregamento e os procedimentos específicos de ensaio para determinar características essenciais como a resistência à compressão axial e a resistência à tração indireta (FERNANDES, 2012).

A existência dessas variações metodológicas suscita questionamentos importantes sobre a comparabilidade e a equivalência dos resultados obtidos sob diferentes referenciais normativos (GUETTI, 2012). Discrepâncias nos valores de resistência medidos podem ter implicações significativas no dimensionamento estrutural, na especificação de materiais, no controle de qualidade das obras e na interpretação de dados de pesquisa realizados em diferentes regiões (CAIADO, 2014). Compreender a magnitude e a natureza dessas diferenças é, portanto, fundamental para engenheiros, pesquisadores e demais profissionais da área que necessitam comparar dados provenientes de ensaios realizados segundo normas distintas (DA COSTA, 2011).

Diante desse panorama, no presente trabalho propõe-se realizar uma análise comparativa dos procedimentos e resultados da caracterização mecânica de concretos, confrontando as prescrições das normas brasileiras (ABNT) e europeias (EN).

Este estudo visa contribuir para um melhor entendimento das particularidades de cada conjunto normativo e de suas possíveis implicações nos resultados experimentais. Ao comparar diretamente os resultados obtidos, busca-se fornecer subsídios para a interpretação de dados de ensaios, auxiliando profissionais na tomada de decisões técnicas, especialmente em projetos que envolvam parcerias entre os mercados brasileiro e europeu ou a aplicação de tecnologias e materiais desenvolvidos sob diferentes referenciais normativos (MASSAROTTO, 2019).

1.2. Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é analisar e comparar os resultados dos ensaios mecânicos obtidos em amostras de concreto, quando executados seguindo os procedimentos descritos nas normas técnicas, ABNT NBR (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e EN (European Norms).

1.2.1 Objetivos específicos

1 – Obter e avaliar os resultados dos ensaios reológicos no estado fresco dos diferentes concretos, seguindo as normas NBR;

2 – Analisar as diferenças dos procedimentos de cada ensaio mecânico descritos nas normas NBR e EN;

3 – Avaliar os resultados obtidos de resistência à compressão, realizados através dos ensaios de compressão axial, descritas pelas normas NBR 5739 (2018) e UNI EN 12390-3 (2003);

4 – Analisar os resultados obtidos de resistência à tração através dos ensaios de tração indireta, descritas pelas normas NBR 7222 (2011) e UNI EN 12390-6 (2002);

5 – Avaliar os resultados de resistência à tração através de ensaios de flexão em 4 pontos, conforme os procedimentos descritos pelas normas NBR 12142 (2010) e UNI EN 12390-5 (2002);

6 – Comparar e analisar estatisticamente os resultados mecânicos obtidos.

2. CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo são apresentadas as revisões bibliográficas utilizadas para a realização deste estudo.

2.1 Normas brasileiras e europeias.

As normas brasileiras e europeias desempenham um papel fundamental na padronização e regulamentação de procedimentos relacionados ao concreto, abordando aspectos como corpos de prova, equipamentos para aplicação, velocidade do carregamento, entre outros, essas normas orientam a execução de ensaios laboratoriais e a avaliação do desempenho do concreto sob diferentes condições de carregamento, visando garantir a segurança e a durabilidade das estruturas construídas. As normas desempenham um papel fundamental na regulamentação e padronização de procedimentos relacionados ao concreto. A observância dessas normas é essencial para garantir a qualidade, a segurança e a durabilidade das estruturas construídas com concreto, contribuindo para a sustentabilidade e o desenvolvimento da construção civil (BONI, 2018).

Portanto, ao comparar as normas de resistência à compressão axial, tração indireta e tração na flexão, é crucial considerar não apenas os requisitos normativos estabelecidos, mas também a influência de adições e variações nos materiais utilizados, a fim de garantir a qualidade e adequação do concreto para suas aplicações específicas.

2.1.1 Resistência à compressão axial

A distinção nas normas de ensaio de resistência à compressão axial, como a NBR 5739 brasileira e a EN 12390-3 europeia, é evidenciada pelas dimensões dos corpos de prova utilizados. Enquanto a norma brasileira emprega corpos de prova cilíndricos de 10x20 cm, a norma europeia utiliza cubos de 15 cm para realizar os ensaios. Essa diferença nas dimensões dos corpos de prova pode impactar nos resultados dos testes e na interpretação dos dados obtidos (CANGUSSU *et al.*, 2022).

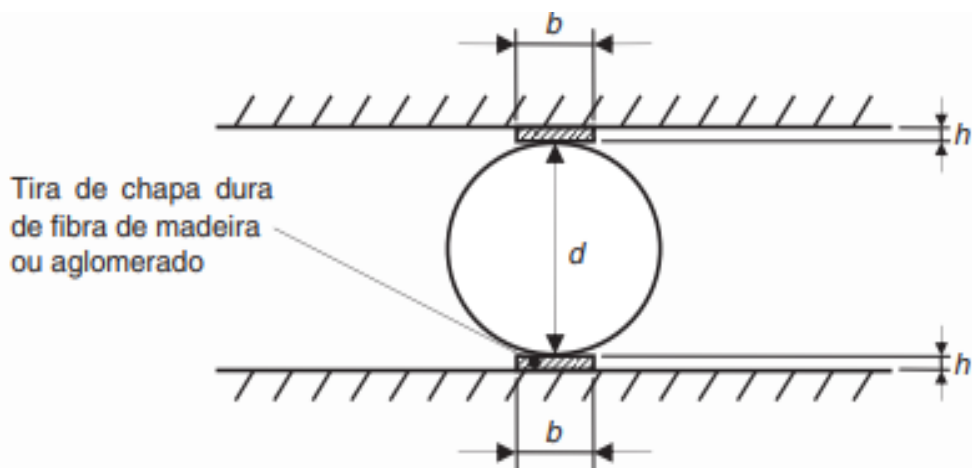
Um aspecto relevante dessas diferenças está na velocidade de aplicação da carga, enquanto a norma brasileira NBR 5739 (ABNT, 2018) especifica uma taxa de

carregamento de $(0,45 \pm 0,15)$ MPa/s, a norma europeia EN 12390-3 (UNI, 2003) permite uma faixa mais ampla, entre 0,2 e 1,0 MPa/s.

2.1.2 Resistência à tração indireta

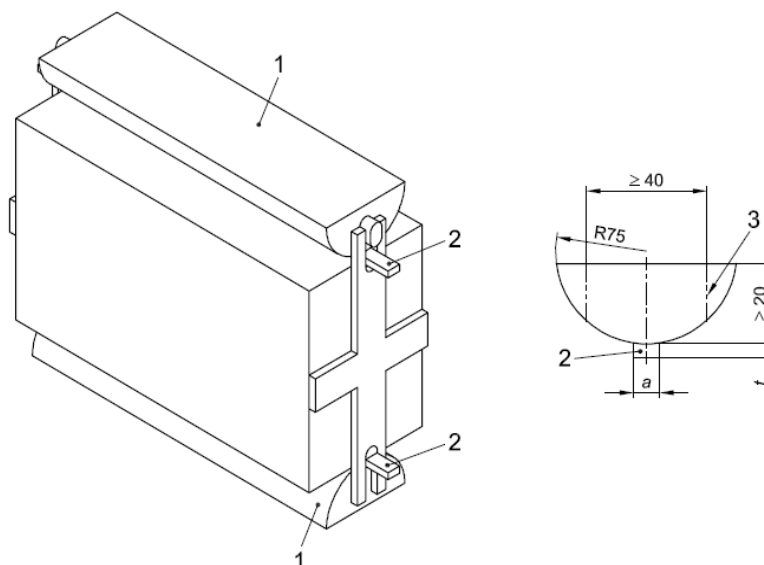
Ao comparar a norma brasileira e a norma europeia para ensaios de resistência à tração indireta dos corpos de prova, uma distinção importante é o tipo de corpo de prova utilizado em cada norma. A norma brasileira, como a NBR 7222, emprega corpos de prova cilíndricos deitados, ilustrado na Figura 1, enquanto a norma europeia, como a EN 12390-6, utiliza amostras prismáticas. Além disso, um aspecto peculiar da norma europeia é a inclusão de um semicilindro de aço com diâmetro de 15 cm no aparato de ensaio, que não é utilizado na norma brasileira. Essa diferença na geometria dos corpos de prova pode influenciar a distribuição de tensões durante o ensaio e, conseqüentemente, os resultados de resistência à tração indireta. Como demonstrado na Figura 1.

Figura 1 - Representação do ensaio de compressão diametral NBR



Fonte: Adaptado de NBR 7222 (ABNT, 2011).

Figura 2 - Representação do ensaio de resistência à tração indireta dos corpos de prova EN



Fonte: Adaptado de EN 12390-6 (UNI, 2002).

Outra diferença entre as normas está relacionada ao tamanho da talisca. Na norma europeia, deve-se utilizar uma madeira com densidade superior a 900 kg/m^3 , com largura de $(10 \pm 1) \text{ mm}$, espessura de $(4 \pm 1) \text{ mm}$ e comprimento maior que a linha de contato com o corpo de prova EN 12390-6 (UNI, 2002). Já a norma brasileira não especifica a densidade da madeira, apenas determina que seja uma chapa dura de fibra de madeira ou aglomerado, isenta de defeitos. As dimensões da talisca, segundo a norma brasileira, estão relacionadas ao diâmetro do corpo de prova, sendo a largura de $(0,15 \pm 0,01)d$ em que d é o diâmetro do corpo de prova e a espessura de $(3,5 \pm 0,5) \text{ mm}$, com comprimento igual ou superior ao do corpo de prova NBR 7222 (ABNT, 2011).

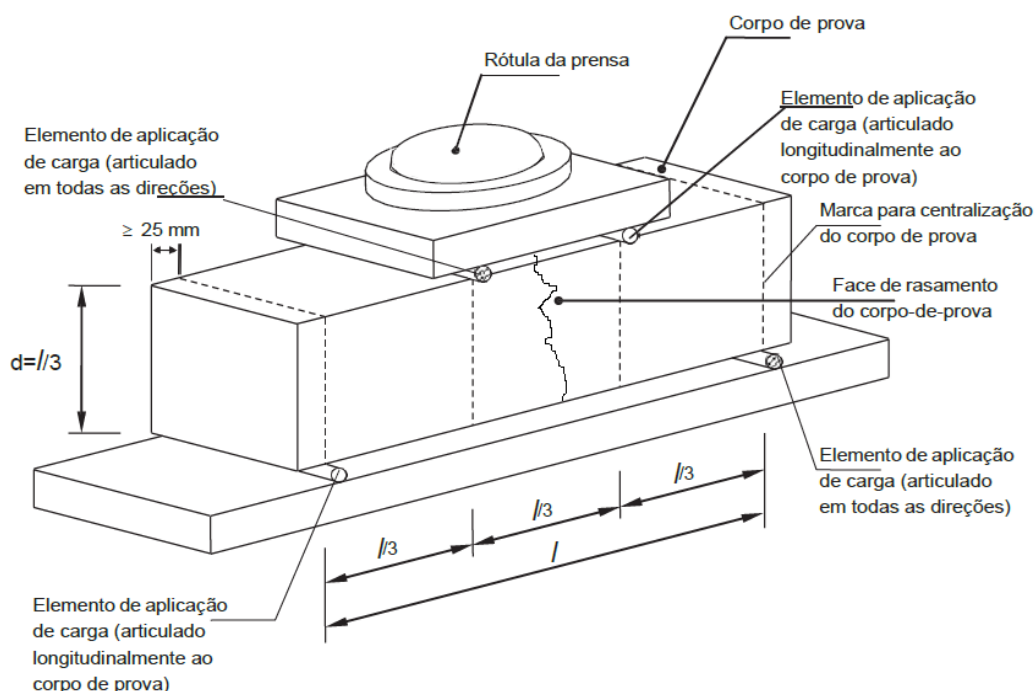
Ambas as normas especificam que a talisca deve ser utilizada apenas uma vez, devendo ser descartada após o uso. A velocidade de aplicação da carga durante o ensaio na norma brasileira estabelece uma taxa de carregamento de $(0,05 \pm 0,02) \text{ MPa/s}$, enquanto a norma europeia permite uma faixa de 0,04 a 0,06 MPa/s.

2.1.3 Resistência à tração na flexão.

A resistência à tração na flexão é um dos parâmetros mecânicos fundamentais para caracterizar o desempenho estrutural do concreto, especialmente em elementos solicitados à flexão, como vigas, lajes e pavimentos. Segundo Neville (2015), apesar de o concreto possuir alta resistência à compressão, sua baixa resistência à tração justifica a realização de ensaios padronizados para obtenção de dados confiáveis.

No contexto normativo brasileiro NBR 12142 e europeu EN 12390-5, define-se o método de ensaio de tração na flexão em corpos de prova prismáticos com seção transversal de 10x10x40 cm. O ensaio é realizado com carregamento em dois pontos equidistantes, adotando um vão de 30 cm entre apoios. Essa configuração, conhecida como flexão em quatro pontos, gera uma zona de momento fletor constante entre os pontos dos elementos de aplicação de carga, o que tende a promover a fissuração do concreto na região do terço médio mostrada na Figura 3.

Figura 3 - Representação do ensaio de resistência à tração na flexão dos corpos de prova



Fonte: Adaptado de NBR 12142 (ABNT, 2010).

Uma diferença entre as normas está na velocidade de aplicação da carga: a NBR 12142 estabelece uma faixa de 0,015 a 0,02 MPa/s, enquanto a norma europeia EN 12390-5 permite velocidades mais elevadas, entre 0,04 e 0,06 MPa/s.

2.2 CEB-FIB

O CEB-FIB Model Code 2010, desenvolvido pela FIB (Fédération Internationale du Béton), é um documento de referência internacional que reúne e consolida o conhecimento técnico-científico sobre estruturas de concreto. Trata-se de uma evolução significativa em relação às versões anteriores, incorporando conceitos modernos de projeto, dimensionamento, durabilidade e sustentabilidade de estruturas de concreto armado, protendido e pré-moldado. Sua proposta é servir como uma base normativa unificada e abrangente, capaz de orientar tanto a elaboração de códigos nacionais quanto o desenvolvimento de projetos inovadores e práticas de engenharia baseadas em desempenho (FIB, 2013).

O documento apresenta uma abordagem orientada ao ciclo de vida das estruturas, com ênfase em critérios de projeto baseados em desempenho, contemplando não apenas os aspectos estruturais, mas também os requisitos de durabilidade e manutenção. Além disso, o Model Code 2010 introduz recomendações detalhadas para novos materiais, como concretos de alta resistência, concretos autoadensáveis e reforçados com fibras (HELLAND , 2013).

Assim, o CEB-FIP Model Code 2010 representa não apenas um guia técnico e normativo de alta relevância para a engenharia estrutural contemporânea, mas também uma fonte essencial para a fundamentação teórica e metodológica de estudos envolvendo a caracterização e o desempenho mecânico de concretos.

2.3 Concreto autoadensável (CAA)

O Concreto Autoadensável (CAA) foi desenvolvido no Japão em 1986 pelo professor Hajime Okamura, da Kochi University of Technology. A motivação inicial para sua criação foi superar a deficiência de mão de obra técnica e qualificada na construção civil japonesa, que estava comprometendo a durabilidade das estruturas de concreto. A introdução desse concreto especial, o CAA, mostrou uma solução eficaz, permitindo que as estruturas ganhassem durabilidade e confiabilidade (Okamura e Ouchi, 2003).

2.3.1 Propriedades gerais do CAA

Conforme a NBR 15823 (ABNT, 2017), para que o concreto seja classificado como Auto Adensável (CAA), ele deve atender a algumas características principais: fluidez, capacidade de passar por obstáculos e a resistência à segregação. Essas propriedades conferem ao CAA um estado fluido e plástico que permite seu uso em diversas aplicações estruturais complexas de se concretar. Para atingir essa plasticidade e fluidez e garantir o desempenho desejado, a mistura do CAA utiliza aditivos especiais, como superplastificantes ou modificadores de viscosidade, que promovem sua capacidade de escoamento e a homogeneidade dos mesmos materiais na presença de elementos estruturais densamente armados (NBR 15823, 2017).

A fluidez é um aspecto crucial, pois ela permite que o CAA se mova e preencha totalmente o espaço necessário sem a aplicação de vibração, seja ela interna ou externa, isso possibilita a aplicação do concreto em situações onde o acesso para vibração mecânica seria inviável ou onde a densidade de armaduras poderia comprometer a qualidade do adensamento (NBR 15823, 2017). Além disso, a resistência à segregação, garantida pela composição equilibrada e pelos aditivos utilizados, assegura que a mistura permaneça eficiente durante o transporte, lançamento e em repouso, evitando a separação dos componentes e garantindo a integridade da estrutura concretada (NBR 15823, 2017).

A utilização do CAA tem sido uma solução vantajosa na construção civil, pois melhora a durabilidade e a confiabilidade das estruturas de concreto, como observado por Okamura e Ouchi (2003). Além disso, segundo a EFNARC (2002), o CAA apresenta uma série de benefícios econômicos e operacionais, tais como maior agilidade na execução das obras, redução de mão de obra, acabamentos de superfície mais uniformes, aumento da durabilidade das estruturas, níveis de ruídos reduzidos no ambiente de trabalho e melhorias na segurança do local de trabalho. Esses fatores fazem do CAA uma escolha cada vez mais preferida em obras que exigem alta eficiência, qualidade e durabilidade estrutural, contribuindo para a economia e a sustentabilidade na construção civil.

2.3.2 Benefícios e desafios do CAA

A redução de custo de aplicação por metro cúbico, a garantia de um excelente acabamento em concreto aparente, a possibilidade de bombeamento em longas distâncias horizontais e verticais, a otimização da mão de obra, maior rapidez na execução das obras, são algumas das inúmeras vantagens oferecidas com a utilização do concreto autoadensável, conforme apontado por Angelin (ANGELIN, LINTZ e BARBOSA; 2018). Além disso, há a eliminação de vibração no canteiro de obras, ampliando opções de trabalho com fôrmas de dimensões menores, aumentando a durabilidade das fôrmas e antecipando as operações de cura, favorecendo o nivelamento de lajes.

Porém, é importante destacar que para que essas vantagens sejam evidenciadas, é fundamental o alto controle do concreto autoadensável, desde a dosagem até o lançamento no estado fresco, os ensaios reológicos de controle do concreto autoadensável (CAA) são essenciais para verificar sua fluidez, coesão e resistência à segregação no estado fresco (GOMES & BARROS, 2009). Entre os principais testes estão o *slump flow*, que avalia o espalhamento; o funil em V, que indica a viscosidade; a caixa em L e o anel J, que medem a passabilidade entre armaduras, sendo que o anel J também ajuda a identificar a segregação.

2.4 Concreto convencional vibrado (CCV)

O concreto convencional como conhecemos hoje, constituído da mistura de agregados e cimento, foi desenvolvido pelo engenheiro civil inglês John Smeaton em 1756 na Inglaterra. A versatilidade e a resistência deste material foram revolucionárias no setor da construção civil, sendo colocados à prova a todo tempo, no emprego dos mais variados tipos construções, rodovias, prédios, entre outros. (QUEIROZ, 2019)

2.4.1 Propriedades gerais do CCV

Conforme descreve (COSTA e CABRAL, 2019), o concreto convencional vibrado (CCV) é um dos materiais mais utilizados na construção civil, tradicionalmente feito com uma mistura de cimento, areia, brita e água, opcionalmente, aditivos para

melhorar suas propriedades físicas e mecânicas. Após o lançamento do concreto convencional sobre as fôrmas, o mesmo requer a vibração mecânica, onde a mesma ajuda na acomodação da massa, preenchendo vazios e eliminando bolhas de ar, de forma a garantir o preenchimento total do local de aplicação, homogeneizando a mistura.

2.4.2 Adensamento do CCV

A compactação do concreto convencional vibrado é uma etapa fundamental no processo de concretagem, visando garantir a densidade e a resistência do material, além de minimizar a presença de vazios (NBR 14931, 2023). No concreto vibrado, o processo de compactação é realizado por meio de equipamentos vibratórios, que podem ser internos ou externos (vibrador de imersão e mesa vibratória). Esses equipamentos são responsáveis por transmitir energia ao concreto fresco, reduzindo a fricção entre os agregados e facilitando a expulsão do ar aprisionado (NEVILLE, 2015). A remoção dessas bolhas de ar melhora a homogeneidade do concreto e contribui para um acabamento mais liso e resistente.

O processo de vibração deve ser executado com controle para evitar problemas de segregação, que ocorrem quando os componentes do concreto se separam devido ao excesso de vibração (NBR 14931, 2023). A segregação compromete a integridade do concreto, especialmente em estruturas que necessitam de alta resistência. Por isso, é essencial observar o tempo e a intensidade da vibração, ajustando esses parâmetros de acordo com as especificações do projeto e a plasticidade do concreto. Em resumo, a compactação por vibração é indispensável no concreto convencional para assegurar a durabilidade, resistência e qualidade final da estrutura (NBR 6118, 2023).

2.4.3 Benefícios e desafios do CCV

O concreto convencional é amplamente utilizado na construção civil devido às suas características, resistência à tendência e disponibilidade de materiais. Entre os seus principais benefícios, sendo adequada para uma variedade de aplicações, desde pequenas edificações até grandes obras de infraestrutura. Além disso, o custo

relativamente baixo e a familiaridade dos profissionais com suas propriedades fazem do concreto convencional uma escolha econômica e prática. Suas propriedades permitem que ele atenda aos requisitos de durabilidade e desempenho estrutural estabelecidos por normas e exigências, garantindo a segurança e a longevidade das construções (NBR 6118, 2023).

No entanto, o uso do concreto convencional também apresenta desafios. O material possui uma alta relação água/cimento, o que pode resultar em um maior risco de fissuração e menor durabilidade em ambientes agressivos (Mehta e Monteiro, 2014). Além disso, a necessidade de adensamento por vibração exige mão de obra especializada e equipamentos adequados para evitar problemas como segregação e vazios internos, que comprometem a qualidade do material. Em comparação com novos materiais, como o concreto autoadensável, o concreto convencional requer maior controle durante o lançamento para garantir o desempenho esperado, o que pode limitar sua eficiência em aplicações que exigem rapidez e alta qualidade de acabamento (Neville, 2015).

2.5 Concreto permeável (CP)

O CP é um material de construção inovador que tem ganhado destaque devido à sua capacidade de permitir a passagem de água, contribuindo para a redução do escoamento superficial e auxiliando na gestão das águas pluviais (RAMOS et al. 2021).

A estrutura porosa do CP permite a infiltração da água no solo, auxiliando na recarga de aquíferos e na redução do volume de água superficial, o que é crucial para o controle de enchentes e a preservação dos recursos hídricos (NGUYEN *et al.*, 2022).

A densidade e porosidade são propriedades físicas fundamentais desse tipo de concreto, influenciando diretamente seu desempenho hidráulico, e consequentemente, a sua performance mecânica (COSTA, 2019).

2.5.1 Propriedades gerais do CP

A resistência à compressão uniaxial é uma das propriedades mecânicas mais importantes do CP, refletindo sua capacidade de suportar cargas de compressão. A

resistência à tração na flexão é a propriedade que mede a capacidade de resistir a esforços de flexão, sendo determinante para definir o tipo de aplicação do pavimento de CP, como tráfego de pedestres ou tráfego leve de veículos (NBR 16416, 2015). No ensaio de tração indireta é possível determinar a capacidade do CP de resistir a esforços de compressão aplicados perpendicularmente à sua superfície.

A permeabilidade depende diretamente de duas propriedades-chave, densidade e porosidade (CASTRO et al., 2022). Enquanto a densidade está ligada ao grau de compactação dos materiais, a porosidade representa a quantidade de vazios presentes no concreto. Para que a água escoe de forma eficiente por sua estrutura, é necessário manter uma porosidade elevada, mas sem reduzir demais a densidade, garantindo assim a infiltração da água sem comprometer a resistência do material.

Dosagens adequadas dos materiais, a escolha dos agregados e adições específicas, bem como a aplicação de técnicas adequadas de produção, são fundamentais para otimizar essas propriedades e promover a eficácia desse material inovador na construção civil.

2.5.2 Compactação do CP

A escolha e aplicação dos métodos de compactação do CP, seja em laboratório ou in loco, são aspectos cruciais que influenciam diretamente na qualidade e durabilidade do material. Embora a proporção da mistura seja um fator crucial, a energia e o método de compactação também influenciam diretamente a porosidade (DEO; NEITHALATH, 2010), entre outras características.

Os métodos tradicionais de adensamento usados no concreto convencional não são recomendados para misturas do CP, pois podem não representar com precisão as condições reais e podem ser inconsistentes. O uso da haste de adensamento, comum em concreto convencional, foi considerado inadequado para amostras de CP (HASELBACH; FREEMAN, 2006). No entanto, algumas pesquisas ainda utilizam esse método. É importante destacar que atualmente não existem normas técnicas específicas para avaliar a resistência à compressão e à tração na flexão de CP, resultando na ausência de procedimentos padronizados para a preparação de amostras em laboratório. Os métodos de moldagem em laboratório incluem pressão pneumática, mesa vibratória, compactador Marshall, compactação manual, entre outros.

A compactação do CP no local exige métodos diferentes daqueles usados para pavimentos de concreto convencional. De acordo com manuais de aplicação como *American concrete Institute* (ACI, 2023) e *Permeable Pavements: Recommended Design Guidelines* (ASCE, 2015), a compactação do CP deve ser feita com um rolo aplicado na última camada do pavimento, devido ao abatimento (*slump*) nulo do material.

2.5.3 Benefícios e desafios do CP

O CP pode ser uma solução eficiente para a gestão de águas pluviais em áreas urbanas, contribuindo para a redução da sobrecarga nos sistemas de drenagem e minimizando os impactos negativos das enchentes (LUO *et al.*, 2020).

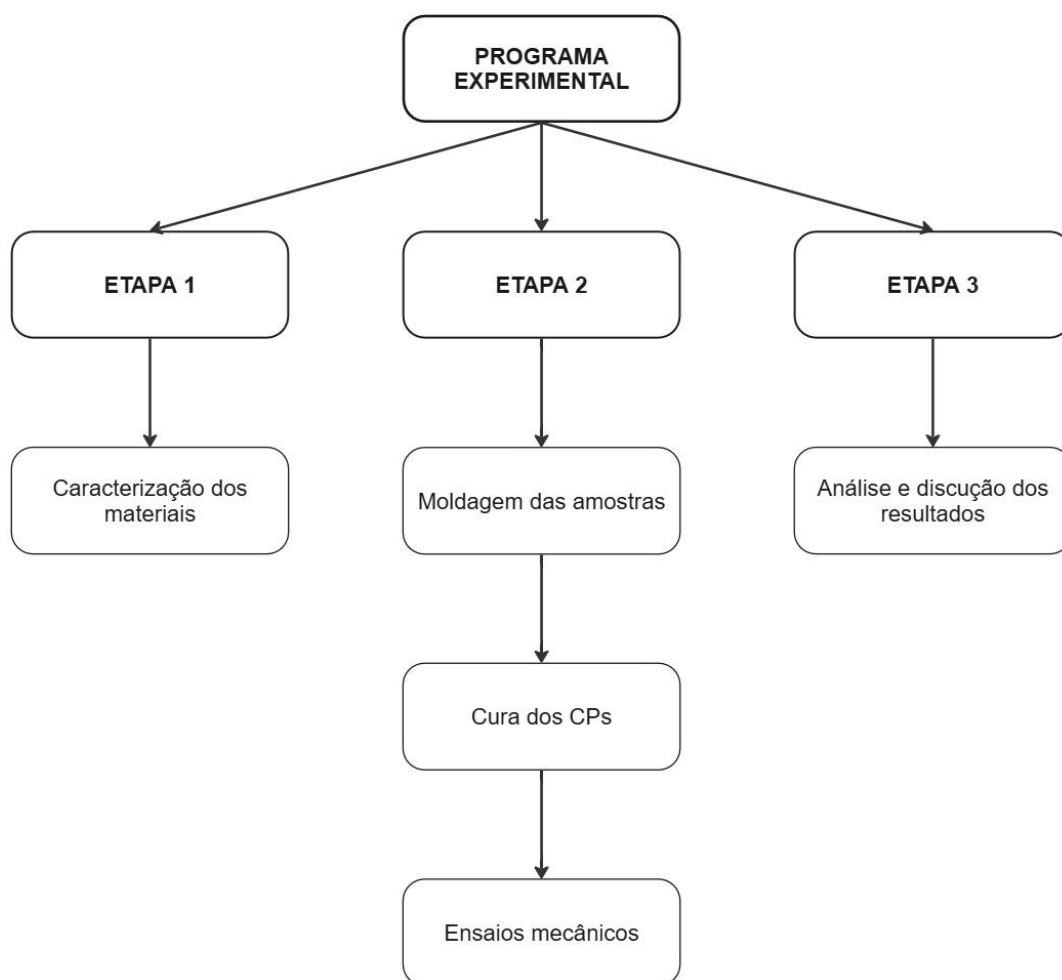
A utilização do CP em calçadas, ciclovias e áreas de lazer pode proporcionar ambientes mais seguros e acessíveis para pedestres e ciclistas, promovendo a integração e a qualidade de vida nas cidades (YUAN, 2024). Além disso, o CP pode ser uma ferramenta eficaz para promover a sustentabilidade e a conscientização ambiental nas comunidades. Sua capacidade de filtrar e purificar a água da chuva, removendo impurezas e poluentes, contribui para a preservação dos recursos hídricos e a proteção do meio ambiente.

Desta forma, o CP oferece uma série de benefícios sociais que vão além da infraestrutura urbana, impactando positivamente a qualidade de vida das pessoas e a sustentabilidade das comunidades. Sua capacidade de promover ambientes mais seguros, acessíveis e sustentáveis faz dele uma solução inovadora e eficaz para os desafios urbanos contemporâneos, contribuindo para cidades mais resilientes e habitáveis (AZAD *et al.* 2022).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados todos os materiais, suas propriedades e os procedimentos experimentais que foram realizados neste estudo, conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Programa experimental



Fonte: Elaboração Própria (2025).

3.1 Síntese das diferenças normativas

Como o intuito principal deste trabalho é a análise estatística entre as normas brasileira e europeia para a caracterização mecânica de concretos, uma vez que estas apresentam procedimentos distintos de execução dos ensaios, a Tabela 1 apresenta uma comparação entre os respectivos métodos normativos.

Tabela 1 - Comparação dos procedimentos normativos

Tipo de Ensaio	Geometria da Amostra		Cálculo e Configuração do Ensaio		Velocidades de Ensaio MPa/s	
	NBR	EN	NBR	EN	NBR	EN
Resistência à Compressão Axial	Cilindro	Cubo	$\frac{Força}{Área}$	$\frac{Força}{Área}$	0,5	0,5
Resistência à Tração Indireta	Cilindro	Prisma	Talisca	Talisca e Semicilindro	0,05	0,05
Resistencia à Tração na Flexão	Prisma	Prisma	4 Pontos	4 Pontos	0,02	0,04

Fonte: Elaboração própria (2025).

O método de ensaio adotado foi o de controle por carga, o qual consiste na aplicação da força ao corpo de prova de forma contínua e progressiva, com controle da taxa de incremento de carga durante o ensaio. Nesse sistema, a máquina de ensaio é programada para aumentar a carga a uma taxa constante, geralmente expressa em unidades de pressão por tempo, como megapascal por segundo (MPa/s).

Para que o controle seja realizado corretamente nessa modalidade, é necessário informar previamente à máquina a área da seção transversal do corpo de prova, uma vez que ela calculará automaticamente a tensão aplicada. Assim, ao controlar a variação de tensão por segundo (MPa/s), a máquina ajusta proporcionalmente a variação da força por segundo (N/s), respeitando a geometria do corpo de prova.

Esse método é especialmente útil quando se deseja manter uma taxa de solicitação uniforme em termos de tensão aplicada, o que permite comparações mais equitativas entre corpos de prova de diferentes dimensões, já que a carga aplicada é proporcional à sua área.

3.2 Materiais

Para a produção dos concretos, foram utilizados os seguintes materiais: cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI), agregados, aditivos e água potável.

3.3 Caracterização dos Materiais

Nesta etapa, são fornecidas informações sobre os materiais utilizados nesta pesquisa e suas respectivas caracterizações, conforme apresentado na Tabela 2, assim como os métodos adotados para realizar as análises correspondentes.

Tabela 2 - Ensaios para a caracterização dos materiais

Material	Propriedades	Caracterização	Norma Regulamentadora
Cimento Portland	Física, mecânicas e química	Fabricante	-
Aditivos	Teor de sólidos	Fabricante e Ensaio Laboratoriais	NBR 11768-3 (ABNT, 2019)
	Massas específicas		
Agregado Miúdo	Granulometria	Ensaio Laboratoriais	NBR 17054 (ABNT, 2022)
	Massas específicas		NBR 16916 (ABNT, 2021)
	Massa específica unitária		NBR 16972 (ABNT, 2021)
Agregado Graúdo	Granulometria	Ensaio Laboratoriais	NBR 17054 (ABNT, 2022)
	Massas específicas		NBR 16917 (ABNT, 2021)

Fonte: Elaboração própria (2025).

3.3.1 Caracterização dos aditivos e do cimento

O modificador de reologia empregado foi o aditivo V-MAR® VSC500, utilizado na mistura do CP, beneficiando sua aplicação e acabamento. Este aditivo incorpora um polímero patenteado de produção controlada e atende às especificações ASTM C494 (2017) como aditivo tipo D, recomendado para uso na proporção de (455 a 980) ml/100kg de materiais cimentícios.

O superplastificante empregado no CAA pertence à linha MC-PowerFlow 4001, classificado como um aditivo redutor de água tipo 2 (superplastificante PCE de pega

normal), à base de polímeros policarboxilatos. Seu mecanismo de ação permite a produção de concretos com baixíssimo teor de água, mantendo excelente trabalhabilidade. Compatível com todas as classes de cimento Portland, é indicado principalmente para concretos de ultra resistência, autoadensáveis, de alto desempenho e com elevada fluidez.

A Tabela 3 mostra as principais características dos aditivos utilizados.

Tabela 3 - Características dos aditivos

Propriedade	Modificador de reologia	Superplastificante
Teor de sólidos (%)	Não fornecido pelo fabricante	47,43
Massa específica (g/cm ³)	1,0	1,10

Fonte: Elaboração própria (2025).

O material cimentício utilizado foi o cimento Portland CP V-ARI, de alta resistência inicial, doado pela Indústria de Postes Indaial LTDA. Esse cimento tem sido utilizado por conter a menor substituição de clínquer por adições, entre os produzidos comercialmente. Na Tabela 4 consta os dados da caracterização do material que foram fornecidos pelo fabricante.

Tabela 4 - Caracterização do cimento CPV ARI

Exigências Físicas e Mecânicas									
Parâmetros	Finura			Tempo de pega		Resistência à compressão			
	Blaine (cm ² /g)	#200 (%)	#325 (%)	Início (min)	Fim (min)	1 Dias (MPa)	3 Dias (MPa)	7 Dias (MPa)	28 Dias (MPa)
Exigências	≥3000	≤6,0	-	≥60	≤600	≥14	≥24	≥34	-
Médias	4433	0,12	0,64	154	208	25,7	38,6	44,6	52,3
Desvio Padrão	56,70	0,02	0,07	4	3	0,5	0,5	0,7	0,7
Exigências Químicas									
Parâmetros	MgO	SO ₃	Perda ao fogo	Resíduo insolúvel					
Exigências	≤6,5 %	≤3,5 %	≤4,5 %	≤1,0 %					
Média	3,65	2,76	3,48	0,83					
Desvio padrão	0,15	0,06	0,14	0,08					

Fonte: Fornecido pelo fabricante (2025).

3.3.2 Caracterização dos agregados

Para a produção do CAA e do CCV foi utilizada brita 1, e brita 0 para o CP como agregado gráúdo, conforme mostrado na Figura 5 (a e b). Os diâmetros máximos característicos, os módulos de finura e as curvas granulométricas foram determinados pela NBR 17054 (2022). As propriedades de massa específica e absorção de água foram obtidas através de ensaios realizados conforme a NBR 16917 (2021), e são apresentados na Tabela 5. A Figura 6 mostra a curva granulométrica dos agregados, juntamente com os limites normativos estabelecidos pela NBR 7211 (2022).

Figura 5 - Agregados gráudos



(a) Brita 0

(b) Brita 1

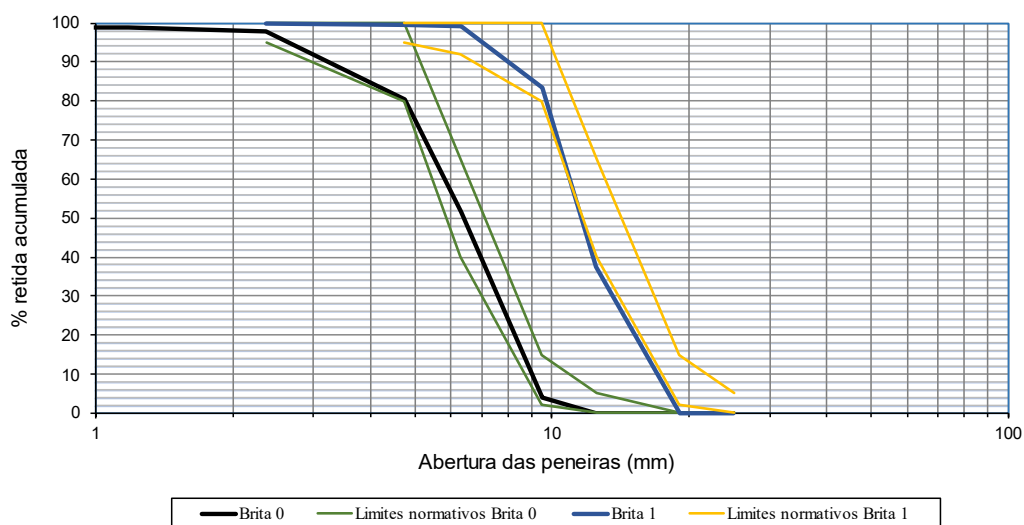
Fonte: Elaboração própria (2025).

Tabela 5 - Caracterização do agregado gráúdo

Caracterização	Brita 0	Brita 1
Densidade seca (g/cm ³)	2,71	2,69
Densidade Sat. Sup. Seca (g/cm ³)	2,78	2,75
Absorção de água (%)	2,38	2,12
Diâmetro máximo (mm)	9,5	19
Módulo de finura	5,78	6,82

Fonte: Elaboração própria (2025).

Figura 6 - Curva granulométrica dos agregados graúdo, incluindo os limites normativos: brita 0 e brita 1



Fonte: Elaboração própria (2025).

Como agregado miúdo, utilizou-se areia natural classificada como fina, originária do município de Manoel Viana/RS. A Figura 7 ilustra esse material.

Figura 7 - Agregado miúdo

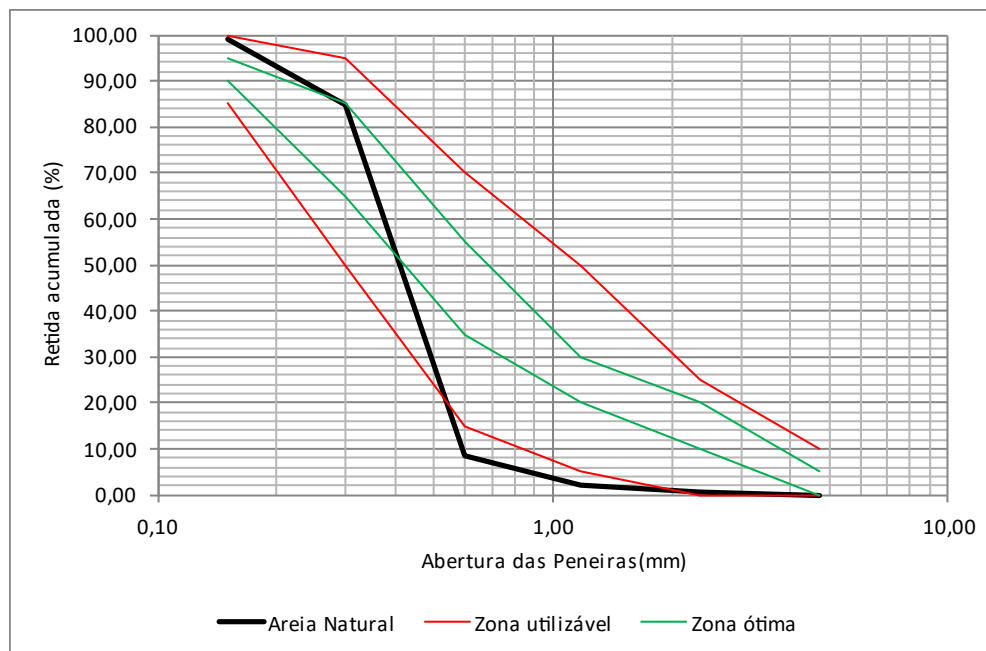


Fonte: Elaboração própria (2025).

O diâmetro máximo característico e o módulo de finura, assim como a granulometria foram determinados pela NBR 17054 (2022). A análise granulométrica do material indicou que 50 % da distribuição granulométrica encontra-se abaixo limite

inferior estabelecido pela norma NBR 7211 (2022) para esse tipo de agregado, conforme demonstrado na Figura 8.

Figura 8 - Curva granulométrica do agregado miúdo, incluindo os limites normativos



Fonte: Elaboração própria (2025).

O agregado miúdo também foi submetido a ensaios para a determinação de suas massas específicas, seguindo a NBR 16916 (2021) e da massa específica unitária determinada seguindo a ABNT NBR 16972 (2021), cujos resultados estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Caracterização do agregado miúdo

Caracterização	Areia
Densidade seca (g/cm ³)	2,54
Densidade Sat. Sup. Seca (g/cm ³)	2,55
Absorção de água (%)	0,17
Massa unitária solta (g/cm ³)	1,61
Massa unitária compactada (g/cm ³)	1,70
Diâmetro máximo (mm)	1,18
Módulo de finura	1,95

Fonte: Elaboração própria (2025).

3.4 Produção de amostras

Nesse item do trabalho são explicadas as composições, a moldagem, o adensamento e a compactação dos concretos que foram produzidos para a realização dos ensaios.

3.4.1 Composição, moldagem e adensamento do CAA

Foi utilizado como referência o traço de concreto autoadensável fornecido pela Usina de Concreto como descrito por Padoin (2017), desenvolvido para obter um fck de 25 MPa. A mistura possuía uma relação água/cimento de 0,50 como definido pela Usina. Entretanto, neste trabalho utilizou-se o aditivo superplastificante à base de policarboxilato disponível no campus, o qual possibilitou uma acentuada redução de água na mistura, resultando em uma nova relação água/cimento de 0,35, assim possibilitando um concreto com resistência superior ao traço de referência. Conforme Tabela 7.

Tabela 7 - Composição da mistura do CAA

Materiais	Referência Peso (Kg/m ³)	Utilizado Peso (Kg/m ³)
Cimento Portland CP V ARI	400,00	400,00
Agregado miúdo	731,00	731,00
Agregado graúdo	904,00	904,00
Água	210,00	140,00
Aditivo	0,32	0,32

Fonte: Elaboração própria (2025).

Para a realização da mistura, utilizou-se uma betoneira de eixo inclinado com capacidade de 180 l. Inicialmente, efetuou-se a limpeza completa do interior da betoneira, removendo quaisquer resíduos de materiais anteriores, seguida da sua imprimação. Em seguida, foi inserido o agregado graúdo com uma pequena quantidade de água, apenas o suficiente para promover sua umidificação superficial.

Após essa etapa, adicionaram-se o agregado miúdo e o material cimentício, realizando-se a mistura até a obtenção de um composto seco e homogêneo.

Posteriormente, foi incorporada aproximadamente oitenta por cento da água de amassamento, seguida da adição do aditivo superplastificante. Em continuidade, adicionou-se o volume restante de água. A mistura foi mantida até que o concreto apresentasse aspecto homogêneo, com propriedades visuais para realização dos ensaios reológicos no estado fresco compatíveis com as exigências de um concreto autoadensável (CAA).

3.4.1.1 Ensaio de Espalhamento (slump flow)

O ensaio de espalhamento com o cone de Abrams (ver Figura 9), padronizado pela norma NBR 15823-2 (ABNT, 2017), é um método fundamental para caracterizar a fluidez do Concreto Autoadensável (CAA).

Figura 9 - Cone de Abrams

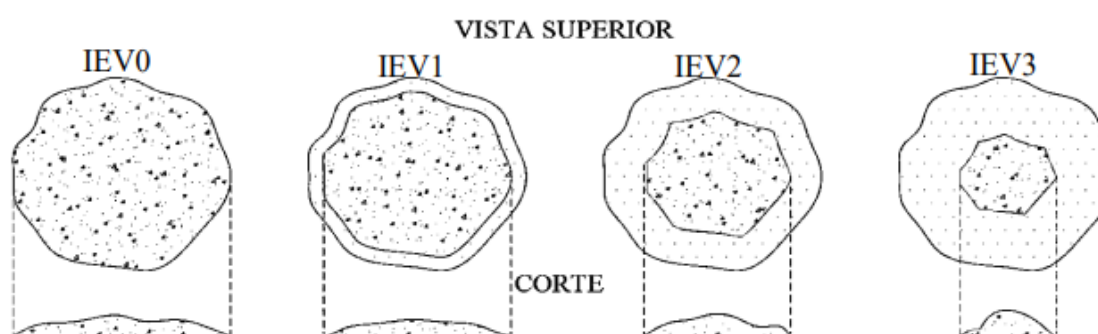


Fonte: Jucá (2020).

Neste procedimento, é possível avaliar a capacidade do concreto de fluir livremente sob seu próprio peso, medindo-se o diâmetro final do material espalhado após a remoção vertical do cone previamente preenchido sem qualquer compactação. O resultado, obtido pela média de duas medições diametralmente opostas, classifica o concreto em termos de espalhamento e permite inferir sobre sua viscosidade plástica aparente. Adicionalmente, o ensaio incorpora uma análise visual, conhecida

como índice de estabilidade visual (IEV), que possibilita identificar potenciais problemas, como segregação dos agregados ou exsudação de água, indicando a homogeneidade da mistura.

Figura 10 - Índice de estabilidade visual



Fonte: Jucá (2020).

A Figura 10, conforme apresentada por Jucá (2020), ilustra a classificação do Índice de Estabilidade Visual (IEV). Essa classificação varia desde IEV0, atribuído a concretos que demonstram completa homogeneidade e ausência de segregação, até IEV3, característico de misturas que exibem acentuada concentração de agregados na região central do espalhamento, enquanto a argamassa se acumula nas extremidades.

A aplicabilidade do ensaio de espalhamento, conforme detalhado na NBR 15823-2 (ABNT, 2017), reside em sua simplicidade e eficácia para verificar a fluidez do CAA, sendo facilmente executável tanto em ambientes laboratoriais quanto em canteiros de obra. O equipamento empregado é idêntico ao do tradicional ensaio de abatimento (slump test), contudo, o foco aqui é a mensuração do diâmetro de espalhamento e do tempo necessário para o concreto atingir um diâmetro específico, com 500mm (t_{500}). Além da fluidez, a observação atenta do material espalhado permite uma avaliação qualitativa da estabilidade da mistura. Conforme apontado por Alencar *et al.* (2008), a distribuição homogênea do agregado graúdo por toda a massa de concreto indica uma mistura coesa e estável, enquanto a concentração de agregados em determinadas áreas ou a separação da argamassa e da água nas bordas são indicativos de segregação ou exsudação, comprometendo o desempenho esperado do CAA no preenchimento das fôrmas.

Os valores normatizados para tal ensaio são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 - Requisitos para classificação do CAA – Espalhamento

Classes de espalhamento do CAA			
Classe de espalhamento	Espalhamento mm	Aplicação	Exemplo
SF 1	550 a 650	Estruturas não armadas ou com baixa taxa de armadura e embutidos, cuja concretagem é realizada a partir do ponto mais alto, com deslocamento livre Estruturas que requerem uma curta distância de espalhamento horizontal do concreto autoadensável	Lajes Estacas e certas Fundações profundas
SF 2	660 a 750	Adequada para a maioria das aplicações correntes	Paredes, vigas, pilares e outras
SF 3	760 a 850	Estruturas com alta densidade de armadura e/ou de forma arquitetônica complexa, com o uso de concreto com agregado graúdo de pequenas dimensões (menor que 12,5 mm)	Pilares-parede Paredes-diafragma Pilares

Fonte: Adaptado de NBR 15823-1 (ABNT, 2017).

3.4.1.2 Ensaio de habilidade passante (Anel J)

A norma NBR 15823-3 (ABNT, 2017) estabelece o ensaio do anel J como método para avaliar a habilidade passante do concreto autoadensável, ou seja, sua capacidade de fluir através de obstáculos sem bloqueio ou segregação.

Este procedimento utiliza o mesmo aparato básico do ensaio de espalhamento, o cone de Abrams, seguindo uma metodologia inicial similar de preenchimento. Contudo, um diferencial crucial é a introdução do anel J, um dispositivo com barras verticais posicionado ao redor da base do cone, conforme ilustrado na Figura 11. Após a remoção do cone, o concreto flui e se espalha, sendo forçado a passar entre as barras do anel.

Figura 11 - Cone de Abrams com o anel “J”



Fonte: Jucá (2020).

A quantificação da habilidade passante é obtida pela diferença entre o diâmetro médio do espalhamento irrestrito (medido no ensaio de espalhamento padrão) e o diâmetro médio do espalhamento restrito pelo anel J, este determinado a partir de duas medições perpendiculares.

Os valores normalizados para tal ensaio são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 - Requisitos para classificação do CAA – Anel J

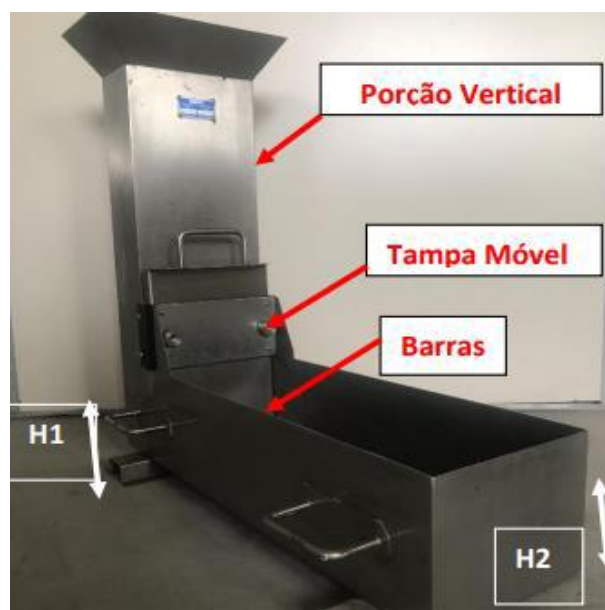
Classes de habilidade passante do CAA			
Classe	Anel J mm	Aplicação	Exemplo
PJ 1	0 a 25 mm com 16 barras de aço	Adequada para a maioria das aplicações correntes. Elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 60 mm a 80 mm	Vigas, pilares, tirantes, indústria de pré-fabricados
PJ 2	25 mm a 50 mm com 16 barras de aço	Adequada para elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 80 mm a 100 mm	Lajes, painéis, elementos de fundação

Fonte: Adaptado de NBR 15823-1 (ABNT, 2017).

3.4.1.3 Ensaio de habilidade passante (Caixa L)

O ensaio da caixa L, normatizado pela NBR 15823-4 (ABNT, 2017) e ilustrado na Figura 12, tem como objetivo avaliar a capacidade do concreto autoadensável (CAA), em estado fresco de fluir através de espaços confinados e obstáculos, simulando a passagem entre barras de armadura.

Figura 12 - Caixa “L”



Fonte: Jucá (2020).

O procedimento consiste em preencher a seção vertical da caixa L com o concreto e, em seguida, liberar uma comporta móvel, permitindo que o material esco horizontalmente através de um conjunto de barras de aço (neste caso, três barras foram utilizadas como obstáculos). A análise dos resultados envolve a medição das alturas atingidas pelo concreto antes (H1) e depois (H2), além do tempo de escoamento. A razão $H2/H1$ é um indicador direto da capacidade de fluxo do concreto; valores mais elevados desta razão indicam maior facilidade de escoamento e, conseqüentemente, melhor habilidade passante da mistura.

Os valores normatizados para tal ensaio são apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 - Requisitos para classificação do CAA – Caixa L

Classes de habilidade passante do CAA			
Classe	Caixa L (H2/H1)	Aplicação	Exemplo
PL 1	$\geq 0,80$, com duas barras de aço	Adequada para elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 80 mm a 100 mm	Lajes, painéis, elementos de fundação
PL 2	$\geq 0,80$, com três barras de aço	Adequada para a maioria das aplicações correntes. Elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 60 mm a 80 mm	Vigas, pilares, tirantes, indústria de pré-fabricados

Fonte: Adaptado de NBR 15823-1 (ABNT, 2017).

3.4.1.4 Ensaio de tempo de escoamento no funil V

A viscosidade do concreto autoadensável pode ser avaliada através do ensaio do funil V, conforme prescrito pela norma NBR 15823-5 (ABNT, 2017). Este método consiste essencialmente na medição do tempo necessário para que um volume predefinido de concreto escoe completamente através do orifício inferior de um funil padronizado em formato de V, ilustrado na Figura 13.

O procedimento experimental inicia-se com o preenchimento total do funil, mantendo-se a abertura inferior obstruída. Subsequentemente, a obstrução é removida e cronometra-se o tempo decorrido até o esvaziamento completo do equipamento, sendo este tempo considerado um indicador da viscosidade da mistura (CAVALCANTI, 2006).

Figura 13 - Ensaio Funil "V"



Fonte: Jucá (2020).

O tempo registrado para o escoamento total do concreto no ensaio do funil V está diretamente correlacionado à sua viscosidade. Um tempo de escoamento prolongado sugere uma mistura de maior viscosidade, enquanto um período mais curto indica uma viscosidade inferior.

É importante notar que a ocorrência de bloqueio ou interrupção do fluxo durante o ensaio é um indicativo de problemas potenciais relacionados à capacidade de lançamento e adensamento do Concreto Autoadensável (CAA), sinalizando coesão inadequada ou propensão à segregação.

Os valores normatizados para tal ensaio são apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 - Requisitos para classificação do CAA – Funil V

Classes de viscosidade plástica aparente do CAA			
Classe	Funil V s	Aplicação	Exemplo
VF 1	≤ 8	Adequado para elementos estruturais com alta densidade de armadura e embutidos, mas requer controle da exsudação e da segregação. Concretagens realizadas a partir do ponto mais alto com deslocamento livre	Paredes-diafragma, pilares-parede, indústria de pré-moldados e concreto aparente
VF 2	9 a 25	Adequado para a maioria das aplicações correntes. Apresenta efeito tixotrópico que acarreta menor pressão sobre as fôrmas e melhor resistência à segregação Efeitos negativos podem ser obtidos com relação à superfície de acabamento (ar aprisionado), no preenchimento de cantos e suscetibilidade a interrupções ou demora entre sucessivas camadas	Vigas, lajes e outras

Fonte: Adaptado de NBR 15823-1 (ABNT, 2017).

3.4.2 Composição, moldagem e adensamento do CCV

Para o experimento, utilizou-se um concreto com resistência característica (fck) de 30 MPa e relação água/cimento de 0,45. Conforme definido em estudo de composição prévio, o traço unitário em massa adotado foi de 1:1,64:2,86 elaborado por Carvalho (2024), correspondendo a um consumo de cimento de 412 kg/m³. Conforme mostrado na Tabela 8.

Tabela 8 - Composição da mistura do CCV

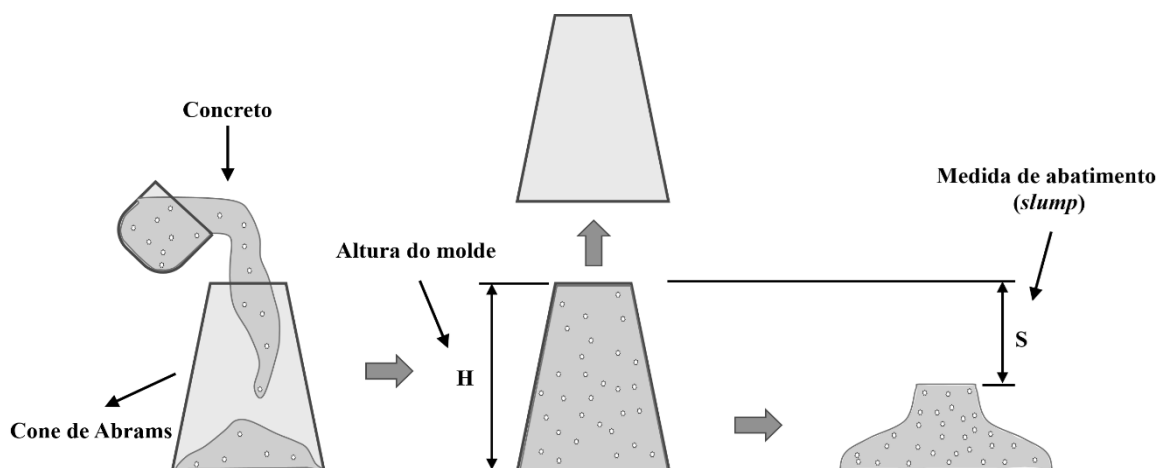
Materiais	Peso (Kg/m ³)
Cimento Portland CP V ARI	412,00
Agregado miúdo	675,68
Agregado graúdo	1178,32
Água	185,40

Fonte: Elaboração própria (2025).

3.4.2.1 Ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone

A verificação da trabalhabilidade do concreto realizou-se por meio do ensaio de abatimento do tronco de cone (*Slump Test*), mostrado na Figura 14, em conformidade com a NBR 16889 (ABNT, 2020).

Figura 14 - Slump Test



Fonte: Pereira (2022).

O ensaio de abatimento (*Slump test*) avalia a consistência do concreto, auxiliando no controle de uniformidade e nos critérios de aceitabilidade, sua ampla utilização decorre da simplicidade, do baixo custo e da capacidade de identificar variações na mistura, como no teor de água (Pereira, 2022). Contudo, é importante

notar que os resultados podem variar significativamente dependendo do operador que realiza o ensaio.

Após a produção do concreto, os corpos de prova foram moldados conforme as orientações estabelecidas pela NBR 5738 (ABNT, 2015). O adensamento foi realizado em mesa vibratória (ver Figura 15), adotando-se um tempo de vibração uniforme, ajustado de acordo com a consistência da mistura. O processo foi interrompido assim que a superfície do concreto apresentou aparência homogênea e praticamente livre de bolhas de ar, evitando-se prolongar em excesso a vibração para não ocasionar segregação.

Figura 15 - Mesa vibratória



Fonte: Elaboração própria (2025).

3.4.3 **Composição, moldagem e compactação do CP**

A composição do CP que foi utilizada nesta pesquisa foi desenvolvida por Pereira da Costa *et al.* (2021) e está apresentada na Tabela 9.

Tabela 9 - Composição da mistura do CP

Materiais	Peso (Kg/m ³)
Cimento Portland CP V ARI	368,34
Agregado graúdo	1473,35
Água	97,24
Aditivo V-MAR® VSC500	2,58

Fonte: Elaboração própria (2025).

A partir dessas proporções, estimou-se uma porosidade alvo de 25%. Com o entendimento do volume desejado do corpo de prova e da densidade teórica estipulada, foi possível calcular a massa do corpo de prova, determinando, assim, a quantidade de material que deverá ser inserida no molde, conforme mostrado na Tabela 10.

Tabela 10 - Massa de concreto por amostra

Corpos de prova	Peso (Kg)
Cubo (15 cm)	6,55
Prisma (10x10x40 cm)	6,79
Bloco (20x40x40 cm)	62,08

Fonte: Elaboração própria (2025).

O concreto foi fabricado em betoneira convencional de eixo inclinado. O agregado foi inicialmente misturado com uma pequena quantidade de água para garantir melhor aderência entre agregados e pasta de cimento. Após uma ligeira mistura, foram adicionados cimento, o restante da água e o aditivo à betoneira. O concreto foi misturado por 5 minutos, seguido de uma verificação visual através de uma pressão sobre a mistura com a mão, para examinar a formação de aglomeração das partículas, conforme mostra a Figura 16.

Figura 16 - Averiguação tátil e visual da mistura



Fonte: Batezini (2013).

Para a análise proposta, foram moldados um conjunto de 6 cubos, 9 prismas e 2 blocos para extração de amostras cilíndricas de CP. A compactação dos corpos de prova foi executada utilizando um rolo de aproximadamente 55 kg, conforme mostrado na Figura 17, em uma única camada. A desmoldagem dos corpos de prova ocorreu no período de 72 horas após a moldagem.

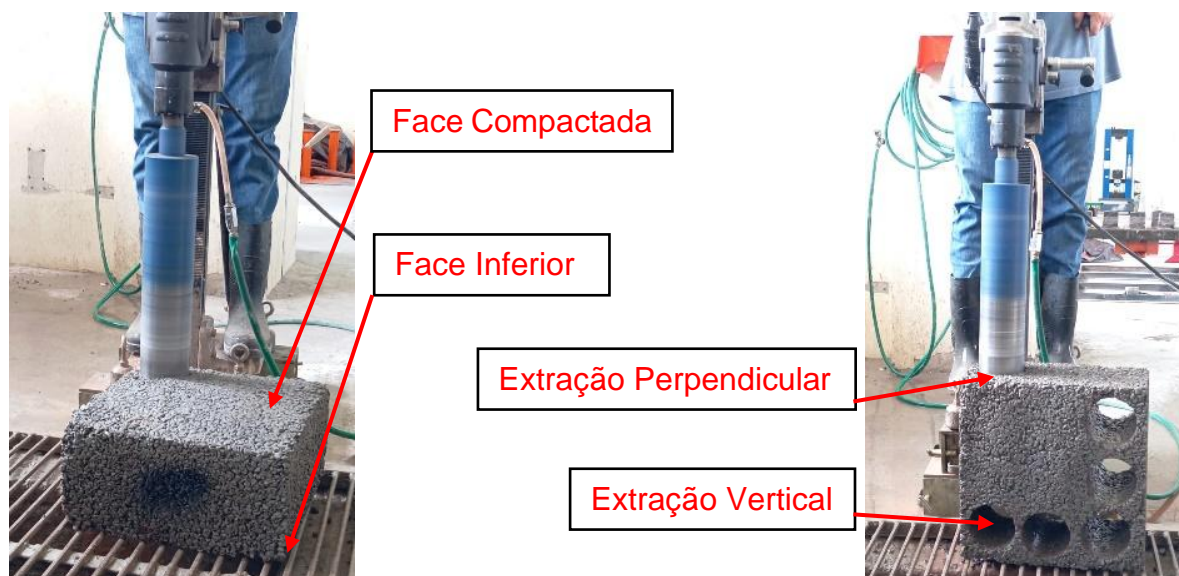
Figura 17 - Rolo de compactação



Fonte: Elaboração própria (2025).

No caso dos blocos, a extração das amostras cilíndricas foi realizada após 25 dias de cura. A extração ocorreu em dois sentidos, obtendo-se cinco corpos de prova verticais e quatro transversamente ao sentido de compactação (Figura 18) para cada bloco a ser produzido.

Figura 18 - Extração dos corpos de prova de CP



Fonte: Elaboração própria (2025).

3.4.4 Ensaios de resistência à compressão axial.

Com o objetivo de obter a resistência à compressão axial nos corpos de prova dos concretos, foi realizado o ensaio prescrito pelas normas NBR 5739 (2018) e EN 12390-3 (2003), sendo estes realizados nas máquinas universais de ensaios INSTRON SATEK series, modelo 5590-HVLe EMIC, modelo, PC150C, Figura 19 (a e b), com capacidades máximas de fábrica de 1500 KN em ambas. O ensaio ocorreu em 6 corpos de prova cilíndricos e cúbicos para todos os concretos utilizados neste trabalho, com uma velocidade de carregamento no travessão do equipamento de 0,50 MPa/s para ambas as normas, pois esta velocidade está dentro das faixas pré definidas nas normas prescritas para este ensaio. Para tanto, os corpos de prova foram retificados visando uma melhor distribuição do carregamento durante o ensaio. Cabe ressaltar que os corpos de prova foram devidamente identificados, para que cada propriedade determinada seja conhecida para cada amostra em particular.

Os ensaios nos corpos de prova ocorreram na idade de 28 dias, sendo que até essa data, os mesmos permaneceram em câmara úmida.

Figura 19 - Máquina universal de ensaios Instron e Emic.



(a) Instron



(b) Emic

Fonte: Elaboração própria (2025).

3.4.5 Ensaio de resistência à tração Indireta.

Os ensaios têm como objetivo determinar a resistência à tração indireta dos concretos. Os ensaios foram realizados na máquina universal de ensaios Instron e Emic (Figura 19), em 3 corpos de prova cilíndricos (extraídos dos blocos de CP) e em 3 corpos de prova prismáticos 10x10x20 cm serrados dos corpos de prova 10x10x40 cm, para cada um dos tipos de concreto. A velocidade de carregamento no travessão do equipamento foi de 0,05 MPa/s para ambas as normas, pois esta velocidade está dentro das faixas pré definidas nas normas prescritas para este ensaio, O procedimento adotado para a execução deste ensaio, foi o Brazilian test, que segue as definições da norma brasileira NBR 7222 (2011), e o ensaio da norma europeia UNI EN 12390-6 (2002). O teste foi conduzido aos 28 dias de idade. A resistência à ruptura à tração f_{ct} dada em MPa, foi calculada pela Equação 1.

$$f_{ct} = \frac{2 * F}{\pi * L * d}$$

Equação 1.

Onde:

f_{ct} = resistência à tração indireta (MPa);

F = carga máxima (N);

L = comprimento da linha de contato da amostra (mm);

d = tamanho nominal da seção (mm).

3.4.6 Ensaios de resistência tração na flexão em 4 pontos.

Os ensaios de resistência à tração na flexão em 4 pontos foram realizados de acordo com as normas brasileira NBR 12142 (2010) e europeia EN 12390-5 (2002), sendo estes realizados na máquina de ensaio mecânico EMIC DL 2000 (Figura 20), com capacidade máxima de fábrica de 200 KN. Os prismas simplesmente apoiados foram submetidos a uma carga concentrada na localização de vão médio, com uma velocidade de carregamento no travessão do equipamento de 0,04 MPa/s para a norma europeia e de 0,02 MPa/s para a norma brasileira.

Figura 20 - Máquina Universal de Ensaios Mecânicos EMIC DL 2000.



Fonte: Elaboração própria (2025).

O teste foi conduzido com 28 dias de idade. A resistência à tração por flexão foi determinada de acordo com a Equação 2.

$$f_{ct} = \frac{F * l}{d_1 * d_2^2} \quad \text{Equação 2.}$$

Onde:

f_{ct} = resistência à flexão (MPa);

F = carga máxima (N);

l = distância entre os roletes de suporte (mm);

d_1 e d_2^2 = dimensões laterais da amostra (mm).

3.5 Equações de correlação dos ensaios mecânicos com fórmulas CEB-FIB (2010).

Essa seção trata das correlações empíricas entre propriedades mecânicas do concreto, como a resistência à compressão axial, resistência à tração indireta e resistência à tração na flexão, que determinam a resistência à tração direta. Essas correlações, baseadas em extensa base experimental e calibradas estatisticamente, permitem estimativas confiáveis de propriedades difíceis de mensurar diretamente, sendo fundamentais para análises comparativas e validações de resultados experimentais em pesquisas acadêmicas.

3.5.1 Correlação de resistência à compressão axial com resistência à tração direta.

A resistência à tração direta do concreto, refere-se à resistência à tração uniaxial, determinada através de ensaios de compressão axial, onde o valor médio da resistência à tração direta f_{ctm} em MPa pode ser estimada a partir da resistência à compressão característica f_{ck} .

$$f_{ctm} = 0,3 \cdot (f_{ck})^{2/3} \quad \text{para } f_{ck} \leq C50 \quad \text{Equação 3.}$$

$$f_{ctm} = 2,12 \cdot \ln(1 + 0,1 \cdot (f_{ck} + \Delta f)) \quad \text{para } f_{ck} > C50 \quad \text{Equação 4.}$$

Onde:

f_{ctm} = valor médio da resistência à tração (MPa);

f_{ck} = resistência à compressão característica (MPa);

$\Delta f = 8$ MPa.

Os valores do limite inferior e superior da resistência à tração característica f_{ctk} mínimo e f_{ctk} máximo podem ser estimados usando, respectivamente:

$$f_{ctk,min} = 0,7 \cdot f_{ctm} \quad \text{Equação 5.}$$

$$f_{ctk,max} = 1,3 \cdot f_{ctm} \quad \text{Equação 6.}$$

3.5.2 Correlação de resistência à tração indireta com resistência à tração direta.

Se a resistência à tração for medida como resistência à tração por tração indireta $f_{ct,sp}$ ou como resistência à tração na flexão $f_{ct,fl}$, um fator de conversão “ α ” deve ser determinado por meio de ensaios de tração uniaxial.

Se tais fatores de conversão não estiverem disponíveis, a resistência à tração uniaxial média f_{ctm} pode ser estimada a partir da resistência à tração indireta média $f_{ctm,sp}$ como:

$$f_{ctm} = \alpha_{sp} \cdot f_{ctm,sp} \quad \text{Equação 7.}$$

Onde:

f_{ctm} = valor médio da resistência à tração (MPa);

$f_{ctm,sp}$ = é o valor médio da resistência à tração por compressão (MPa), determinado de acordo com a norma ISO 1920-4;

$\alpha_{sp} = 1,0$.

O mesmo fator de conversão $\alpha_{sp} = 1,0$ pode ser usado para concreto de agregado leve.

3.5.3 Correlação de resistência à tração na flexão com resistência à tração direta.

Para estimar a resistência à tração uniaxial média f_{ctm} a partir da resistência à tração na flexão média $f_{ctm,fl}$, podemos usar:

$$f_{ctm} = \alpha_{fl} \cdot f_{ctm,fl} \quad \text{Equação 8.}$$

Onde:

f_{ctm} = valor médio da resistência à tração (MPa);

$f_{ctm,fl}$ é a resistência média à tração na flexão (MPa);

$$\alpha_{fl} = \frac{0,06 \cdot h_b^{0,7}}{1 + 0,06 \cdot h_b^{0,7}} \quad \text{Equação 9.}$$

h_b = é a altura do prisma (mm).

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentados os resultados obtidos a partir dos procedimentos experimentais propostos na metodologia para os concretos produzidos.

4.1 Resultados dos ensaios reológicos

Os ensaios reológicos realizados no Concreto Autoadensável (CAA) incluíram: o espalhamento a partir do cone de Abrams, para determinação da fluidez, segregação e exsudação; anel J, para determinação da habilidade passante; a caixa L, para determinação da habilidade passante; Funil V, para análise da viscosidade aparente. No Concreto Convencional (CCV), foi realizado o ensaio de abatimento do tronco de cone para verificação da trabalhabilidade. Para o concreto permeável (CP), a averiguação tátil e visual foi empregada para observar a uniformidade da pasta que reveste os agregados.

4.1.1 Concreto Autoadensável: Ensaios Reológicos no Estado Fresco

Para a avaliação da trabalhabilidade e características específicas do CAA produzido, foram executados quatro ensaios normatizados pela NBR 15823 (ABNT, 2017), cujos resultados obtidos para o traço desenvolvido, bem como os limites estabelecidos pela norma brasileira, são apresentados na Tabela 11.

Foram realizadas duas medidas do diâmetro final de espalhamento do concreto após a retirada do cone de Abrams (ver Figura 21), obtendo-se os seguintes resultados: primeira medição com 660 mm, segunda medição com 670 mm, sendo esta última realizada perpendicular à primeira medição.

Tabela 11 - Resultados reológicos do CAA no estado fresco

Traço	Espalhamento (mm)	Anel J (mm)	Caixa L	Funil V (s)
Utilizado	665	35	0,71	11,07
NBR 15823	550 - 850	0 - 50	$\geq 0,80$	Máx. 25

Fonte: Elaboração própria (2025).

O ensaio de espalhamento (*slump flow*) foi realizado com o objetivo de avaliar a capacidade de escoamento do CAA no estado fresco. Esse ensaio é fundamental para verificar se o concreto possui fluidez suficiente para preencher as formas apenas sob a ação da gravidade, característica essencial do CAA.

Figura 21 - Imagem ao final do espalhamento – Cone de Abrams



Fonte: Elaboração própria (2025).

A média dos valores foi de 665 mm, valor que se encontra dentro da faixa recomendada pela norma técnica brasileira para concretos autoadensáveis. O espalhamento ideal para o *slump flow* deve estar entre 550 mm e 850 mm, o que indica que o concreto produzido apresenta bom desempenho reológico em termos de espalhamento.

Observa-se, a partir da análise da Figura 21, que o traço de concreto autoadensável avaliado pode ser classificado como SF1. Esta classe é recomendada para aplicação em estruturas com baixa densidade de armaduras e elementos embutidos, em situações onde a concretagem é realizada a partir de um ponto mais elevado, permitindo o deslocamento livre do concreto por gravidade.

Também foi registrado o T500, que corresponde ao tempo que o concreto leva para atingir 500 mm de diâmetro durante o escoamento. Esse tempo foi de 3,5 segundos, o que indica uma boa estabilidade da mistura em relação a segregação, que pode ser confirmado por análise visual na Figura 21, onde os agregados estão distribuídos de forma uniforme do centro para a borda do diâmetro de espalhamento.

Aprofundando a análise visual da Figura 21, ao final do espalhamento, é observado uma pequena exsudação na borda do diâmetro de espalhamento. Com essa constatação visual, a classificação do CAA de acordo com a ABNT NBR 15823 (2017), indica que Índice de Estabilidade Visual (IEV) é o IEV 1, com estabilidade a segregação e exsudação aceitável.

O ensaio do Anel J foi realizado com o objetivo de avaliar a capacidade de passagem do concreto autoadensável através de obstáculos, simulando a presença de armaduras nas formas. Com esse ensaio é possível verificar se o concreto consegue manter seu escoamento mesmo em situações com restrições de espaço, sem ocorrer bloqueios ou segregações.

Foram obtidas duas medições do diâmetro de espalhamento após a retirada do cone e passagem pelo anel. Os resultados medidos foram de 620 mm e 640 mm, sendo esta última realizada perpendicular à primeira medição. Na Figura 22 (a e B), é possível observar que o concreto possui uma boa capacidade de passagem por obstáculos, distribuição dos agregados de maneira uniforme do centro do espalhamento para as bordas e uma pequena exsudação na extremidade.

Figura 22 - Imagem registrada ao final do ensaio do Anel J



A

b

Fonte: Elaboração própria (2025).

A média dos diâmetros de espalhamento obtidos foi 630 mm, valor que indica uma boa capacidade de passagem do concreto. Quando comparado ao resultado do *slump flow*, observa-se uma redução de 35mm, aproximadamente 5,26% do diâmetro do espalhamento, o que é considerado aceitável segundo os critérios estabelecidos pela norma.

Essa diferença entre os dois ensaios, demonstra que o concreto possui boa fluidez mesmo na presença de obstáculos, com uma perda de espalhamento dentro do intervalo correspondente à classe PJ2 conforme a norma, que considera diferenças entre 25 mm e 50 mm como indicativo de desempenho adequado para aplicações em estruturas moderadamente armadas com espaçamentos entre elas de 80mm a 100mm, como por exemplo, Lajes, painéis, elementos de fundação.

Além disso, foi registrado o T500, que corresponde ao tempo necessário para o concreto atingir 500 mm de diâmetro durante o escoamento com o anel J. Embora esse procedimento não esteja previsto na norma para o ensaio com o anel J, sua realização teve como objetivo comparar a habilidade passante do concreto autoadensável (CAA) de forma complementar ao *slump flow*. O valor obtido foi de 4,4 segundos, indicando um comportamento levemente mais lento em relação ao *slump flow*, o que é esperado devido à presença das barras que oferecem resistência à passagem do CAA.

O ensaio da Caixa L foi utilizado para avaliar a capacidade de passagem do CAA através de armaduras, para avaliar o escoamento da mistura em uma situação

mais restrita (ver Figura 23). O ensaio foi realizado com o uso de três barras verticais, e não 2 barras verticais conforme a indicação classe PJ2 obtida do resultado do ensaio do Anel J, com o intuito de se comprovar uma relação ≤ 80 , cabe ressaltar que o equipamento disponível no LEMAC não possibilitou a realização do ensaio com duas barras.

Figura 23 - Imagem da Caixa L com concreto na parte vertical antes da abertura da comporta



Fonte: Elaboração própria (2025).

Os valores obtidos foram de 105 mm de altura na extremidade com barras e 75 mm na extremidade sem barras, resultando em uma relação H_2/H_1 de 0,71, conforme mostrado na Figura 24 (a e b). Esse valor, obtido no ensaio com três barras, que simula a presença de alta densidade de armaduras, ficou abaixo do limite mínimo exigido pela norma caracterizar o concreto como CAA e indicar boa habilidade passante em estruturas de alta densidade. Isso indica que a mistura não possui desempenho reológico adequado para elementos altamente armados com possibilidade de segregação e obstrução durante o lançamento do CAA em regiões com grande concentração de ferragens.

Figura 24 - Imagem do ensaio da Caixa L, medidas H1 e H2



a

b

Fonte: Elaboração própria (2025).

O ensaio do Funil V foi realizado com o objetivo de avaliar a viscosidade aparente do CAA, ou seja, o tempo que a mistura leva para escoar completamente por um abertura padrão. Esse ensaio permitiu identificar se o concreto possui uma fluidez adequada sem apresentar segregação ou entupimentos, como visto na Figura 25.

Figura 25 - Imagem registrada durante a da execução do ensaio no Funil V



Fonte: Elaboração própria (2025).

O tempo de escoamento registrado foi de 11,07 s, sendo que esse resultado indica um enquadramento na classe de viscosidade VF2, com o tempo de escoamento maior que 9 segundos de acordo com a NBR 15823-5 (ABNT, 2017). Ainda, percebe-se que o traço está abaixo do limite máximo, de 25s, ou seja, seu tempo de escoamento está coerente para um concreto considerado autoadensável.

4.1.2 Concreto Convencional: Ensaio Reológico no Estado Fresco

A trabalhabilidade do CCV foi avaliada por meio do ensaio de abatimento do tronco de cone (*Slump Test*), conforme os procedimentos descritos na norma ABNT NBR 16889 (ABNT 2020). O ensaio teve como objetivo medir a consistência do concreto no estado fresco, fornecendo uma estimativa de sua facilidade de adensamento. O valor de abatimento obtido no ensaio foi de 100 mm, e pode ser observado na Figura 26.

Figura 26 - Imagem registrada durante a da execução do *slump test*



Fonte: Elaboração própria (2025).

Esse resultado demonstra que o concreto possui uma trabalhabilidade satisfatória para aplicações comuns em estruturas convencionais, como lajes, pilares e vigas, onde o uso de vibradores é necessário para garantir o adensamento e a eliminação de vazios.

4.1.3 Concreto Permeável

Diferentemente dos outros concretos, o CP não é submetido a ensaios reológicos padronizados porque o seu *slump test* é próximo de zero, uma vez que sua composição e finalidade são distintas, esse tipo de concreto foi desenvolvido com baixa proporção de finos e alta porosidade, tendo como principal característica a capacidade de permitir a passagem da água através de sua estrutura.

O ideal seria realizar a avaliação de sua consistência no estado fresco com o ensaio o Consistômetro de Vebê, que pode ser utilizado tanto em concreto de mistura seca, bem como úmida. Entretanto, devido à indisponibilidade do aparelho no LEMAC,

a avaliação do CP no estado fresco foi feita por meio de averiguação tátil e visual, que foi realizado logo após o término da mistura, como demonstrado na Figura 27.

Figura 27 - Averiguação tátil e visual da mistura



Fonte: Elaboração própria (2025).

Observou-se a uniformidade da pasta que reveste os agregados, a ausência de segregação e a coesão mínima necessária para garantir a moldabilidade sem comprometer a permeabilidade. Essa verificação empírica visual permitiu identificar se a mistura está coesa o suficiente para manter a integridade do material durante o lançamento, ao mesmo tempo em que assegura a conectividade entre os vazios, essencial para o desempenho hidráulico do concreto após a cura.

4.2 Resultados dos ensaios mecânicos

Neste item são apresentados os resultados das propriedades mecânicas dos concretos, que englobaram a determinação da resistência à compressão axial, resistência à tração indireta e resistência à tração na flexão em quatro pontos. Cujos resultados obtidos para cada concreto produzido, são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Resultados obtidos nos ensaios mecânicos

Tipo de Ensaio	CAA		CCV		CP	
	NBR	EN	NBR	EN	NBR	EN
Resistência à Compressão Axial (MPa)	57,86	61,72	45,26	45,88	4,14	5,01
	49,30	48,73	41,91	49,18	5,77	4,28
	53,50	52,14	42,45	44,91	4,39	4,33
	49,24	48,17	41,88	47,00	4,16	5,03
	55,17	52,67	41,44	51,02	3,19	5,86
	53,82	63,85	53,47	49,19	4,39	4,63
Resistência à Tração Indireta (MPa)	5,74	4,88	3,71	4,27	0,98	1,35
	5,17	4,01	4,25	3,49	0,93	1,62
	4,95	4,40	4,45	3,55	0,86	1,70
Resistência à Tração na Flexão 4 pontos (MPa)	10,06	9,09	6,49	4,97	1,81	1,71
	9,42	9,55	6,77	5,72	2,41	2,58
	8,47	7,84	4,86	5,16	2,37	1,97

Fonte: Elaboração própria (2025).

A partir dos resultados dos ensaios da Tabela 12, foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e valores comparados através do teste de Tukey ao nível de 95% de significância, e serão apresentados a seguir.

4.2.1 Resistência à compressão axial

O ensaio de resistência à compressão axial foi realizado na idade de 28 dias. Foram ensaiados 6 corpos de prova para cada um dos procedimentos descritos nas normas NBR e EN. A Tabela 13 apresenta os resultados médios das tensões máxima, além dos desvios padrões (DP) e coeficientes de variações (CV) dos concretos estudados.

Os dados obtidos pelos ensaios realizados segundo o procedimento da norma brasileira, observa-se uma resistência à compressão média menor, de 2,56% para o CAA, de 7,23% para o CCV e de 10,64% para o CP, quando comparados aos dados dos ensaios obtidos conforme a norma europeia.

Tabela 13 - Dados dos ensaios de resistência à compressão axial

Resistência à compressão axial (MPa)				
Tipo de Concreto	Norma	Valor Médio	D P	CV (%)
CAA	NBR	53,15	3,38	6,35
	EN	54,55	6,66	12,21
CCV	NBR	44,40	4,65	10,47
	EN	47,86	2,32	4,84
CP	NBR	4,34	0,83	19,13
	EN	4,86	0,59	12,08

Fonte: Elaboração própria (2025).

Apesar das diferenças observadas entre os valores obtidos quando realizado os ensaios conforme os procedimentos das normas, ao realizar a análise pelo teste de Tukey com 95% de probabilidade, conclui-se que não há diferenças estatisticamente significativas de resistência à compressão axial para nenhum dos tipos de concretos analisados.

Ao observar a Tabela 13, as maiores tensões médias foram obtidas quando realizado os ensaios conforme a norma europeia. A primeira observação para explicar essa diferença pode ser atribuída a geometria do corpo de prova utilizado. A norma EN indica o uso de amostras cúbicas de lado 15 cm, enquanto que a norma brasileira indica o uso de amostras cilíndricas de diâmetro 10 cm e altura 20 cm.

4.2.2 Resistência à tração indireta

Os ensaios de tração indireta foram realizados nas idades de 28 dias, onde foram ensaiados 3 corpos de prova para cada concreto e norma. A média dos resultados encontrados, desvio padrão e o coeficiente de variação dos concretos estudados são apresentados na Tabela 14.

Ao observar a Tabela 14, é possível identificar que os maiores resultados médios de tensão foram obtidos quando realizado os ensaios conforme procedimentos descritos na norma brasileira para o CAA e CCV. Para o CP os resultados apresentaram comportamento inverso, tendo as maiores tensões de tração obtidas quando ensaiadas seguindo os procedimento da norma europeia.

Tabela 14 - Resultados de resistência à tração indireta

Concreto	Tensão de tração (MPa)			
	Norma	Valor Médio	D P	CV (%)
CAA	NBR	5,29	0,41	7,71%
	EN	4,43	0,44	9,84%
CCV	NBR	4,14	0,38	9,25%
	EN	3,77	0,43	11,51%
CP	NBR	0,92	0,06	6,53%
	EN	1,56	0,18	11,78%

Fonte: Elaboração própria (2025).

Os dados obtidos nos ensaios realizado pela norma brasileira, apresentaram valores médios superiores de resistência à tração de 16,20% para o CAA, enquanto que para o CCV o valor obtido foi de 8,86%. Para o CP a diferença foi de 40,69% quando comparado ao ensaio realizado pela norma europeia.

Ao realizar a análise do teste de Tukey com 95% de probabilidade, os dados obtidos dos concretos CAA e CCV não apresentaram diferenças significativas. Por outro lado, ao realizar a análise do CP, foi identificado diferença significativa de resistência à tração indireta. Essa diferença pode ser atribuída pela forma de compactação dos corpos de prova durante a moldagem e pelo procedimento de extração das amostras cilíndricas dos blocos produzidos. A direção de extração dos corpos de prova cilíndricos foi realizada perpendicular ao sentido de compactação dos blocos produzidos, sendo importante essa identificação para avaliar o resultado obtido.

Devido às características específicas do CP, buscou-se simular a compactação realizada em campo, que ocorre apenas na camada superior do elemento. Nesses casos, quanto maior a altura do corpo de prova, menor é o efeito da energia de compactação nas regiões inferiores. Assim, elementos mais altos tendem a apresentar uma distribuição vertical de porosidade mais acentuada. Em um bloco de 20 cm de altura, por exemplo, o topo que está em contato com o rolo, que é a face compactada, torna-se mais denso e menos poroso, enquanto o restante da altura da amostra permanece mais porosa e, conseqüentemente, mais frágil.

Em contrapartida, nos prismas de 10 cm de altura, a diferença na distribuição de porosidade/compactação ao longo da altura é menos significativa, facilitando a obtenção de uma distribuição da compactação mais homogênea em todo o elemento.

Na Figura 28 (a, b e c), observa-se o modo de ruptura nos corpos de prova dos CAA e CVV ocorrem de forma abrupta e explosiva, o que caracteriza uma ruptura frágil. Já as amostras de CP a ruptura ocorreu de forma frágil, entretanto não explosiva, sendo esse efeito explicado devido à alta proporção de vazios interconectados em sua distribuição tridimensional.

Figura 28 - Modos de fratura nos concretos estudados



NBR



EN

(a) CAA



NBR



EN

(b) CCV



NBR



EN

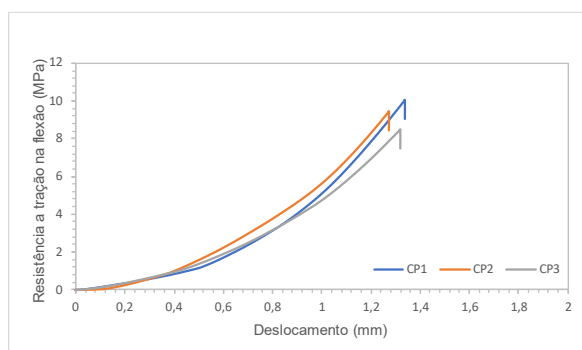
(c) CP

Fonte: Elaboração própria (2025).

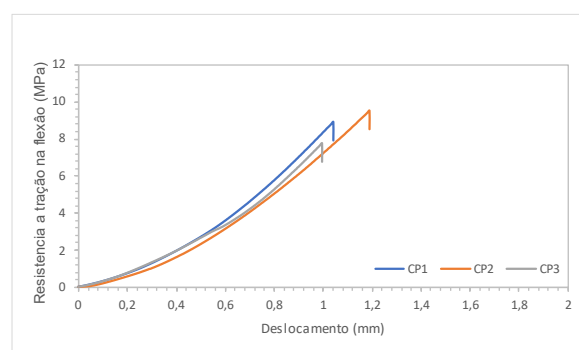
4.2.3 Comportamento à tração na flexão em 4 pontos

Os comportamentos tensão x deslocamento dos prismas submetidos aos ensaios de flexão em 4 pontos dos concretos estudados na idade de 28 dias, são mostrados na Figura 29 (a, b e c).

Figura 29 - Comportamentos de tensão x deslocamento dos ensaios de flexão em 4 pontos

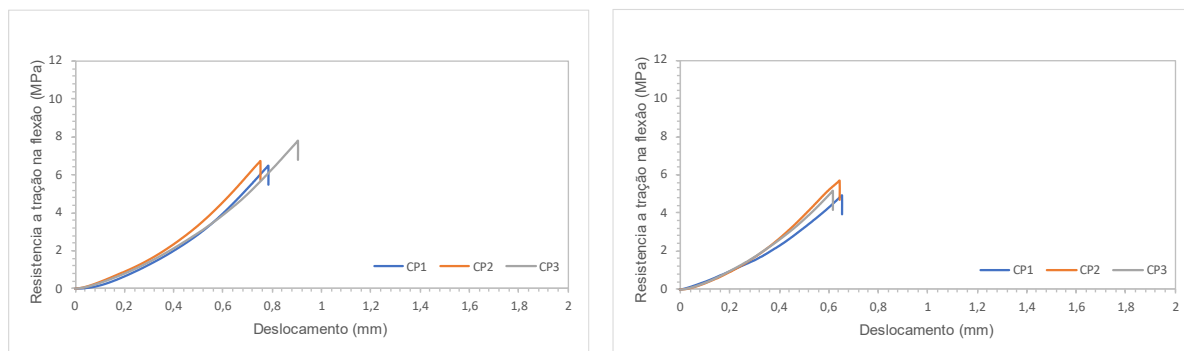


NBR



EN

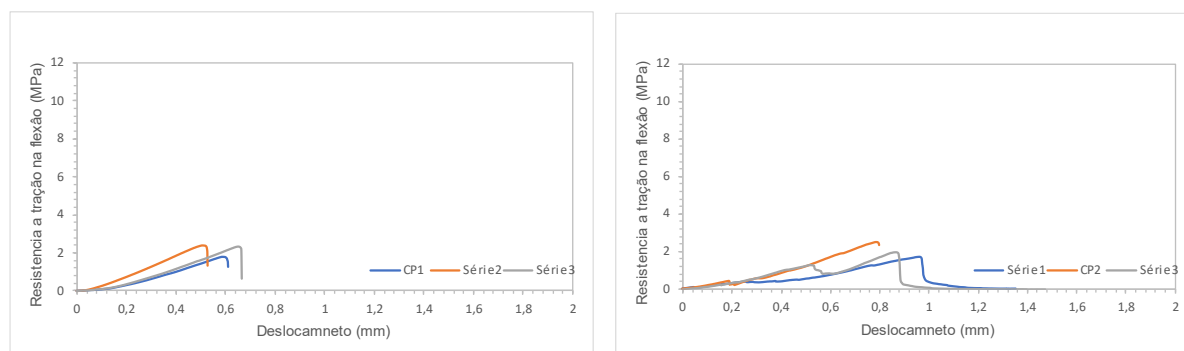
(a) CAA



NBR

EN

(b) CCV



NBR

EN

(c) CP

Fonte: Elaboração própria (2025).

Na Tabela 15 são apresentados os dados das médias das tensões de tração máximas e os deslocamentos, desvio padrão e coeficiente de variação para cada um dos concretos.

Tabela 15 - Dados dos ensaios de resistência à tração na flexão em 4 pontos

Concreto	Norma	Tensão de Compressão (MPa)			Deslocamento (mm)		
		Valor Médio	DP	CV (%)	Valor Médio	DP	CV (%)
CAA	NBR	9,32	0,80	8,59	1,31	0,03	2,41
	EN	8,83	0,88	10,03	1,07	0,10	9,43
CCV	NBR	6,04	1,03	17,08	0,81	0,08	9,99
	EN	5,28	0,39	7,38	0,64	0,02	2,89
Concreto Permeável	NBR	2,20	0,34	15,27	0,60	0,07	11,72
	EN	2,09	0,44	21,28	0,88	0,09	9,77

Fonte: Elaboração própria (2025).

Ao analisar a Tabela 15, os maiores valores médios de tensões foram obtidos para os ensaios realizados conforme a norma brasileira, para todos os concretos produzidos. Os valores obtidos pela norma brasileira apresentaram valores de resistência à tração de 5,26% para o CAA, 12,53% para o CCV e de 4,86% para o CP maiores que os obtidos nos ensaios realizados seguindo os procedimentos da norma europeia. Por outro lado, ao realizar a análise estatística ANOVA com o teste de Tukey com 95% de probabilidade, os dados obtidos dos concretos não apresentaram diferenças significativas de resistência à tração. Avaliando somente a média dos resultados, a única diferença é a velocidade, tendo em vista que é maior devido ao carregamento adotado no ensaio.

Como mencionado na metodologia, a norma EN estabelece a velocidade de 0,04 MPa/s, ou seja, o dobro daquela prevista na norma brasileira, o que pode ter influenciado na média dos resultados dos materiais. A velocidade pode ter influenciado na distribuição de tensões internas, ocorrendo de maneira abrupta, impossibilitando que o material tivesse tempo hábil para redistribuir as tensões internas. Em consequência, algumas regiões sofreram ruptura prematura antes que outras pudessem contribuir para a resistência global do elemento, culminando em uma falha localizada.

Os deslocamentos dos prismas analisados foram mensurados através dos dados de descolamento do travessão do equipamento de ensaio, não sendo este método o ideal, pois no momento dos ensaios e na idade de 28.

Em relação aos deslocamentos, os maiores valores ocorreram quando submetidos aos ensaios da norma brasileira. Os deslocamentos médios foram de 1,31 mm e 0,81 mm, respectivamente, para o CAA e CVV. Em contrapartida, o mesmo não ocorreu no CP, onde quando submetido ao ensaio da norma europeia obteve o maior deslocamento médio, no valor de 0,88 mm.

Assim comparando os deslocamentos, obtém-se uma diferença de deslocamento de 17,85% para o CAA, 21,69 para o CCV e de 32,26% para o CP, em comparação entre as normas.

A Figura 30 apresenta os modos de fratura nos concretos.

Figura 30 - Fraturas na resistência à tração na flexão em 4 pontos



NBR



En

(A) CAA



NBR



EN

(b) CCV



NBR



EN

(c) CP

Fonte: Elaboração própria (2025).

Conforme pode ser observado na Figura 29 (a, b e c), os corpos de prova dos concretos CAA, CCV e CP apresentaram rupturas de forma súbita, evidenciando um comportamento típico de ruptura frágil.

4.3 Comparação dos resultados obtidos com equações que correlacionam à tração direta

Neste tópico foi correlacionado os resultados obtidos de resistência à tração indireta com equações de tração direta que constam na CEB-FIB Model Code (2010). Os valores obtidos a partir das equações estão apresentados na Tabela 16.

Apesar dos ensaios de resistência à compressão axial serem de fácil execução, e poderem fornecer uma estimativa da resistência à tração direta, esses dados não são muito representativos dessa propriedade, pois não envolvem tensões de tração nas amostras. Esses resultados podem variar entre 0,7 e 1,3 vezes o valor calculado pela fórmula de resistência à tração direta, representando uma margem consideravelmente ampla. Enquanto, os outros ensaios fornecem valores superiores e avaliam, de fato, regiões da amostra submetidas à tração, assim representando valores, de maneira mais fidedigna, a resistência à tração direta do concreto.

Nos valores obtidos nos ensaios de resistência à tração indireta e tração na flexão, observou-se que os resultados calculados pelas fórmulas da CEB-FIB para cada modo de ensaio apresentaram pouca variação em relação à resistência à tração direta. Isso foi comprovado pela análise estatística. Além disso, esses dois métodos de ensaio são os únicos em que houve a ocorrência efetiva de esforços de tração nos corpos de prova analisados.

Tabela 16 - Resultados das amostras de concreto

		Ensaio	CEB-FIB	Ensaio	CEB-FIB	Ensaio	CEB-FIB
Concreto	Norma	Resistência à compressão Axial (MPa)	Resistência à tração direta (MPa)	Resistência à tração indireta (MPa)	Resistência à tração direta (MPa)	Resistência à tração na flexão (MPa)	Resistência à tração direta (MPa)
CAA	NBR	53,15	4,16	5,29	5,29	9,32	5,60
	EN	54,55	4,20	4,43	4,43	8,83	5,31
CCV	NBR	44,40	3,76	4,14	4,14	6,04	3,63
	EN	47,86	3,95	3,77	3,77	5,28	3,17
CP	NBR	4,34	0,80.	0,92	0,92	2,20	1,32
	EN	4,86	0,86	1,56	1,56	2,09	1,26

Fonte: Elaboração própria (2025).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho foi realizado uma análise comparativa dos resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão axial, resistência à tração indireta e resistência à tração na flexão em 4 pontos, obtidos através de testes realizados seguindo os procedimentos das normas técnicas brasileira (ABNT) e europeia (EN). Para a avaliação foram avaliados 3 tipos de concretos; concreto autoadensável (CAA), concreto convencional vibrado (CCV) e concreto permeável (CP). Também foi realizado os ensaios para avaliação reológica no estado fresco.

Conclui-se que todos os ensaios reológicos efetuados para a avaliação dos concretos no estado fresco, ficaram dentro dos parâmetros estabelecidos pelas normas brasileiras (ABNT), indicando a conformidade, qualidade e viabilidade de aplicação prática da mistura de concreto utilizada.

No ensaio de compressão axial, os dados obtidos para os concretos conforme a norma europeia, apresentara valores de resistência ligeiramente superiores aos da norma brasileira. As diferenças percentuais médias observadas foram de 2,56% para o CAA, 7,23% para o CCV e 10,64% para o CP.

Quanto aos valores obtidos de resistência à tração indireta, os resultados mostraram um comportamento mais variável. O CAA e o CCV apresentaram valores maiores quando ensaiados conforme os procedimentos descritos na norma brasileira, com valores médios de 16,20% e 8,86%, respectivamente. Para o CP obteve resultado 40,69% inferior para os valores obtidos com os ensaios realizados seguido o procedimento da NBR em comparação à EN, sendo nesse caso observado diferença estatisticamente significativa. Este resultado pode ser atribuído à forma de obtenção das amostras, sendo essas obtidas através de extração.

Os resultados obtidos através dos ensaios de tração na flexão em quatro pontos, segundo procedimentos realizados pela norma brasileira, foram maiores para todos os concretos, com diferenças de 5,26% para o CAA, 12,53% para o CCV e 4,86% para o CP. No entanto, não se observaram diferenças estatisticamente significativas entre resultados quando comparado os métodos normativos.

Apesar das diferenças metodológicas entre as normas como geometrias dos corpos de prova e taxas de carregamento, os resultados obtidos são, na maioria dos casos, compatíveis, especialmente para o CAA e o CCV, pois em todos os casos para o CAA e CCV ao realizar o teste de Tukey com 95% de probabilidade, as misturas não

apresentaram diferenças significativas entre si. Ressalta-se, contudo, que o CP demonstrou maior sensibilidade, exigindo atenção especial na escolha e interpretação dos resultados devido às características especiais desse concreto.

Com a análise baseada nas formulações do CEB-FIB Model Code foi observado que a estimativa da resistência à tração direta a partir dos ensaios de compressão axial apresenta o menor de resistência a tração. Em contrapartida, os cálculos de tração direta derivados dos ensaios de tração indireta e tração na flexão mostraram-se mais representativos, indicando que são métodos mais confiáveis para determinar a resistência à tração do concreto, pois na realização dos ensaios os corpos de prova são submetidos a esforços de tração diretos e efetivos.

Dessa forma, conclui-se que, para uma avaliação precisa da resistência à tração, os ensaios de tração indireta e de flexão são os mais indicados, fornecendo uma base confiável da efetiva resistência à tração do concreto.

6. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, recomenda-se a ampliação do estudo com a inclusão de outros tipos de concretos especiais, como os de alto desempenho ou reforçados com fibras. Além disso, sugere-se aumentar a quantidade de corpos de prova por grupo amostral, a fim de obter resultados estatisticamente mais robustos. Também seria pertinente analisar a influência de diferentes métodos de moldagem, cura e orientação de extração dos corpos de prova, buscando refinar a comparação entre os sistemas normativos.

Ademais, propõe-se estender a análise normativa para além das normas brasileira (ABNT NBR) e europeia (EN), incluindo também os procedimentos previstos em normas internacionais como a americana (ASTM/ACI), chinesa (GB) e russa (GOST), o que pode contribuir significativamente para a padronização global das práticas de caracterização mecânica do concreto.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, *et al.* Aplicação de concreto auto-adensável na produção de pré-fabricados, **Téchne**, PINI, v.137, p. 60-64, 2008.

ANGELIN, A. F.; LINTZ, RC Cecche; BARBOSA, L. A. G. **Propriedades no estado fresco e endurecido do concreto autoadensável modificado com agregados leves e reciclados**. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v. 11, p. 76-94, 2018.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI PRC-522-23, **Pervious Concrete - Report**, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 2023.

ASCE ASCE/G-I 53-10: **Compaction Grouting Consensus guide**. American Society of Civil Engineers, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇO DE CONCRETAGEM. **Paredes de concreto: rapidez de execução e diminuição de custos**. Disponível em: <http://www.abesc.org.br/tecnologias/tec-paredes-de-concreto.html>. Acesso em: 26 set. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11768-3, **Aditivos químicos para concreto de cimento Portland Parte 3: Ensaios de caracterização**, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738, **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14931, **Execução de estruturas de concreto armado, protendido e com fibras - Requisitos**, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15823-1, **Concreto autoadensável Parte 1: Classificação, controle e recebimento no estado fresco**, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15823-2, **Concreto autoadensável Parte 2: Determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual - Método do cone de Abrams**, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15823-3, **Concreto autoadensável Parte 3: Determinação da habilidade passante - Método do anel J**, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15823-4, **Concreto autoadensável Parte 4: Determinação da habilidade passante - Métodos da caixa L e da caixa U**, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15823-5, **Concreto autoadensável Parte 5: Determinação da viscosidade - Método do funil V**, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16416, **Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos**, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16889, **Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16916, **Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água**, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16917, **Agregado graúdo - Determinação da densidade e da absorção de água**, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16972, **Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios**, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 17054, **Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio**, 2022.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118, **Projeto de estruturas de concreto**, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211, **Agregados para concreto - Requisitos**, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR. 7222, **Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral corpos de prova cilíndricos**, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12142, **Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão em corpos de prova prismáticos**, 2010.

ASTM C494/C494M-17, "**Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete**," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.

Azad, A., Anshul, A., Azad, N., Samarakoon, S., Yadav, R., Bherwani, H., ... & Gebremariam, K. (2022). **Pervious geopolymers as sustainable material for environmental application. Materials Letters**, 318, 132176. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2022.132176>.

BARTOS, P.J.M., *et al*, Workability and Rheology of fresh concrete: compendium of tests, Report of RILEM Technical Committee TC 145-WSM, Workability of Special Concrete Mixes, Cachan: RILEM, 2002.

BATEZINI, Rafael. **Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves**. 2013. Dissertação

(Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

BONI, R.; BRITZ, C.; HELENE, P. Controle da resistência à compressão do concreto: análise comparativa entre os procedimentos propostos pela ABNT, ACI e EN. Estudo de caso. **Revista ALCONPAT**, v. 8, n. 3, p. 333-346, 2018.

CAIADO, Carlos Samuel Silvestre. **Determinação da resistência in situ do betão**. 2014. Dissertação de Mestrado. Universidade de Coimbra (Portugal).

Cangussu, N., Costa, I., Júnior, Á., Silveira, M., Aslani, F., & Maia, L. (2022). **Influence of the preparation of the cylindrical specimen surface and approach analysis on the test value of compressive strength**. *Structural Concrete*, 23(6), 3804-3818. <https://doi.org/10.1002/suco.202100761>.

Castro, S., Araújo, R., & Carasek, H. (2022). **Influência da técnica de capeamento na resistência à compressão do concreto permeável**. <https://doi.org/10.46421/entac.v19i1.2029>.

CAVALCANTI, D. J. de H. **Contribuição ao estudo de propriedades do concreto auto-adensável visando sua aplicação em elementos estruturais**. 2006. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia / Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.

COSTA, Ada Catarina Soares de Sena; CABRAL, Antonio Eduardo Bezerra. **Estudo comparativo entre o concreto autoadensável e o concreto convencional vibrado em obra vertical**. *Ambiente Construído*, v. 19, n. 4, p. 289-301, 2019.

COSTA, FBP Da. **Análise e desenvolvimento de misturas de concreto permeável para aplicação em pavimentação**. 2019. 181 f. 2019. Tese de Doutorado. Tese (Pós-graduação)–Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

COUTINHO, Bianca Serra. **Propriedades e comportamento estrutural do concreto autoadensável**. 2011. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado–UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia Civil, Rio de Janeiro.

DA COSTA, Maria de Lurdes Belgas. **Caracterização das propriedades físicas, mecânicas e térmicas de betões com incorporação de cortiça**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de Coimbra (Portugal).

DA SILVA, Luís Miguel Gouveia. **Caracterização das propriedades termo-mecânicas do betão nas primeiras idades para aplicação estrutural**. 2007. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto (Portugal).

DE CASTRO GUETTI, Paulo. **Contribuição ao estudo das propriedades mecânicas do concreto autoadensável e do concreto autoadensável reforçado com fibras de aço**. 2012.

Deo and Neithalath. "Effect of Mixture Proportioning, Energy, and Compaction Method on Porosity and Permeability of Pervious Concrete." *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 22, no. 12, 2010, pp. 1263-1271. [https://doi:10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000125](https://doi:10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000125).

EFNARC, Specification. Guidelines for self-compacting concrete. **London, UK: Association House**, v. 32, p. 34, 2002.

ENTE ITALIANO DI NORMAZIONE. UNI EN 12390-3, **Testing hardened concrete - Compressive strength of test specimens**, 2003.

ENTE ITALIANO DI NORMAZIONE. UNI EN 12390-5. **Testing Hardened Concrete - Flexural strength of test specimens**. 2002.

ENTE ITALIANO DI NORMAZIONE. UNI EN 12390-6, **Testing hardened concrete - Indirect tensile strength of specimens**, 2002.

Fédération Internationale du Béton / International Federation for Structural Concrete. 2010. **fib Model Code for Concrete Structures**. Lausanne, Switzerland, CEB-FIP 2010.

FERNANDES, Nelson Agostinho Gonçalves. **Caracterização do betão reforçado com fibras de aço**. 2012. Dissertação de Mestrado. Universidade NOVA de Lisboa (Portugal).

HELLAND, Steinar. **Design for service life: implementation of fib Model Code 2010 rules in the operational code ISO 16204**. *Structural Concrete*, v. 14, n. 1, p. 10-18, 2013. <https://doi.org/10.1002/suco.201200021>.

HASELBACH, L.; FREEMAN, R. **Vertical Porosity Distributions in Pervious Concrete Pavement**. *ACI Materials Journal*, v.103, n.6, 2006, p.452-458

HELENE, Paulo RL; TERZIAN, Paulo. **Manual de dosagem e controle do concreto**. 1993.

HTA, P.K., MONTEIRO, P.J.M., *Concrete microstructure, properties and materials*, McGraw-Hill, 2006.

JUCÁ, P. H. de O. **Avaliação do mecanismo de transferência de tensões e formação de fissuras no concreto autoadensável com reforço híbrido**. 2020. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2020.

Luo, G., Liu, H., Li, W., & Lyu, X. (2020). **Automobile exhaust removal performance of pervious concrete with nano tio2 under photocatalysis**. *Nanomaterials*, 10(10), 2088. <https://doi.org/10.3390/nano10102088>.

MASSAROTTO, Lucas Vinicius; JÚNIOR, Alex Neves; DALOSTO, João Augusto Dunck. **Caracterização mecânica e reológica de concretos com resíduos de madeira e sílica ativa**. *E&S Engineering and Science*, v. 8, n. 2, p. 15-24, 2019.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 2th. Natal, Brazil: IBRACON, 2014.

MEHTA, P.K., MONTEIRO, P.J.M., *Concrete microstructure, properties and materials*, McGraw-Hill, 2006.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do concreto-5ª Edição**. Bookman Editora, 2015.

Nguyen, C., Nguyen, D., Le, K., Thi, T., & Hung, V. (2022). **Research and production of permeable concrete as a sustainable surface layer for urban infrastructures and the effect of maintenance method on its infiltration capacity**. The Scientific Journal of Tra Vinh University Issn 2815-6072 E-Issn 2815-6099, 11(47), 60-67. <https://doi.org/10.35382/tvujs.1.47.2022.926>.

OKAMURA, Hajime; OUCHI, Masahiro. **Self-compacting concrete**. Journal of advanced concrete technology, v. 1, n. 1, p. 5-15, 2003.

PADOIN, Daniela Galiotto. **Estudo das propriedades mecânicas e físicas de um traço comercial de concreto autoadensável com e sem substituição de cinza de casca de arroz**. 2017. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2017.

PEREIRA DA COSTA, Fernanda. B.; HASELBACH, Liv M.; DA SILVA FILHO, Luiz. C. P. **Pervious concrete for desired porosity: Influence of w/c ratio and a rheology-modifying admixture**. Construction and Building Materials, v. 268, jan. 2021, 121084. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.121084>

PEREIRA, João Batista; MACIEL, Geraldo de Freitas. **Medida de consistência do concreto pelo abatimento do tronco de cone automatizado: sua validação e potencialidades**. Matéria (Rio de Janeiro), v. 26, p. e13088, 2022.

POPOVICS, S., **Fundamentals of Portland Cement Concrete - a Quantitative Approach: Fresh concrete**, John Wiley & Sons, 1982.

QUEIROZ, R.C, Engenharia Civil: Resumo Histórico. In: QUEIROZ.R.C. **Introdução à engenharia civil: História, principais áreas e atribuições da profissão Engenharia Civil: Resumo Histórico**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2019. v.1. p.21-42. Disponível em: www.academia.edu.

Ramos, M., Pinheiro, I., & Júnior, L. (2021). **Influência da porosidade na condutividade térmica, resistência mecânica e coeficiente de permeabilidade do concreto permeável**. Revista Ibero-Americana De Ciências Ambientais, 12(5), 515-528. <https://doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2021.005.0041>.

VAN GEEL, K. **Influence of Friction and End Restraint on the Failure Mode of Concrete Specimens**. Journal of Materials in Civil Engineering, v. 12, n. 2, p. 112–119, 2000.

Yuan, W. (2024). **Influence of mineral admixtures on the performance of pervious concrete and microscopic research.** Buildings, 14(2), 533.
<https://doi.org/10.3390/buildings14020533>