

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA

GABRIEL DIAS DO ESPIRITO SANTO

**A importância e a efetiva sistemática de aplicação do
controle de qualidade do concreto para obras civis**

Ilha solteira
2024

GABRIEL DIAS DO ESPIRITO SANTO

**A importância e a efetiva sistemática de aplicação do
controle de qualidade do concreto realizada em obras civis**

Prof. Dr. Marco Antônio de Moraes Alcantara
Orientador

Trabalho de Conclusão de
Curso apresentado à Faculdade de
Engenharia, Câmpus de Ilha Solteira,
Universidade Estadual Paulista “Julio
de Mesquita Filho”, como parte das
exigencias para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil

Ilha solteira
2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

E77i Espírito Santo, Gabriel Dias do.
A importância e a efetiva sistemática de aplicação do controle de qualidade do concreto para obras civis / Gabriel dias do Espírito Santo. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2024
86 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2024

Orientador: Marco Antônio de Moraes Alcantara

Inclui bibliografia

1. Controle tecnológico. 2. Laboratórios. 3. Slump test. 4. Resistência a compressão. 5. Corpos de prova.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Aluno: GABRIEL DIAS DO ESPÍRITO SANTO

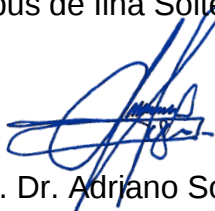
Título: " A IMPORTÂNCIA E A EFETIVA SISTEMÁTICA DE APLICAÇÃO DO CONTROLE DE QUALIDADE DO CONCRETO PARA OBRAS CIVIS"

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado como parte dos requisitos para obtenção do grau de Engenheiro Civil, junto ao Curso de Graduação em Engenharia Civil, da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de Ilha Solteira

COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. Marco Antônio de Moraes Alcantara
UNESP – Campus de Ilha Solteira (Orientador)



Prof. Dr. Adriano Souza
UNESP – Campus de Ilha Solteira

Rodrigo Andraus Bispo
Prof. MSc. Rodrigo Andraus Bispo
UNESP – Campus de Ilha Solteira

Ilha Solteira

28/05/2024

Dedicatória

Para minha mãe Sônia Regina Dias, no qual enfrentou dificuldades inimagináveis para criar sozinha seus filhos. Dedico também, aos meus irmãos Thiago Dias do Espírito Santo e Rafael Dias do Espírito Santo, que me apoiaram e aconselharam quando eu mais precisei. E por fim, dedico a minha avó Lila Nascimento Dias e meu avô Ivan Gabriel Dias, que sempre mantiveram as portas abertas para mim. Sem vocês, nada disso seria possível, nós vencemos. Obrigado

AGRADECIMENTOS

À minha família, que tanto me ensinou, incentivou e aconselhou durante toda minha vida.

À minha namorada, que me aguentou e me ouviu reclamar tantas vezes e sempre esteve ao meu lado.

Aos meus colegas de curso, que muito me ajudaram quando eu precisei, pelas horas de estudos e exaustivos trabalhos.

Aos colegas do Solidarisa e da Equipe Águia, que me ensinaram a ajudar o próximo e a trabalhar em equipe, proporcionando experiências fantásticas e inesquecíveis.

Ao meu orientador e excelente professor, Marco Antônio de Moraes Alcantara, no qual tive a honra de trabalhar e ter aula.

Todos os professores e colaboradores que participaram dessa longa jornada.

À todos os colegas de trabalho e de estágio que conheci durante esses anos, no qual me ensinaram infinidades de coisas, que levarei para toda minha vida

Ao Núcleo de Permanência Estudantil, que me ajudou com bolsas de auxílio socioeconômica, me mantendo boa parte da faculdade.

*Quem costuma vir de onde eu sou
Às vezes não tem motivo pra seguir
Então levanta e anda, vai, levanta e anda
Vai, levanta e anda
Mas eu sei que vai, que o sonho te traz
Coisas que te faz prosseguir
Vai, levanta e anda, vai, levanta e anda
Vai, levanta e anda, vai, levanta e anda*

*Irmão, você não percebeu
Que você é o único representante
Do seu sonho na face da terra
Se isso não fizer você correr, chapa
Eu não sei o que vai*

(EMICIDA; DA RIMA, Rael. Levanta e anda.

Disponível em:

<https://www.letras.mus.br/emicida/levanta-e-anda/>.

Acesso em: 28 de Abril 2024.)

RESUMO

Atualmente, é impossível não notar a evolução das tecnologias na nossa sociedade, inclusive, quando o assunto é engenharia civil. Apesar do desenvolvimento das primeiras cidades, serem datadas a milhares de anos, o avanço tecnológico teve um crescimento nos últimos 200 anos, com os estudos e a aplicação do cimento Portland e do concreto armado.

Esse grande avanço em um espaço de tempo relativamente curto, cria a necessidade de um sistema efetivo de regulamentação e controle das metodologias aplicadas. Com isso, em 1940, é fundada a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que é o órgão responsável pela normalização técnica no Brasil, em diversas áreas do conhecimento.

Apesar da teoria dessas aplicações serem estudadas e validadas, quando o método passa a ser aplicado na prática, infelizmente, por diversos fatores, o resultado pode sair longe do esperado. Desta forma, o controle tecnológico do concreto surgiu com a finalidade de utilizar diversos tipos de testes, para verificar a qualidade do concreto e atestar, com o apoio das normas técnicas da ABNT, se as propriedades do material recebido estão de acordo com as solicitadas em projeto.

Portanto, esta dissertação tem como finalidade expor quais são as normas técnicas existentes e quais são utilizadas, explicando a metodologia e a aplicação dos testes, assim como sua importância, identificando principais falhas e possíveis consequências. Tudo para certificar que o concreto utilizado, possui as propriedades e os resultados esperados, evitando prejuízos e sempre, a favor da segurança.

Palavras-chave: Controle tecnológico, Laboratórios, Slump test, Resistência a compressão, Corpos de prova.

ABSTRACT

Currently, it is impossible not to notice the evolution of technologies in our society, especially when it comes to civil engineering. Despite the development of the first cities dating back thousands of years, technological advancement has experienced growth in the last 200 years, with the study and application of Portland cement and reinforced concrete.

This significant advancement in a relatively short period of time creates the need for an effective system of regulation and control of applied methodologies. Thus, in 1940, the Brazilian Association of Technical Standards (ABNT) was founded, which is the body responsible for technical standardization in Brazil across various fields of knowledge.

Despite the theoretical study and validation of these applications, when the method is put into practice, unfortunately, due to various factors, the result may deviate from the expected. Therefore, concrete technological control emerged with the purpose of using various types of tests to verify the quality of concrete and to ascertain, with the support of ABNT technical standards, whether the properties of the material received are in accordance with those requested in the project.

Therefore, this dissertation aims to expose the existing technical standards and those used, explaining the methodology and application of tests, as well as their importance, identifying main flaws and possible consequences. All to ensure that the concrete used possesses the properties and results expected, avoiding losses and always prioritizing safety.

Keywords: Technological control, Laboratories, Slump test, Compression strength, Specimens.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fatores que influenciam a qualidade do concreto.....	27
Figura 2 – Métodos de ensaio de flexão do concreto.....	39
Figura 3 – Representação esquemática do módulo de elasticidade, tangente inicial (Eci).....	40
Figura 4 - Representação esquemática do módulo de deformação secante (Ecs) ...	40
Figura 5 – Ensaio do módulo de elasticidade secante (Ecs).....	41
Figura 6 – Molde para ensaio.....	45
Figura 7 – Complemento tronco-cônico metálico de enchimento.....	45
Figura 8 – Procedimento do ensaio de abatimento	46
Figura 9 – Abatimento (em mm) medido imediatamente após retirada do molde	47
Figura 10 – Moldes para corpos de prova cilíndricos	49
Figura 11 – Adensamento manual de corpo de prova cilíndrico.....	51
Figura 12 - Molde – Cone de Abrams	54
Figura 13 - Placa-base	54
Figura 14 - Classes do índice de estabilidade visual (IEV)	56
Figura 15 - Armazenado em solução saturada de hidróxido de cálcio	57
Figura 16 - Câmara úmida com umidade relativa do ar superior a 95 %, à temperatura entre $(21 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ e $(27 \pm 2)^{\circ}\text{C}$	57
Figura 17 - Máquina de retifica para corpos de prova	58
Figura 18 – Ensaio de resistência a compressão.....	60
Figura 19 - Exemplo do dispositivo auxiliar utilizado no ensaio.....	63
Figura 20 - Disposição do corpo de prova.....	64
Figura 21 – Ensaio de resistência de tração por compressão diametral	65
Figura 22 – Esquema da máquina de ensaio	68
Figura 23 – Ensaio de tração na flexão.....	69
Figura 24 – Ruptura fora do terço médio.....	70
Figura 25 - Base dependente e independente	71
Figura 26 - Ensaio de módulo de elasticidade.....	72
Figura 27 - Representação esquemática do carregamento para a determinação do módulo de elasticidade - Metodologia A.....	73

Figura 28 - Representação esquemática do carregamento para a determinação do módulo de elasticidade - Metodologia B.....	75
Figura 29 - Representação esquemática do carregamento para a determinação do módulo de deformação secante a uma tensão indicada σ_n	77
Figura 30 – Representação esquemática do carregamento para a determinação do módulo de deformação secante pelo diagrama tensão-deformação.....	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Grupo de atividade que cada profissional pode exercer, de acordo com norma: Concreto fresco	22
Tabela 2 - Grupo de atividade que cada profissional pode exercer, de acordo com norma: Concreto endurecido	23
Tabela 3 - Classes de consistência para concreto de consistência normal	33
Tabela 4 – Classe de espalhamento (slump-flow).....	33
Tabela 5 - Valores de ψ_6	38
Tabela 6 – Dimensões do corpo de prova e vão de ensaio	48
Tabela 7 – Número de camadas para moldagem dos corpos de prova	50
Tabela 8 - Classes de índice de estabilidade visual (IEV).....	56
Tabela 9 - Tolerância para a idade de ensaio	61
Tabela 10 - Fator de correção h/d	62

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1.	Responsabilizações, qualificações e definiçõesErro! Indicador não definido.	
3.1.1.	Responsabilidade técnica	18
3.1.2.	Qualificação de pessoal.....	20
3.1.3.	Competência de laboratórios	24
3.2.	Etapas de preparação do concreto	25
3.3.	Fatores que influenciam na qualidade do Concreto	26
3.3.1.	Qualidade dos componentes.....	27
3.3.2.	Dosagem	29
3.3.3.	Mistura.....	30
3.3.4.	Aplicação	31
3.3.5.	Cura	31
3.3.6.	Testagens.....	32
3.3.6.1.	Resistência a compressão	34
3.3.6.1.1.	Controle do concreto por amostragem total (100%)	36
3.3.6.1.2.	Controle estatístico do concreto por amostragem parcial	36
3.3.6.1.3.	Casos Excepcionais	37
3.3.6.2.	Resistência a Tração.....	38
3.3.6.3.	Módulo de elasticidade	39
4	METODOLOGIA:	42
4.1.	Amostragem do concreto fresco	42
4.2.	Consistência pelo abatimento do tronco de cone	43

4.3.	Moldagem de corpos de prova.....	48
4.3.1.	Adensamento manual	50
4.3.2.	Adensamento mecânico	51
4.4.	Determinação do espalhamento – Método do cone de Abrams.....	52
4.4.1.	Amostragem.....	52
4.4.2.	Aparelhagem.....	53
4.4.3.	Execução do ensaio	55
4.4.4.	Resultados	55
4.4.5.	Relatório de ensaio	56
4.5.	Cura de corpos de prova	57
4.6.	Preparação das bases dos corpos de prova e testemunhos cilíndricos para ensaio de compressão	58
4.7.	Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.....	59
4.7.1.	Cálculo da resistência.....	62
4.8.	Ensaio da resistência à tração de corpos de prova cilíndricos	63
4.9.	Ensaio da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos	66
4.10.	Determinação do módulo de elasticidade e de deformação	70
4.10.1.	Módulos estáticos à compressão	70
4.10.1.1.	Metodologia A – Tensão σ_a fixa.....	72
4.10.1.2.	Metodologia B – Deformação específica ϵ_a fixa	74
4.10.2.	Determinação do módulo de deformação específica (Ecs)	76
5	DISCUSSÕES:.....	80
6	CONCLUSÃO	82
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83

1 INTRODUÇÃO

No desenvolvimento da humanidade, desde a pré-história até os dias atuais, notamos a influência direta do habitat no comportamento e evolução da espécie. Se no período Paleolítico, os seres primitivos habitavam cavernas para proteção climática e predatória de outros animais, no período Neolítico já há relatos de vilas com casas de madeiras, barro, argila ou pedra, possibilitando assim o sedentarismo e o início da agricultura.

Com o progresso da sociedade e o anseio de melhorias, surgiram pequenas pontes, sistemas de armazenamento de água e irrigação, entre diversas outras pequenas obras de engenharia que hoje, possuímos uma vasta literatura e avanços tecnológicos. Desta forma, existem marcos históricos de evolução que mudaram o rumo do conhecimento na construção civil, uma divisão conhecida como a Revolução na Arte de Projetar e Construir Estruturas (HELENE, 2007).

A primeira grande obra considerada nessa divisão, é a primeira pirâmide de blocos de rocha, construída pelo primeiro arquiteto da história, conhecido como Imhotep, por volta de 2600 a.C.. Essa pirâmide egípcia substituiu pela primeira vez a argila, a madeira ou cerâmica, além de ser precursora da pirâmide de Khufu (Queóps) com 147 metros de altura e considerada a mais antiga das 7 maravilhas da antiguidade e que permanece em grande parte intacta até hoje (HELENE, 2007). A partir de então, obras em rochas foram aperfeiçoadas e difundidas, tornando-se cada vez mais resistentes e bonitas.

A segunda revolução iniciou-se no século XIX, mais de 4000 mil anos depois, com a utilização de um novo material, o aço. O aço começou a ser utilizado como tirantes e pendurais, auxiliando outras estruturas, mas começou a ter relativa importância em algumas pequenas pontes em arco ou treliçadas, com elementos de ferro fundidos submetidos a compressão. Em 1875 a ponte de Eads, nos Estados Unidos, alcançou um vão central de 158 metros. Inaugurada em 1889, *La Tour Eiffel*, na França, foi a primeira a ultrapassar a Pirâmide de Khufu, com 312 metros de altura.

O concreto simples, uma mistura de cal hidratada com argila pozolânica, era um material durável e com pouca resistência, foi utilizado em rodovias e em alguns pavimentos durante toda a antiguidade. Porém, começou a ser observado e estudado apenas após a patente do cimento Portland, por John Aspdin em 1824, na Inglaterra,

e o posterior desenvolvimento do concreto armado. O desenvolvimento das pesquisas, tornaram o concreto de cimento Portland conhecido e confiável, resultando em uso generalizado em estruturas, marcando a terceira Revolução na Arte de Projetar e Construir Estruturas (HELENE, 2007).

Por volta de 1900 o francês Hennebique, patenteou o “sistema Hennebique”, um dos primeiros métodos de construção de concreto armado, no qual teve mais de 7000 estruturas construídas com esse sistema entre 1892 e 1902. Em 1901 ele inaugurou um edifício de 7 andares onde fez sua residência e escritório de negócios. Em 1931, foi inaugurado o Empire State Building, em Nova York, com 383 metros, tornando-se o maior edifício do mundo por anos, sendo o 54º mais alto do mundo atualmente.

O investimento na ciência e tecnologia nas estruturas de concreto, passou a ser necessário para obter e manter a qualidade de vida, influenciando na competitividade e liderança do parque industrial de um país. Desta forma, inovações para melhorar o desempenho desse material, como aumentar a resistência, oferecer economia ou causar menos danos ambientais, resultou no surgimento de componentes como os aditivos, tipos de cimentos variados, pigmentos, fibras, agregados especiais ou adições minerais, no qual podemos obter um concreto armado, concreto protendido, com alta resistência, concreto leve, autoadensável, com alta resistência inicial, com baixo calor de hidratação, resistentes a sulfatos, entre tantas outras aplicações. Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), foram vendidos 63,1 milhões de toneladas, de cimento no Brasil em 2022.

Deu-se o início da quarta Revolução na Arte de Projetar e Construir Estruturas, onde hoje, o maior edifício do mundo, o Burj Khalifa, em Dubai, possui incríveis 828 metros, 163 andares acima do solo. Dentre os 54 maiores, posição ocupada pelo Empire State Building citado acima, apenas nove foram construídos antes de 2010.

Com essa variedade, torna-se cada vez mais imprescindível que haja um controle sobre os processos construtivos, desde o cálculo do traço, fabricação e a aplicação do material em obra, pois o grande avanço tecnológico não garante o aperfeiçoamento dos procedimentos técnicos e equipamentos construtivos, nem o uso adequado das propriedades dos materiais. Pelo contrário, a tendência é que quanto mais variedades no mercado, menor seja a técnica e o conhecimento da sua devida aplicação pela mão de obra responsável. Como consequência, a falha na aplicação de algum método pode ocasionar a diminuição do desempenho das estruturas e

alguns problemas patológicos, resultando em perda econômica e diminuição da segurança.

Sendo assim, o controle auxilia desde dosagens experimentais até ensaios em materiais, ensaios no concreto fresco e ensaios no concreto endurecido. Para que todo ciclo de qualidade se cumpra, é importante o planejamento prévio de quais materiais serão ensaiados, quando e como isso será feito. O passo seguinte é o acompanhamento da aplicação dos materiais ensaiados na obra (MENTONE; apud SOUSA, 2014).

Portanto, o controle tecnológico é um conjunto de intervenções e averiguações que garantem a qualidade e aceitação dos processos construtivos, de acordo com regulamentações que conduzem esse procedimento, integrando diversas áreas para estabelecer as regras práticas para uma obra segura e econômica (TEIXEIRA e LAGE, 2019).

As regulamentações são feitas através de normas técnicas publicadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), um órgão privado sem fins lucrativos que cuida da padronização de procedimentos técnicos do país, designando também, obrigações e responsabilidades. Assim, através da utilização e aplicação das normas, pode-se padronizar os processos, avaliando a qualidade do produto e/ou serviço, junto com sua devida conformidade.

A falta de qualificação da mão de obra é um dos fatores determinantes nos resultados finais, pois é comum encontrar vícios construtivos, locais inapropriados, pressa para cumprir prazos e o não cumprimento das normativas de maneira adequada, devido à falta de treinamento ou apenas por negligência. As operações de controle devem ser rigorosamente constantes, para que seja possível a observação da variabilidade presente na estrutura e não uma variação do ensaio (HELENE; TERZIAN, apud FERNANDES, 2011).

2 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica das normas da ABNT relacionadas ao controle de qualidade do concreto, analisando os procedimentos estabelecidos e os principais erros cometidos, os quais influenciam diretamente os resultados e que garantem a conformidade, a segurança e a durabilidade das obras civis.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na construção civil, desde pequenas até grandes obras, são necessários diversos tipos de mão de obra especializada. Imagine um edifício de vários andares e metros quadrados, com elevadores, estacionamento, acabamento e tantas outras necessidades básicas construtivas, quantos profissionais qualificados seriam necessários para tal?

Portanto, tornou-se habitual a interação entre diversas empresas, terceirizando serviços e repassando as responsabilidades técnicas, pois uma empresa especializada tende a obter melhores resultados, melhores desempenhos e um melhor controle do processo construtivo, do que uma empresa que abrange tudo ao mesmo tempo. De modo geral é benéfico essa interação para a sociedade, tanto para os responsáveis técnicos, quanto para os usuários, apresentando melhor segurança, economia de materiais, economia de tempo e de recursos financeiros.

O concreto possui duas fases distintas, a fresca e a endurecida. Precisa ser dosado, misturado, transportado, lançado, adensado e curado. Seu controle tecnológico engloba ensaios antes e depois da fabricação do concreto para que possa garantir a qualidade do produto final. Ensaios esses, normalizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) no qual conceitua, adequa e padroniza a metodologia destes, de forma eficaz e eficiente.

As normas estabelecem as responsabilidades técnicas dos processos construtivos, algo de suma importância por poder identificar e responsabilizar os profissionais, desde o proprietário ao responsável técnico. Também abrange, especificações de procedimentos, recomendações, documentações, entre tantos outros aspectos fundamentais para comprovação da qualidade final do concreto.

Salientando que, um determinado processo pode envolver diversas normas, assim como pode haver vários procedimentos que não são usuais em obras. Portanto, o trabalho visa também, detalhar e esclarecer o processo, apontando os erros mais comuns da mão de obra, qual sua influência para o processo e averiguar se tais normas estão atualizadas com o mercado construtivo atual.

3.1. Responsabilizações, qualificações e definições

3.1.1. Responsabilidade técnica

De acordo com a ABNT NBR 14931:2023 (Execução de estruturas de concreto armado, protendido e com fibras – Procedimento), que estabelece os requisitos gerais para a execução de estruturas de concreto, orienta seguir as atribuições de responsabilidades estabelecidas na ABNT NBR 12655: 2022 (Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – procedimento), assim como deve ser preparado, atendendo aos critérios de controle da qualidade previstos nessa norma. Quando se tratar de concreto dosado em central, deve-se também estar de acordo com a ABNT NBR 7212:2021 (Concreto dosado em central – preparo, fornecimento e controle).

A ABNT NBR 12655:2022 estabelece os requisitos para as propriedades do concreto fresco e endurecido, com suas respectivas verificações, assim como a composição, preparo, controle, aceitação e recebimento do concreto, define também quais são os profissionais responsáveis e quais são suas responsabilidades.

De acordo com o item 4.2 dessa norma, cabe ao profissional responsável pelo projeto estrutural as seguintes responsabilidades, a serem explicitadas nos contratos e em todos os desenhos e memoriais que descrevem o projeto tecnicamente, com remissão explícita para determinado desenho ou folha da memória:

- Registrar a resistência característica à compressão do concreto, f_{ck} , obrigatório em todos os desenhos e memoriais que descrevem o projeto tecnicamente;
- Especificar o f_{ck} ao j dias, f_{ckj} , para as etapas construtivas;
- Especificar os requisitos correspondentes a durabilidade da estrutura e elementos pré-moldados durante sua vida útil, inclusive da classe de agressividade adotada em projeto;
- Especificar o requisitos das propriedades especiais do concreto, durante a fase construtiva e a vida útil da estrutura.

Segundo o item 4.3, cabe ao profissional responsável pela execução da obra:

- Escolher a modalidade de preparação do concreto, o tipo de concreto, a consistência, dimensão máxima do agregado e demais propriedades, de acordo com o projeto e com as condições de aplicação;

- Recebimento, aceitação e a rastreabilidade do concreto lançado na estrutura;
- Verificação do atendimento aos requisitos desta Norma pelos respectivos profissionais envolvidos;
- Atender a todos os requisitos do projeto, inclusive à escolha dos materiais.
- Atendimento a ABNT NBR 9062 para a liberação da protensão, da desforma e da movimentação de elementos pré-moldados;
- Cuidados requeridos pelo processo construtivo, considerando as peculiaridades dos materiais e as condições de temperatura ambiente.

Por fim, a norma estabelece que “o responsável pelo recebimento e pela aceitação do concreto são os proprietários da obra e o responsável técnico pela obra, designado pelo proprietário. A documentação comprobatória do cumprimento desta Norma (relatório de ensaios, laudos e outros) deve estar disponível e ser arquivada pelo prazo de cinco anos”.

A ABNT NBR 14931:2023, define que construtor é o profissional ou entidade responsável pela execução da obra e execução da estrutura de concreto, envolvendo todas as atividades desenvolvidas com o material. A inspeção e fiscalização são atividades desenvolvidas para verificar se a execução está de acordo com as especificações do projeto e desta norma. Por fim, especificações de projeto são documentos que estabelecem dados técnicos e requisitos para um projeto em particular.

Sobre a documentação do projeto, deve conter todas as especificações e informações necessárias, para a execução da obra, antes do início da execução. A documentação dos procedimentos de execução deve estabelecer todos os requisitos para distribuição, arquivo e registro de documentos técnicos usados na obra. Já a documentação de qualidade deve ser estabelecida um plano de qualidade, elaborado pelo projetista e proprietário da obra, todos de acordo com a ABNT NBR 6118:2024 (Projeto de estruturas de concreto – procedimento).

É importante ressaltar, novamente na ABNT NBR 12655:2022, que é definido como concreto preparado pela executante da obra, quando a dosagem e a elaboração deste é realizada no canteiro de obra pelo construtor. Já o concreto dosado em central, é o dosado em instalações específicas ou em central instalada no canteiro da obra em

conformidade com a ABNT NBR 7212:2021, misturado, transportado e entregue em tempo e local determinado, antes do início de pega do concreto, para que se processem as operações subsequentes para obtenção de um concreto endurecido com a propriedade especificada. A central de concreto, é o conjunto de instalações onde são realizadas as operações de recebimento, estocagem e dosagem dos materiais componentes do concreto e, conforme o caso, mistura deste.

A ABNT NBR 7212:2021 (Concreto dosado em central – Preparo, fornecimento e controle) inclui o controle de qualidade dos materiais constituintes do concreto, a dosagem, a mistura, o transporte e o fornecimento, assim como as operações de controle e análise do seu processo de preparo, para que o concreto seja aceito de acordo com o atendimento das especificações e exigências pedidas na ABNT NBR 12655:2022.

Quando o concreto for preparado por empresa de serviço de concretagem, esta assume a responsabilidade pelo serviço e deve cumprir as prescrições relativas as etapas de preparo do concreto, bem como as disposições da ABNT NBR 12655:2022 e ABNT NBR 7212:2021. A documentação relativa ao cumprimento destas prescrições e disposições deve ser disponibilizada para o responsável pela obra e arquivada na empresa de serviços de concretagem, sendo preservada durante cinco anos.

3.1.2. Qualificação de pessoal

A ABNT NBR 15146-1:2011 (Controle tecnológico de concreto — Qualificação de pessoal Parte 1: Requisitos gerais) define que qualificação é a demonstração de aptidão física, conhecimentos, habilidades, treinamento e experiência requeridos para desempenhar adequadamente as atividades inerentes a determinada categoria. O Quadro 1 fornece os requisitos mínimos de escolaridade e experiência profissional para cada profissional.

Quadro 1 - Requisitos mínimos de escolaridade e experiência profissional

Categoria	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
Tecnologista/ Inspetor ^a	Estudantes e graduandos em Engenharia Civil, Arquitetura e tecnologia em construção civil (ver nota) e um ano de experiência na atividade	Técnico em edificações (ensino profissionalizante técnico em construção civil) e dois anos de experiência na atividade	Ensino médio e três anos de experiência na atividade
Laboratorista	Técnico em edificações (ensino profissionalizante técnico em construção civil) e seis meses de experiência na atividade	Ensino médio e um ano de experiência na atividade Ensino médio e um ano de experiência na atividade	Ensino fundamental e dois anos de experiência na atividade
Auxiliar	Ensino médio e seis meses de experiência na atividade	Ensino fundamental e um ano de experiência na atividade	4ª série do ensino fundamental e um ano e seis meses de experiência na atividade
^a Os candidatos devem apresentar comprovação de conclusão das disciplinas “Resistencia dos materiais” e “Materiais de Construção”			

Fonte: (ABNT NBR 15146-1:2011, p. 06)

A norma também define no item 3, que auxiliar é o profissional apto a realizar coleta e ensaios básicos, sem avaliação e emissão de relatórios. O laboratorista I, pode realizar ensaios e efetuar cálculos, sem avaliação e emissão de relatório, com atuação principal em campo, já o laboratorista II, tem sua atuação principal em laboratório. O tecnologista, pode realizar ensaios, definir procedimentos executivos de inspeção e amostragem, discernir sobre os limites de aceitação, efetuar cálculos e emitir relatórios. Por fim, o inspetor é apto para realizar todas as inspeções abrangidas na preparação de concreto, a analisar e avaliar os resultados dos ensaios.

A seguir, na Tabela 1 e na Tabela 2, está representado o grupo de atividade que cada profissional pode realizar de acordo com a norma e com os tópicos abordados nesse presente trabalho, referindo-se ao concreto fresco e ao concreto endurecido, respectivamente. Antes, segue o significado das siglas, de acordo com item 4.5.2 desta norma:

- Ex: Executa o ensaio e se limita a preencher o formulário com as devidas informações, sem fazer cálculos;

- CA: Efetua cálculos, tomando como base as informações constantes nos formulários;
- CP: Interpreta e avalia os procedimentos executivos de inspeção ou ensaio, amostragem, quantidade de ensaios, periodicidade e pontos de coleta;
- AR: Avalia os resultados, ou seja, tem o discernimento sobre os limites de aceitação ou representatividade dos resultados;
- Nota: o profissional pode eventualmente acumular atribuições.

Tabela 1 - Grupo de atividade que cada profissional pode exercer, de acordo com norma: Concreto fresco

Norma	Título	Auxili ar	laboratorista		Tecnologista	Inspetor
			I	II		
NBR 5738	Moldagem e cura de corpos de prova	EX	EX	EX	EX-CP	CP-AR
NBR 7212	Condições gerais	-	EX-AR	EX-AR	EX-AR	AR
	Condições específicas	-	EX-AR	EX-AR	EX-AR	AR
	Inspeção, aceitação e rejeição	-	-	-	EX-AR	AR
NBR 10342	Perda de abatimento	EX	EX	EX	AR	AR
NBR 12655	Preparo, controle e recebimento de concreto	-	-	-	CP-AR	AR
NBR 12821	Preparação de concreto em laboratório	EX	-	EX	AR	AR

NBR 16889	Abatimento pelo tronco de cone	EX-AR	EX-AR	EX-AR	EX-AR-CP	EX-AR-CP
NBR 16886	Amostragem	EX	EX	EX	EX-CP	EX-CP

Fonte: (ABNT NBR 15146-1:2011, p. 10)

Tabela 2 - Grupo de atividade que cada profissional pode exercer, de acordo com norma: Concreto endurecido

Norma	Título	Auxiliar	Laboratorista		Tecnologista	Inspetor
			I	II		
NBR 5739	Compressão de corpos de prova	EX	EX-CA	EX-CA	EX-CA-CP-AR	AR
NBR 7212	Avaliação Estatística	-	-	-	EX-CA-CP-AR	AR
	Aceitação e rejeição	-	-	-	EX-AR	AR
NBR 7222	Tração por compressão diametral	EX	EX-CA	EX-CA	EX-CA-CP-AR	AR
NBR 7584	Esclerometria	-	EX	EX	EX-CA-CP-AR	CP-AR
NBR 7680	Extração de testemunhos	-	EX-CA	EX-CA	EX-CA-CP-AR	CP-AR
NBR 8522	Modulo de deformação	-	-	EX	EX-CA-CP-AR	AR
NBR 12142	Tração na flexão	EX	EX-CA	EX-CA	EX-CA-CP-AR	AR
NBR 12655	Preparo, controle e recebimento de concreto	-	-	-	CP-AR	AR
NBR 14931	Execução de estruturas de concreto (cura)	-	-	-	CP-AR	CP-AR

Fonte: (ABNT NBR 15146-1:2011, p. 11)

3.1.3. Competência de laboratórios

Os laboratórios são utilizados, principalmente, para realizar ensaios em amostras, testando a qualidade de produtos e elaborando laudos técnicos para certificação destes. A norma ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017 (Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração) especifica os requisitos gerais para a competência, imparcialidade e operação consistente de laboratórios. Clientes do laboratório, autoridades regulamentadoras, organizações e esquemas que utilizem avaliação entre pares, organismos de acreditação e outros, utilizam este documento para confirmar ou reconhecer a competência de laboratórios.

Por esta norma, o laboratório é a organização que pode realizar ensaios, calibrações e amostragem. Deve ser comprometida com a imparcialidade, ou seja, ter ausência de conflitos de interesse, mantendo a neutralidade no processo, de modo a não influenciar as atividades do laboratório, não permitindo também, pressões comerciais ou financeiras. Outro requisito geral do laboratório é a confidencialidade, questão tratada no item 4.2 desta norma.

A ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017 também estabelece requisitos para a estrutura do laboratório e para os recursos destes, como instalações, condições ambientais, equipamentos, calibrações e rastreabilidade metrológica. O laboratório deve ter um procedimento e reter registro para definir, analisar criticamente e aprovar os requisitos para os produtos e serviços fornecidos externamente, definir os critérios para avaliação, seleção, monitoramento do desempenho e reavaliação dos provedores externos e assegurar que os produtos e serviços providos externamente estejam em conformidade com os requisitos estabelecidos pelo laboratório.

Também deve ter um procedimento para o transporte, recebimento, manuseio, proteção, armazenamento, retenção e descarte ou retorno dos itens de ensaio ou calibração, incluindo providências para proteção da integridade destes. É necessário ter um sistema para a identificação não ambígua de itens de ensaio ou calibração, e os resultados devem ser registrado de forma que as tendências sejam detectáveis e quando possível, seja realizada a análise estatística dos resultados. Os resultados devem ser analisados criticamente e autorizados antes de sua liberação.

O relatório deve conter título, nome e endereço do laboratório, local de realização das atividades, identificação unívoca de forma que todos os seus componentes sejam reconhecidos, informações de contato do cliente, identificação do

método utilizado, data de recebimento do item, da amostragem, da realização da atividade e da emissão do relatório, identificação da pessoa que autorizou o relatório final, entre outras recomendações no item 7.8.2.1.

3.2. Etapas de preparação do concreto

As etapas para a preparação do concreto, começam pela caracterização dos materiais componentes do concreto e um estudo de dosagem, com ajustes e comprovação do traço, finalizando na elaboração do concreto (ZALAF, FILHO e BRAZ, 2014, p. 19). O traço é a quantidade expressa em massa ou em volume dos componentes e o estudo de dosagem é o conjunto de procedimentos necessários para a obtenção do traço que atenda aos requisitos especificados ou as condições da obra. O concreto pode também ser prescrito, ou seja, a composição e materiais constituintes podem ser definidos diretamente pelo usuário (ABNT NBR 15655:2022).

O estudo da dosagem deve ser realizado por laboratório próprio ou terceirizado, aprovado e acompanhado por profissional responsável técnico pela central de concreto, legalmente habilitado, sendo mantido registros durante cinco anos. Caso haja variação nos materiais constituintes, causando mudanças no desvio padrão da central, devem ser reavaliado em laboratório e, caso haja alteração de fornecedor, todo o estudo deve ser ajustado (ABNT NBR 7212:2021).

Segundo a norma ABNT NBR 7212:2021, quando o contratante requerer a composição do traço, a empresa de serviços de concretagem deve apresentar esta informação por meio da carta de traço, com a data da sua elaboração, código de identificação do traço, especificação do concreto, materiais utilizados e suas respectivas massas específicas absolutas, fornecedores de insumos, quantidade em massa de cada componente do concreto, teor de ar previsto, massa específica do concreto no estado fresco e assinatura do responsável técnico.

Ainda nesta norma, o pedido do concreto deve conter as descrições das propriedades e parâmetros solicitados para o concreto fresco e endurecido, como resistência característica à compressão, consistência ou espalhamento, dimensão máxima do agregado, classe de agressividade ambiental e demais propriedades, de acordo com o projeto e com as condições de aplicação. Exigências complementares, como tipo de cimento, adição ou aditivos, devem ser informadas com antecedência, para haver tempo suficiente para elaboração do traço que atenda a especificação.

Caso o concreto tenha características não contempladas nas normas, deve-se haver um entendimento entre as partes, para a aceitação.

O local e a programação de entrega devem ser informados pelo contratante, de acordo com o estipulado no contrato e no pedido. Quando o contratante retirar o concreto na central, a prestação do serviço é considerada concluída imediatamente após o carregamento, independentemente do tipo de veículo utilizado. A unidade de entrega é o metro cúbico (m³) ou o quilogramas (kg) de concreto, medido enquanto fresco e após o adensamento (ABNT NBR 7212:2021).

Por fim, esta norma estabelece que cada remessa de entrega de concreto, deve haver um documento com itens obrigatórios conforme os dispositivos legais vigentes, além de conter o volume do concreto, a hora do início da mistura (primeira adição de água), classe de consistência ou espalhamento no início da descarga, dimensão máxima característica do agregado gráúdo, resistência característica do concreto na idade de controle, classe de agressividade ambiental se constar no pedido, quantidade máxima de água complementar a ser adicionada na obra e código de identificação do traço utilizado na dosagem do concreto.

Para cada recebimento de material deve ser feitas a verificação de conformidade das propriedades no estado fresco, não aceitando materiais diferentes dos solicitados.

3.3. Fatores que influenciam na qualidade do Concreto

Segundo a Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural – ABECE, a qualidade do concreto é influenciada pela qualidade dos seus componentes, pela mistura, pela dosagem, pela aplicação, cura e testagem, de acordo com a Figura 1 a seguir:

Figura 1 - Fatores que influenciam a qualidade do concreto



Fonte: (ABECE: MINASCON, 2010; apud MOREIRA; 2016)

O controle tecnológico tem como finalidade, intervir e averiguar a qualidade e aceitação do material, de acordo com as normas regulamentadoras. A principal norma é a ABNT NBR 12655:2022, que institui condições ideais do concreto para estruturas, definindo propriedades do concreto no estado fresco e endurecido.

O concreto fresco é um período curto de tempo, em que o material deve ser misturado, transportado, lançado e adensado. Já o concreto endurecido, começa com a hidratação do cimento e com consequente endurecimento do concreto, devendo ter durabilidade de acordo com especificações de projeto.

Para conseguir correlacionar todo o processo, é determinante que os engenheiros saibam os princípios básicos de proporcionamento, desempenho mecânico e aplicação do material. Desta forma, conhecimento sobre a durabilidade, a resistência à compressão, a relação água/cimento, o consumo de cimento e o abatimento do concreto têm uma interdependência entre si, ou seja, um parâmetro não pode estar totalmente dissociado do outro.

3.3.1. Qualidade dos componentes

O concreto é um material formado pela mistura homogênea de cimento, agregados e água, com ou sem incorporação de outros materiais. Os materiais devem

ser armazenados separados fisicamente e identificados desde o instante do recebimento até o momento de utilização. Pela norma ABNT NBR 12655:2022 “Os materiais componentes do concreto não podem conter substâncias prejudiciais em quantidades que possam comprometer a durabilidade do concreto ou causar corrosão da armadura e devem ser adequados para o uso pretendido do concreto“. A documentação que comprovam a origem e as características dos materiais devem ser arquivados, pelo período de cinco anos.

A norma também diz que “o controle tecnológico dos materiais componentes do concreto deve ser realizado de acordo com as respectivas Normas Brasileiras específicas“. “A composição do concreto e a escolha dos materiais componentes devem satisfazer as exigências estabelecidas nesta Norma, para concreto fresco e endurecido, observando: consistência, massa específica, resistência, durabilidade, proteção das barras de aço quanto à corrosão e o sistema construtivo escolhido para a obra”.

Segue assim, as normativas que estabelecem requisitos para os materiais específicos, ressaltando que a ABNT NBR 12655 possui no item 5.3 requisitos para armazenamento dos materiais constituintes do concreto, que também devem ser seguidos:

- Agregados: Todos os agregados usados em concreto de cimento Portland devem cumprir os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 7211;
- Cimento: Deve cumprir, conforme seu tipo e classe, com os requisitos constantes na ABNT NBR 16697;
- Água: A água utilizada na preparação do concreto deve atender os requisitos da ABNT NBR 15900-1;
- Aditivos: Os aditivos utilizados em concreto de cimento Portland devem cumprir os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 11768-1, além das recomendações contidas na ABNT NBR 12655;
- Sílica ativa: deve atender aos requisitos da ABNT NBR 13956-1;
- Metacaulim: deve atender aos requisitos da ABNT NBR 15894:2010;
- Materiais pozolânicos: devem atender aos requisitos da ABNT NBR 12653.

O profissional responsável pelo traço deve avaliar os insumos disponíveis e responder pelo desempenho do concreto fresco e endurecido, atendendo as

especificações técnicas. Cabe a empresa de serviço de concretagem a reprodução fiel do traço recebido. Caso haja alteração em alguns insumos por parte da empresa de serviço de concretagem, esta deve informar o responsável técnico do contratante e este determinar qual procedimento tomar.

A ABNT NBR 7212:2021 diz que “empresa responsável pela central deve possuir e apresentar, sempre que solicitado, relatórios atualizados de ensaios referentes ao controle da qualidade dos lotes de materiais constituintes do concreto produzido, conforme a ABNT NBR 12655:2022, respeitando a frequência mínima exigida ou conforme a frequência estabelecida em seus procedimentos internos, se menor. Os relatórios de ensaios devem ser fornecidos pelo produtor do insumo e, se possível, acompanhar a respectiva nota fiscal”.

Por fim, a norma finaliza “a falta de resultados de ensaios dos lotes de material fornecido, estes ensaios devem ser executados pela própria empresa responsável pela central produtora do concreto, em seu laboratório ou em laboratório independente. Em caso de alteração das características acordadas de determinado material constituinte, é recomendável que o produtor do insumo informe a mudança à empresa responsável pela central em tempo hábil para a tomada de providências que impeçam a variação na qualidade do concreto fornecido”.

3.3.2. Dosagem

Procedimento que determina as proporções adequadas dos constituintes do concreto, visando combinar o cumprimento das especificações técnicas de forma mais econômica possível. Depende principalmente das características de cada material utilizado, da resistência determinada no projeto estrutural, da trabalhabilidade e coesão da mistura (TEIXEIRA, LAGE, 2019).

O processo de dosagem é um estudo amplo, no qual existem diversos testes de caracterização dos materiais, métodos de dosagens diferentes, normas e procedimentos específicos; podendo ser assunto a ser explorado em trabalhos futuros.

Importante ressaltar que a dosagem feita em laboratório é realizada considerando a massa do material, no entanto, no canteiro de obras, muitas vezes ela é utilizada em volume. Desta forma, a massa unitária ou massa específica aparente deve ser conhecida. Para determinar a massa que cada material ocupa em um volume

conhecido de concreto, é necessário o conhecimento da massa específica real ou absoluta.

A ABNT NBR 12655:2022 orienta que o estudo de dosagem deve ser realizado com os mesmos materiais e condições semelhantes às da obra, tendo em vista as prescrições do projeto e as condições de execução, refazendo o cálculo de dosagem cada vez que ocorra alguma mudança de material. Para concreto autoadensável, no estudo de dosagem, devem ser verificados os requisitos da ABNT NBR 15823-1:2017.

3.3.3. Mistura

Como vimos, o concreto é a mistura de vários materiais proporcionados em massa ou em volume, visando atender requisitos específicos. A ABNT NBR 7212:2021 estabelece requisitos para a mistura, como equipamentos, tempo e até rotação do caminhão betoneira, estabelece também período de tempo para transporte, lançamento, adensamento do concreto e temperatura ambiente. Cada método construtivo e equipamento utilizado, tem recomendações normativas e especificações de fabricantes apropriadas.

Apesar de existir um estudo prévio realizado e programas construtivos bem definidos, uma mistura não eficiente pode causar grandes danos estruturais. Desta forma, o controle tecnológico nesta etapa é um dos mais importantes. O ensaio de consistência, é aplicado entre os processos de mistura e aplicação, através dele podemos verificar a homogeneidade do concreto, observando a possível ocorrência da exsudação e da segregação, além de conferir o abatimento especificado no projeto (SOBRAL, 2000).

Este, é o primeiro teste de aceitação realizado no concreto fresco em obra, que certifica que a mistura do concreto utilizado está de acordo com as especificações de maneira instantânea, evitando a aplicação e uma posterior remoção, caso necessário. O concreto no estado endurecido também fornece vários testes que serão explorados, que certificam as propriedades exigidas e sua conformidade.

A influência da mão de obra pode ser observada em diversos pontos, como não atender as especificações do equipamento de mistura, não atender ao tempo permitido até a aplicação do material, realizar um transporte inadequado, uma adição suplementar de água, realização equivocada do abatimento pelo tronco de cone, entre

outros.

3.3.4. Aplicação

Os parâmetros do concreto fresco, no momento da descarga, devem estar em conformidade com o estabelecido em projeto e com o procedimento acordado entre a empresa de preparo de concreto e a de recebimento. Deve-se realizar a verificação da consistência do concreto fresco em todas as betonadas e seguir recomendações da ABNT NBR 14931:2023 para as formas, armaduras, escoramentos e as respectivas tolerâncias, onde será lançado o concreto. Esta norma, determina também, condições operacionais, volume de concreto, equipamentos, treinamento da mão de obra e transporte do material.

A norma ABNT NBR 14931:2023 faz diversas orientações em relação a concretagem, como por exemplo, a atenção especial ao colocar o concreto sobre trechos já concretados, com o tempo de mistura do material até a sua aplicação, com a iluminação quando realizada à noite, com a temperatura, desagregação, vazamentos, evaporações e adensamento.

Por fim, a norma recomenda documentação de recebimento, certificando o cumprimento das normas e do projeto estrutural, cumprindo o programa de controle característico da obra, incluindo amostras, ensaios e certificados, de cada lote concretado. O resultado do desempenho físico e mecânico, depende também do seu adensamento e da cura submetido após o início de pega, portanto, deve-se tomar cuidado com a vibração dos vibradores, pois pode ocasionar a segregação com o excesso de vibração.

3.3.5. Cura

Neville (2016, p. 334) define que “Cura é a denominação dada aos procedimentos a que se recorre para promover a hidratação do cimento, consiste em controlar a temperatura, a saída e a entrada de umidade no concreto”, ou seja, “tem por finalidade impedir a evaporação da água empregada no traço, durante o período inicial de hidratação” (ANDOLFATO, 2002, p. 13), mantendo o concreto saturado, até o momento em que os espaços da pasta de cimento, sejam preenchidos por produtos dessa hidratação, diminuindo os vazios. Sua finalidade é evitar retração, fissuras e

perda da resistência.

A cura é outro procedimento que consta em várias normas e tem vários procedimentos, de acordo com o processo construtivo escolhido. Para o presente trabalho, será utilizado a ABNT NBR 5738:2015 como base, que estabelece procedimentos para a cura em câmara úmida ou através de tanques com solução saturada de hidróxido de cálcio. Esses procedimentos, são os utilizados atualmente para os corpos de prova curados em laboratório, utilizados no controle tecnológico e principalmente, na obtenção da resistência.

3.3.6. Testagens

O primeiro tipo de testagem para a comprovação da qualidade do concreto, foi visto no item 2.1 “Qualidade dos componentes” e 2.2 “Dosagem”. Esses testes são voltados para o controle dos materiais, com a obtenção das propriedades e características destes. Essas testagens não serão detalhadas, por adentrar outros assuntos complexos, que fogem do presente trabalho.

Após essa testagem, é realizado a dosagem dos materiais com esses resultados, no qual fornece um traço específico. Geralmente, laboratórios misturam, moldam, curam e ensaiam esse traço, afim de comprovar estatisticamente que essa mistura esteja apta e cumpra as determinações técnicas estabelecidas em projeto. Esse procedimento é análogo ao que vemos nas obras, utilizando as mesmas normas, com documentação e responsabilização técnica já descritas anteriormente.

O segundo tipo de testagem, se refere à aceitação do concreto fresco na obra, logo após o recebimento desse material e deve ser feito em todos os lotes recebidos. O teste utilizado em obras, é o abatimento de tronco de cone, conhecido como “*slump test*” e normalizado pela ABNT NBR 16889:2020 ou, o teste de espalhamento, conhecido como “*flow test*”, normalizado pela ABNT NBR 15823-2:2017. Ambos medem a consistência através do abatimento da mistura, porém o primeiro é utilizado em concretos convencionais e o segundo em concretos conhecidos como autoadensáveis.

A consistência é a propriedade que está relacionada com a fluidez do concreto, interferindo no grau de trabalhabilidade. Segundo Schneider (2020) “A consistência do concreto é empregada pra relacionar a mobilidade da massa e a coesão dos materiais constituintes, basicamente a consistência está ligada a associação do teor

de água com os materiais secos”.

Schneider (2020) continua: “Podemos afirmar que o slump test faz parte do controle tecnológico e de qualidade dos materiais da obra, ou seja, através da consistência que é medida, é possível conferir a trabalhabilidade do concreto, e consequentemente, definir se está de acordo ou não com as especificações de projeto e assim, dar prosseguimento na etapa de concretagem”. Caso não seja realizado, ou realizado de maneira equivocada, toda a qualidade do material pode ser comprometida, colocando em risco a segurança e correndo risco de obter grandes prejuízos.

Pela ABNT NBR 7212:2021 os concretos no estado fresco, devem ser especificados por classe de consistência, conforme a Tabela 3, ou por classe de espalhamento, no caso do uso de concreto autoadensável, conforme Tabela 4. De acordo com a ABNT NBR 15823-1:2017, existem nove tabelas para classificar o concreto autoadensável, de acordo com suas propriedades no estado fresco, porém, a apresentada na tabela 4 é a utilizada efetivamente nas obras do país.

Tabela 3 - Classes de consistência para concreto convencional

Classe	Abatimento (A) mm	Método de ensaio
S10	$10 \leq A < 50$	ABNT NBR 16889
S50	$50 \leq A < 100$	
S100	$100 \leq A < 160$	
S160	$160 \leq A < 220$	
S220	$A \geq 220$	
NOTA Em comum acordo entre as partes, podem ser criadas classes especiais de consistência, explicitando a respectiva faixa de variação do abatimento.		

Fonte: (ABNT NBR 7212:2021)

Tabela 4 – Classe de espalhamento (slump-flow)

Classe	Espalhamento mm	Método de ensaio
SF 1	550 a 650	ABNT NBR 15823-2
SF 2	660 a 750	
SF 3	760 a 850	

Fonte: (ABNT NBR 15823-1:2017)

A ABNT NBR 12655:2022 estabelece que para concreto preparado pelo construtor da obra, devem ser realizados ensaios de consistência sempre que ocorrerem alterações na umidade dos agregados e nas seguintes situações: na primeira amassada do dia; ao reiniciar o preparo após uma interrupção da jornada de concretagem de pelo menos 2 h; na troca dos operadores; ou cada vez que forem moldados corpos de prova. Para os preparados por empresa de concretagem, devem ser realizados ensaios a cada betonada e no caso de concreto autoadensável, a frequência de realização dos ensaios está estabelecida na ABNT NBR 15823-1:2017.

O terceiro tipo de controle tecnológico do concreto, é aplicado no concreto endurecido, nos corpos de prova moldados durante a aplicação do concreto fresco. As principais propriedades conferidas, incluem a resistência a compressão, resistência a tração e módulo de elasticidade.

Com as tecnologias atuais, têm surgindo métodos de ensaios não destrutivos para o concreto, como detecção magnética de armadura, potencial de corrosão, tomografia, determinação de teor de sulfato entre outros. Estes métodos não são usualmente utilizados em obras e alguns ainda não possuem normas para o procedimento, destaca-se apenas o ensaio de esclerometria, utilizado para determinação da dureza superficial e de um valor aproximado da resistência do concreto. Este método é aplicado diretamente na estrutura pronta, não necessitando de corpos de prova e não afetando a estrutura existente, sendo solicitado quando observado alguma anormalidade na estrutura.

3.3.6.1. Resistencia a compressão

O concreto trabalha predominantemente a compressão e através deste, é possível fornecer outros parâmetros físicos relacionados empiricamente (ANDOLFATO, 2002). Desta forma, essa é a propriedade mecânica mais importante do concreto e através dela, é realizado o cálculo e dimensionamento das estruturas, a cotação de preços e a dosagem do concreto. Portanto, a testagem dessa propriedade visa validar a qualidade da estrutura, certificando sua estabilidade e segurança estrutural.

“Segundo Helene e Terzian (1993), a melhor maneira de se qualificar o concreto é através da resistência à compressão. Trata-se de um indicador de qualquer modificação na uniformidade, natureza e proporção dos materiais, devido ao fato de

ser uma propriedade muito sensível, indicando com presteza as variações da qualidade do concreto” (apud FERNANDES, 2011, p. 19). Esses testes são realizados através de ensaios em corpos de prova moldados no concreto fresco, após a testagem da consistência. O resultado fornece uma estimativa da resistência característica a compressão do concreto (F_{ck}).

Como vimos até aqui, concreto passa por muitos processos e com muitos responsáveis técnicos diferentes, a análise do resultado da resistência a compressão é, na maioria das vezes, o último passo construtivo do concreto. É realizado após a aplicação e o endurecimento do material e seu laudo técnico final, atesta sua conformidade e durabilidade.

Caso o laudo aponte que a resistência não atingiu a prevista no projeto, deve ser investigado aonde iniciou-se o problema, quem é o responsável e quais medidas devem ser tomadas, demandando tempo, dinheiro, resultados insatisfatórios e colocando a segurança da estrutura em risco.

A chamada Resistência Potencial, é a máxima resistência considerada ao entregar o concreto. Todas as ações posteriores como o adensamento, a cura, ensaios incorretos entre outros, somente irão reduzir esse valor, nunca aumentar, fornecendo a Resistência Real do concreto (CARROMEU, C. C. Et al, 2012).

A resistência característica a compressão do concreto (F_{ck}) é o valor estabelecido no projeto estrutural, obtido através da resistência de cálculo do concreto (F_{cd}), conforme a ABNT NBR 6118:2024:

$$\text{Eq. 1)} \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

A resistência média à compressão do concreto (f_{cmj}) corresponde ao valor da resistência média, a j dia. É utilizado para estimar uma margem de segurança com um desvio padrão, certificando que o f_{ck} está na margem de trabalho adequada. A ABNT NBR 12655:2022 estabelece valores para o desvio padrão e condições para sua aplicação.

$$\text{Eq. 2)} \quad f_{cmj} = f_{ckj} + 1,65 * S_d$$

Onde:

- f_{cmj} é a resistência média do concreto à compressão, prevista para a idade de j dias, expressa em megapascals (MPa);

- $f_{ck,j}$ é a resistência característica do concreto à compressão, aos j dias, expressa em megapascals (MPa);

- S_d é o desvio-padrão da dosagem, expresso em megapascals (MPa).

Já a resistência característica à compressão do concreto estimada ($f_{ck,est}$) é o valor obtido estatisticamente através de ensaios. Para estimar o F_{ck} estabelecido do projeto, utilizando expressões matemáticas de acordo com o controle estatístico adotado. A partir desse resultado, compara-se com o F_{ck} de projeto para que o lote de amostras seja aceito e documentado no laudo técnico:

- $F_{ck, est} \geq F_{ck}$ – lote aprovado

- $F_{ck, est} < F_{ck}$ – lote reprovado

Existem dois controles estatístico: por amostragem parcial e amostragem total, além de casos excepcionais, de acordo com a ABNT NBR 12655:2022.

3.3.6.1.1. Controle do concreto por amostragem total (100%)

Pelo item 6.2.3.1 da norma, esse controle consiste na amostragem de todas as betonadas e são representadas por um exemplar, que definirá a resistência à compressão daquele concreto naquela betonada. Desta forma, o $f_{ck,est}$ (valor da resistência característica à compressão) deve ser equivalente ao f_c , betonada (resistência à compressão do exemplar que representa a betonada) de acordo com a equação a seguir:

$$\text{Eq 3) } f_{ck,est} = f_c, \text{ betonada}$$

3.3.6.1.2. Controle estatístico do concreto por amostragem parcial

Pelo item 6.2.3.2, retira-se exemplares de betonadas distintos, devendo ser no mínimo seis exemplares para os concretos do grupo I (Classes até C50, inclusive) e doze exemplares para concretos do grupo II (Superiores ao C50), conforme estabelecido na ABNT NBR 8953:2015:

a) Lotes com números de exemplares entre $6 \leq n < 20$:

$$\text{Eq 4) } f_{ck, est} = 2x \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{m-1}}{m-1} - f_m$$

Onde:

M é igual a $n/2$. Despreza-se o valor mais alto de n , se for ímpar;

$f_1, f_2 \dots, f_m$ são valores das resistências dos exemplares, em ordem crescente.

A norma ainda estabelece, que não se pode tomar $f_{ck,est}$ menor que $\psi_6.f_1$, adotando valores da tabela 4, em função da condição de preparo (Quadro 2) e o número de exemplares da amostra, admitindo-se interpolação linear.

b) Lotes com número de exemplares $n \geq 20$:

$$\text{Eq. 5) } f_{ck,est} = f_{cm} - 1,65 * S_d$$

Sendo:

$$\text{Eq. 6) } S_d = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (f_i - f_{cm})^2}$$

f_{cm} é a resistência média dos exemplares do lote, expresso em megapascals (MPa);

S_d é o desvio-padrão dessa amostra de n exemplares, expresso em megapascals (MPa).

3.3.6.1.3. Casos Excepcionais

Por fim, o item 6.2.3.3 da norma ABNT NBR 12655:2022, estabelece as condições para os casos excepcionais. São os casos em que o concreto produzido por betonada é de pequeno volume e, sempre o número total de betonadas (lote) seja superior ao de exemplares da amostra que represente esse lote. Pode ser considerada uma amostra parcial, no qual dividi-se a estrutura em lotes com no máximo 10 m³ e obter exemplares entre 2 e 5. Deve ser calculada como segue na equação 7, onde as condições de preparo estão contidas no Quadro 2, que condiciona para obtenção do valor ψ_6 , na Tabela 5.

$$\text{Eq 7) } f_{ck,est} = \psi_6 * f_1$$

Tabela 5 - Valores de ψ_6

Condição de preparo	Numero de exemplares (n)										
	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	≥ 16
A	0.82	0.86	0.89	0.91	0.92	0.94	0.95	0.97	0.99	1.00	1.02
B ou C	0.75	0.80	0.84	0.87	0.89	0.91	0.93	0.96	0.98	1.00	1.02
NOTA Os valores de n entre 2 e 5 são empregados para os casos excepcionais (conforme 6.2.3.3 da norma).											

Fonte: (ABNT NBR 12655:2022, p. 21)

Quadro 2 – *Condição de preparo do concreto*

Condição A)	Aplicável a todas as classes de concreto. Cimento e agregados medidos em massa, água de amassamento medida em massa ou volume com dispositivo dosador e corrigida em função da umidade dos agregados.
Condição B)	Aplicável nas classes C10 a C20. Cimento medido em massa, água de amassamento em volume, mediante a dispositivo dosador, e os agregados medidos em massa combinada com volume, de acordo com item 5.4 da norma ABNT NBR 12655:2022.
Condição C)	Aplicável para concreto C10 e C15. Cimento medidos em massa, agregados medidos em volume, água de amassamento é medida em volume e sua quantidade corrigida em função da estimativa da umidade dos agregados da determinação da consistência do concreto, conforme ABNT NBR 16889:2020 ou outro método normalizado

Fonte: Próprio autor

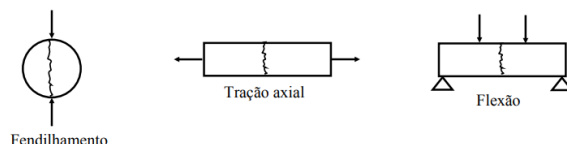
3.3.6.2. Resistencia a Tração

Para Giugliani (2014) “ainda que não se conte com à resistência a tração do concreto, para a verificação das estruturas de concreto no estado limite último de ruptura, é necessário conhecer seu valor porque desempenha um papel importante em certos problemas, como a fissuração, a deformação, o esforço cortante, a aderência e o deslizamento das armaduras, entre outros. Além disso, em certos elementos de concreto, como no caso de pavimentos, pode ser mais interessante o conhecimento da resistência à tração do que a compressão”.

Essa resistência pode ser verificada em três métodos de ensaio: ensaio de fendilhamento ou compressão diametral, ensaio de Tração axial ou tração direta e ensaio de tração por flexão, conforme apresentado na Figura 2. Importante ressaltar

também, que geralmente a resistência do concreto à tração (F_{ct}) utilizada e citada em normas e projetos, corresponde a tração axial. Porém, existe uma correlação entre os valores obtidos em seus ensaios, apresentada na ABNT NBR 6118:2024, no qual $F_{ct,sp}$ corresponde à tração por compressão diametral e $F_{ct,f}$ corresponde a resistência à tração por flexão, apresentada pela Equação 8.

Figura 2 – Métodos de ensaio de flexão do concreto



Fonte: Carvalho, Figueiredo e Filho, apud Costa (2020)

$$\text{Eq 8) } F_{ct} = 0,9 F_{ct,sp} = 0,7 F_{ct,f}$$

Observa-se que o ensaio de tração na flexão é o mais utilizado atualmente, por ser empregado o método da viga prismática, bi apoiada e com as cargas concentradas no vão, de acordo com a ABNT NBR 12142:2010. A ABNT NBR 7222:2011, estabelece as condições para determinar a resistência a tração por compressão diametral, no qual possui uma vantagem: utilizar a mesma aparelhagem utilizada para ensaios de compressão, necessitando apenas de um dispositivo para posicionamento do corpo de prova na máquina de ensaio.

Por último, o ensaio de tração direta necessita de um material colante para fixar o molde na forma, que irá aplicar as forças. Esta é pouco utilizado devido sua complexidade de execução comparados aos outros métodos.

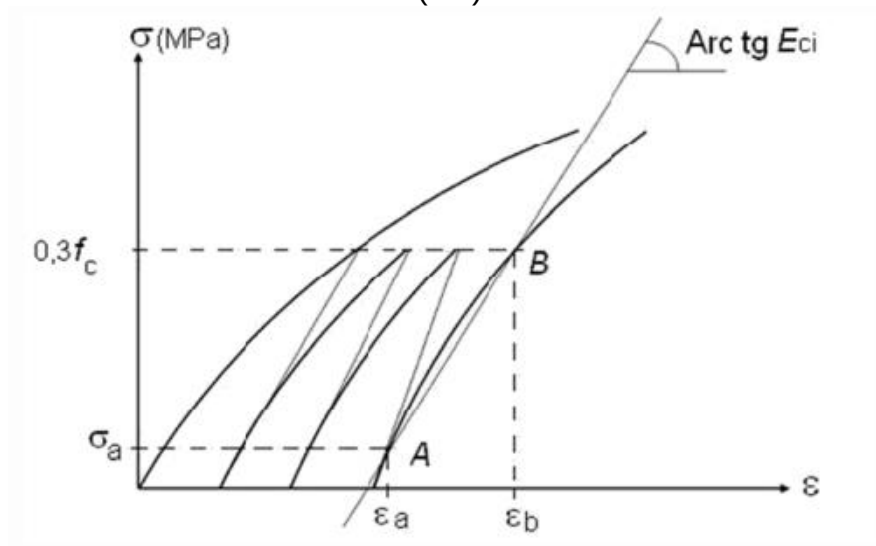
3.3.6.3. Módulo de elasticidade

É um parâmetro mecânico importante na engenharia, pois correlaciona a relação entre uma tensão aplicada com a respectiva deformação sofrida. É fundamental em cálculos estruturais saber essa correlação, principalmente em estruturas como lajes e vigas, em que as flechas causadas pelas resultantes das forças sejam predominantes. É importante saber, que a tensão é resultante da interação de uma força por unidade de área e a deformação, depende dos materiais componentes na mistura (TEIXEIRA; LAGE, 2019).

Na Figura 3, estabelece que E_{ci} (módulo de deformação tangente inicial do

concreto) é o valor numérico do coeficiente angular da reta tangente a curva tensão-deformação na origem e considerando que o material está no regime elástico.

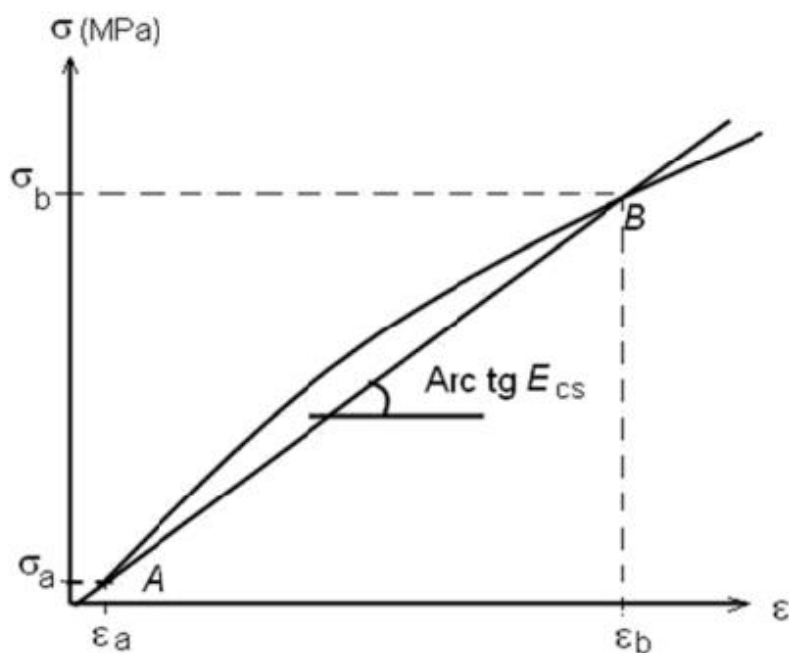
Figura 3 – Representação esquemática do módulo de elasticidade, tangente inicial (E_{ci})



Fonte: (ABNT NBR 8522:2021, p. 02)

Já o E_{cs} , na Figura 4 é o valor numérico do coeficiente angular da reta secante ao diagrama tensão-deformação específica pelos pontos A e B correspondentes.

Figura 4 - Representação esquemática do módulo de deformação secante (E_{cs})



Fonte: Fonte: (ABNT NBR 8522:2021, p. 02)

Ou seja, para a determinação do módulo de elasticidade, necessita conhecer o valor da tensão de ruptura e a determinação de dois pontos do corpo de prova para a fixação dos acessórios para medir sua deformação, utilizando a altura de um terço de cada extremidade, de acordo com demonstrado na Figura 5.

Figura 5 – Ensaio do módulo de elasticidade secante (Ecs)



Fonte: (POLESELLO, E.; Et al, 2013)

Existem três métodos para ensaio, dois métodos tratados pela norma ABNT NBR 8522-1:2021: “Concreto endurecido – Determinação dos módulos de elasticidade e de deformação. Parte 1: Módulos estáticos à compressão”, e um método dinâmico tratado pela ABNT NBR 8522-2:2021: “Concreto endurecido – Determinação dos módulos de elasticidade e de deformação. Parte 2: Módulo de elasticidade dinâmico pelo método das frequências naturais de vibração. O método dinâmico é menos utilizado, pois sua aparelhagem tem um custo elevado para uma pequena demanda, desta forma, não será abordado sua metodologia neste trabalho.

4 METODOLOGIA:

4.1. Amostragem do concreto fresco

A norma ABNT NBR 16886:2020 “Concreto – Amostragem de concreto fresco”, estabelece o procedimento para extração e preparação das amostras de concreto fresco, sobre as quais serão realizados os ensaios que permitem determinar suas propriedades ou a moldagem de corpos de prova para ensaios de concreto endurecido. Para a amostragem: é necessário um recipiente não absorvente, preferencialmente metálico, para armazenar e homogeneizar a amostra coletada, evitando a segregação.

Pelo item 4 da norma, após a adição dos componentes e sua homogeneização, deve ser colhidas amostras aleatórias, com sua quantidade e frequência dependente do ensaio que será realizado. O volume deverá ser pelo menos 1,5 vezes a quantidade necessária para realização do ensaio e a amostra mínima deverá ser de 30 litros.

Para coletas de amostras em caminhão betoneira, a norma recomenda que, para ensaio de abatimento ou outros ensaios para verificação das propriedades especificadas para o concreto fresco, a amostra pode ser coletada após a descarga aproximada dos primeiros 50 litros. Para moldagem de corpo de prova, a amostra deve ser coletada durante a operação de descarga, após retirada dos primeiros 15% e antes de completar a descarga de 85% do volume total da betoneira, podendo ser realizado em dois ou mais períodos regularmente espaçados.

Para efetuar a coleta de amostras, deve interceptar totalmente o fluxo com o recipiente ou desviar completamente a descarga para dentro do recipiente, procedendo cuidadosamente para não restringir o fluxo de concreto, causando segregação.

A norma ainda diz que caso não seja possível coletar a amostra destinada para moldagem do corpo de prova como especificado acima, pode fazer a coleta junto com a coleta destinada a ensaios de concreto fresco, desde que seja acordado entre as partes e registrado no relatório de ensaio. Na prática, é comum que seja retirada apenas uma porção de amostra para a realização dos ensaios de concreto fresco e moldagem de corpos de prova.

Para coletas de amostras em betoneiras estacionárias, a amostra para ensaios de concreto fresco pode ser coletada após a homogeneização do concreto, durante a

operação de descarga. Já para moldagem, pode ser realizada após a retirada dos primeiros 15% e antes de completar 85% da descarga, do volume total da betonada, podendo ser realizada em dois ou mais períodos regularmente espaçadas. Para betoneiras de até 600 litros, a coleta de moldagem pode ser realizada após a homogeneização.

Por fim, a coleta de amostras de concreto em caminhões abertos e caçambas, deve coletar porções em 5 pontos diferentes dentro do caminhão, homogeneizando as amostras antes do ensaio, podendo ser aplicável qualquer dos dois procedimentos citados acima. Para coleta de amostras no final da tubulação de bombeamento, a amostra deve ser coletada em uma só porção, interceptando com o recipiente o fluxo líquido de descarga da tubulação, evitando o início e o final do bombeamento.

De acordo com o item 5, as amostras são transportadas até o local onde será realizado o ensaio ou local onde será moldado o corpo-de-prova, sendo permitido a remistura com concha metálica ou pá, dentro de um recipiente ou superfície limpa e não absorvente, uniformizando a mesma. A amostra também deve ser protegida do sol, vento e de qualquer outra fonte de evaporação e contaminação, entre o intervalo de tempo da coleta e da utilização.

Para concreto com agregado graúdo com dimensão máxima superior (normalmente) a 37,5 mm, deve ser realizado um peneiramento do concreto de acordo com o anexo A da norma ABNT NBR 16886:2020. O tempo de utilização da amostra, depende da norma específica. Para o ensaio de abatimento e teor de ar deverão ser iniciados após, no máximo, 5 minutos da obtenção da amostra, já a moldagem de corpos de prova deverá ser iniciada no máximo 15 minutos depois da obtenção da amostra completa.

A norma finaliza no item 6 com as especificações para registro da amostragem, que deve conter no mínimo a referência a norma ABNT NBR 16886:2020, a data e hora da amostragem, junto com seu responsável, além de dados para identificar e descrever a amostra (fornecedor, número da nota fiscal, fck, abatimento, local de aplicação do concreto e outras informações, quando disponíveis).

4.2. Consistência pelo abatimento do tronco de cone

A norma ABNT NBR 16889:2020 “Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone”, determina o procedimento para obter a

consistência do concreto fresco através da medida de seu assentamento, tanto em laboratório quanto em obra. O método é aplicável aos concretos plásticos e coesivos, que apresentem classe de abatimento no intervalo S10 a S220, conforme a ABNT NBR 8953:2015. Sua amostragem deve ser obtida de acordo com ABNT NBR 16886: 2020 e ser representativa de todo o lote.

Segundo a norma, o molde para o corpo de prova deve ser de metal, “não absorvente e não atacável pela pasta de cimento, com espessura igual ou superior a 1,5 mm. O molde pode ser confeccionado com ou sem costura, porém seu interior deve ser liso e livre de protuberâncias criadas por rebites, parafusos, soldas e dobraduras. O molde deve ter a forma de um tronco de cone oco, com as seguintes dimensões internas”:

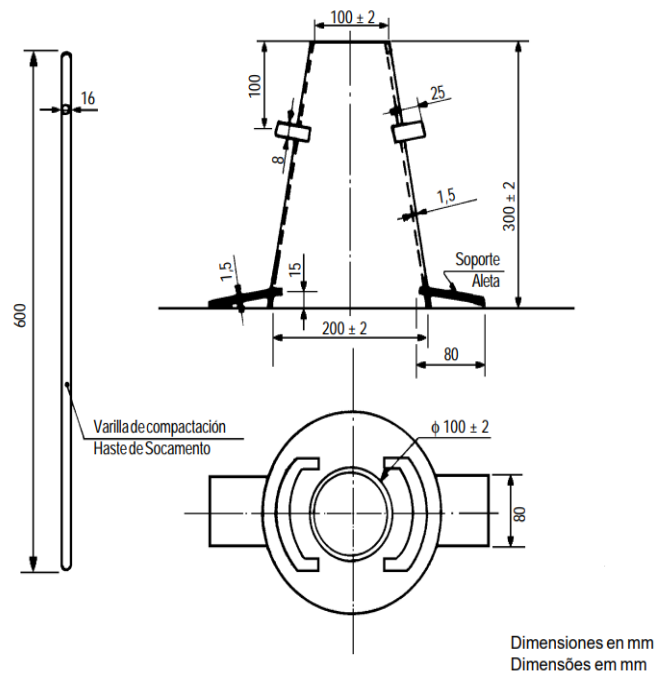
- Diâmetro da base inferior: $200 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$,
- Diâmetro da base superior: $100 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$,
- Altura: $300 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$.

A norma continua “a base superior e a inferior devem ser abertas e paralelas entre si e perpendiculares ao eixo do cone. O molde deve ser provido, em sua parte superior, de duas alças posicionadas a dois terços de sua altura e ter aletas em sua parte inferior para mantê-lo estável. Se o molde estiver fixado na placa de base, a disposição dos suportes deve ser tal que a placa de base possa ser completamente retirada sem movimentar o molde”.

É necessário haste de adensamento, placa de base, regua ou trena milimétrica e concha de seção U, para o procedimento. A haste deve ser de aço, cilíndrica, com superfície lisa, com $16 \pm 0,2 \text{ mm}$ de diâmetro e comprimento de 600 a 800 mm, tendo dois extremos em forma semiesférica, com diâmetro igual ao da haste. A placa de base é para apoio do molde, metálica, plana, quadrada ou retangular, com dimensões maiores que 500 mm e espessura maior ou igual a 3mm.

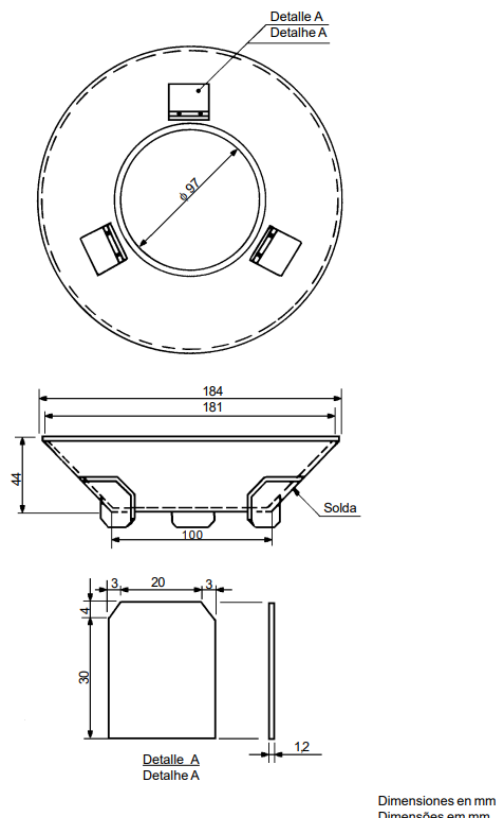
A régua ou trena são utilizadas para medição do abatimento, metálicas e milimetradas, com comprimento de no mínimo de 30 cm. Já a concha é utilizada para o preenchimento do molde, no qual também deve ser metálica. Para facilitar a operação de adensamento da última camada de concreto pode ser utilizado um complemento auxiliar tronco-cônico, como mostra a Figura 6 e a Figura 7.

Figura 6 – Molde para ensaio



Fonte: (ABNT NBR 16889:2020, p. 02)

Figura 7 – Complemento tronco-cônico metálico de enchimento



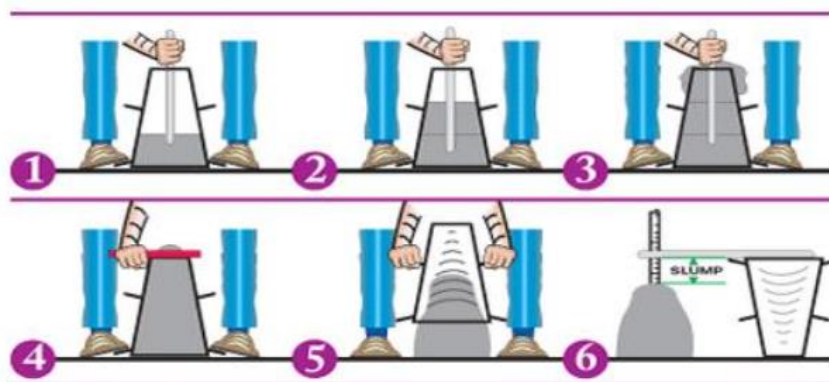
Fonte: (ABNT NBR 16889:2020, p. 03 e 04)

Pela norma quando a dimensão nominal máxima do agregado for superior a 37,5 mm, o ensaio deve ser realizado sobre a fração do concreto que passa pela peneira com abertura de malha de 37,5 mm, obtida de acordo com a ABNT NBR 16886:2020. O procedimento no item 5 desta norma, recomenda que a placa de base deve ser colocada sobre uma superfície rígida, plana, horizontal e livre de vibrações, onde as peças devem ser umedecidas.

Utiliza-se a concha de seção U para o preenchimento do molde e o operador deve posicionar os pés sobre as aletas para mantê-la estável, durante todo o preenchimento. Deve se encher rapidamente o molde em três camadas aproximadamente iguais, cada uma deve ter um terço da altura do cone e ser adensada com 25 golpes da haste de adensamento, distribuídos uniformemente sobre a seção. A norma ainda recomenda:

- Para a compactação da camada inferior, é necessário inclinar levemente a haste e efetuar cerca da metade dos golpes em forma de espiral até o centro.
- Compactar a camada inferior em toda a sua espessura.
- Compactar a segunda camada e a camada superior, cada uma através de toda sua espessura e de forma que os golpes apenas penetrem na camada anterior. Note que, a ilustração não está de acordo com a norma, pois na terceira camada esta penetrando totalmente a segunda camada, até atingir a primeira. Esse erro é muito comum e este é um exemplo de como esses vícios contrutivos infelizmente são difundidos.
- Na camada superior, acumular o concreto sobre o molde, antes de iniciar o adensamento.

Figura 8 – Procedimento do ensaio de abatimento



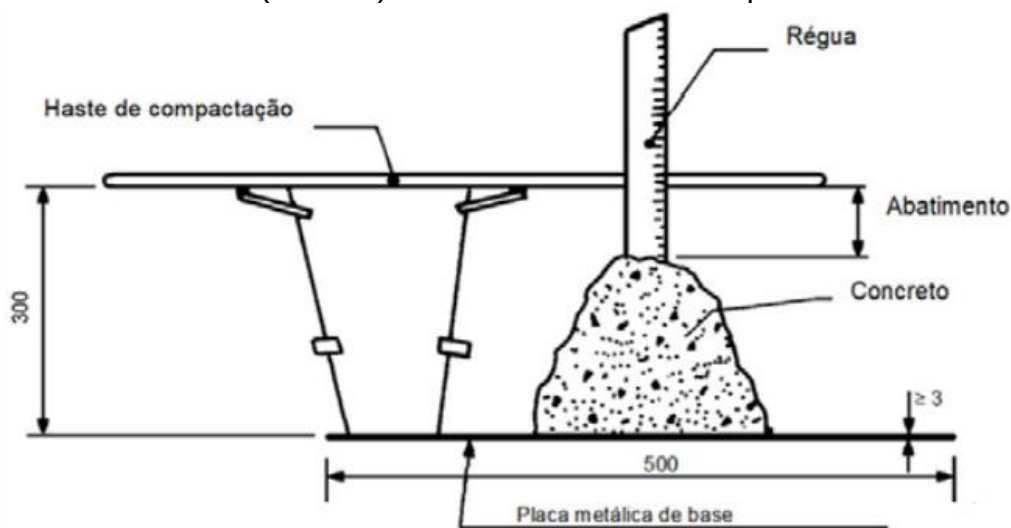
Fonte: (Mapa da Obra, 2017)

A norma ainda ressalta que, se durante a operação a superfície do concreto ficar abaixo da borda do molde, recomenda-se adicionar mais concreto, mantendo um excesso sobre a superfície do molde durante toda a operação da camada superior (passo 3, Figura 8). Por fim, finalizar o molde rasando a superfície com uma desempenadeira ou com movimentos rolantes da haste de compactação (passo 4, Figura 8).

Antes do desmolde, é importante limpar a placa da base, para não ter misturas. Para a retirada do molde, deve-se levantar cuidadosamente na direção vertical, com movimento constante para cima, entre 4 s a 6 s de duração (passo 5, Figura 8). O tempo total desde a coleta da amostra até o fim do desmolde, não deve ultrapassar 10 minutos. A operação de moldagem e desmoldagem, não deve ultrapassar 150s e deve ser realizada sem interrupções.

O abatimento é medido em milímetros imediatamente após a retirada do molde, sendo a diferença entre a altura do molde e à altura do eixo do corpo de prova, correspondente a altura média do corpo de prova desmoldado, como mostra a Figura 9:

Figura 9 – Abatimento (em mm) medido imediatamente após retirada do molde



Fonte: (ABNT NBR 16889:2020, p. 5)

A norma ainda ressalta, que caso ocorra um desmoronamento ou deslizamento da massa de concreto, impedindo a realização da medição, deve desconsiderar o ensaio e uma nova amostra de concreto deve ser coletada para a realização de um novo ensaio. Caso ocorra duas vezes consecutivamente, o concreto não é necessariamente plástico e coeso para o ensaio.

Por fim, o relatório do ensaio deve constar a referência a esta norma, a data do ensaio, a identificação da amostra e o abatimento do corpo de prova de ensaio e/ou anomalias observadas, expresso em milímetro, arredondando aos 5mm mais próximos.

4.3. Moldagem de corpos de prova

A ABNT NBR 5738:2015 Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, determina que para corpos de prova cilíndricos, a altura deve ser igual ao dobro do diâmetro com tolerância de 2%, com o diâmetro podendo ser de 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm ou 45 cm, com tolerância de 1%. Já para corpos de provas prismáticos, deve ter seção transversal quadrada, com superfícies lisas e livres de saliências, com a dimensão básica da menor aresta, comprimento mínimo e o vão de ensaio de acordo com a Tabela 6, com tolerância inferior a 2%.

Tabela 6 – Dimensões do corpo de prova e vão de ensaio

Dimensão básica mm	Comprimento mínimo mm	Vão de ensaio ^a mm
100	350	300
150	500	450
250	800	750
450	1400	1350
^a Conforme ABNT NBR 12142		

Fonte: (ABNT NBR 5738:2015, p. 02)

A dimensão básica deve ser no mínimo três vezes maior que a dimensão nominal máxima do agregado graúdo do concreto, normalmente a brita 1 é a mais utilizada no país, tornando-se suficiente o molde cilíndrico 10x20 cm, apresentado na Figura10. Os moldes devem ser de materiais não reagentes com o cimento e resistentes a moldagem, deve ser aberto na parte superior e plano na parte inferior, com tolerância de planeza de 0,05mm, além de permitir fácil desmoldagem, sem danificar os corpos de prova. O molde deve ser estanque, evitando a perda de água e não pode desencontrar as geratrizes abertas, em moldes cilíndricos.

Figura 10 – Moldes para corpos de prova cilíndricos



Fonte: (JUNIOR, E. R; Et al, 2018)

A norma recomenda que, periodicamente, haja o controle geométrico dependendo das condições e frequência de uso, ou sempre que verificar alguma anomalia. No controle geométrico deve ser verificada as dimensões com exatidão de 0,1 mm e as condições de perpendicularidade e planeza das laterais e base dos moldes, respectivamente, com exatidão de 0,05 mm. Observa-se que, a recomendação acaba sendo subjetiva e raramente é realizada essa recomendação na prática, sendo possível encontrar facilmente corpos de prova amassados e danificados, ou com as geratrizes abertas se desencontrando.

A haste de adensamento, no item 4.2 da norma, deve ser de aço, cilíndrica, com superfície lisa, de $(16,0 \pm 0,2)$ mm de diâmetro e comprimento de 600 mm a 800 mm, com um ou os dois extremos em forma semiesférica, com diâmetro igual ao da haste. Para o abatimento do tronco de cone, a haste de compactação é de 600 mm, tornando-se usual utilizar a mesma haste com o mesmo comprimento, porém, deve-se tomar cuidado para não utilizar uma de 800 mm no abatimento.

Os moldes devem ser revestidos internamente com uma fina camada de óleo natural mineral ou outro lubrificante que não reaja com o cimento, o molde deve ter superfície de apoio sem perturbações que possam modificar as propriedades do concreto. Em obra, grandes máquinas podem causar vibrações por exemplo, essas perturbações podem influenciar diretamente nas propriedades e na qualidade do concreto, como a exsudação ou a segregação.

A escolha do adensamento deve ser feita em função do abatimento de acordo com a norma ABNT NBR 16889:2020, seguindo a classificação da Tabela 3, vista acima. Neste ponto, há uma nota dizendo que para concretos especiais, a moldagem pode ser modificada de modo a simular o adensamento a ser empregado na obra, de

acordo com o responsável pela obra. Outra nota recomenda-se que o moldador seja qualificado conforme ABNT NBR 15146-1:2011.

Para o número de camadas e golpes, segue a Tabela 7, retirada da norma e que deve ser atendida, dispensando esta etapa para concretos autoadensáveis

Tabela 7 – Número de camadas para moldagem dos corpos de prova

Tipo de corpo de prova	Dimensão básica (d) mm	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	–	–
Prismático	100	1	1	75
	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450 ^b	3	–	–
^a Para concretos com abatimento superior a 160 mm, a quantidade de camadas deve ser reduzida à metade da estabelecida nesta Tabela. Caso o número de camadas resulte fracionário, arredondar para o inteiro superior mais próximo. ^b No caso de dimensão básica de 450 mm, somente é permitido adensamento mecânico.				

Fonte: (ABNT 15146-1:2011, p. 05)

4.3.1. Adensamento manual

Este procedimento, presente no item 7.4.2 da norma, determina que deve-se introduzir o concreto no molde com volumes aproximadamente iguais e adensar cada camada com a haste, utilizando o número de golpes apresentados na tabela 7. Deve-se golpear de maneira distribuída uniformemente em toda a seção transversal, evitando golpear a base do molde. A cada camada, a haste deve penetrar a espessura da camada mais 20 mm da camada anterior.

Na última camada, é necessário utilizar uma quantidade em excesso de concreto para o rasamento com uma colher de pedreiro ou régua metálica na borda do corpo de prova, eliminando o excesso. A norma deixa claro que, em nenhum caso, é aceito completar o volume do molde com concreto após o adensamento da última camada. Por fim, deve-se bater levemente na face externa do molde até fechar os vazios. A Figura 11 mostra o adensamento manual na prática, com seu volume dividido

em camadas.

Figura 11 – Adensamento manual de corpo de prova cilíndrico



Fonte: (Ensaio em concreto: solução.eng.br, 2017)

A importância da mão de obra qualificada e comprometida com os procedimentos adequados, é de fundamental importância para esse processo. É comum encontrar esse procedimento sendo feito de forma errada, causados por negligência, falta de conhecimento da norma ou das consequências no resultado de outros testes realizados com esse corpo de prova.

4.3.2. Adensamento mecânico

O item 7.4.3 da norma trata sobre adensamento mecânico do concreto, que requer o uso de um vibrador. Esse modelo, é pouco utilizado nas obras porque requer mais equipamentos e por ser necessário um tempo particular de vibração de acordo com molde e vibrador, ocasionando muitas vezes, uma segregação entre materiais caso vibre em excesso. Desta forma, não terá sua metodologia estudada por este trabalho.

Após finalizar a moldagem, deve ser evitado qualquer perturbação no concreto, inclusive o manuseio e o transporte no estado fresco. Após o endurecimento, os

corpos de prova devem ser transportados dentro das respectivas formas ou em caixas rígidas contendo serragem, areia molhada ou similar, quando desmoldados. Nas primeiras 24h para corpos de prova cilíndricos e 48h para os prismáticos, deve ser evitado intempéries, sendo cobertos com material não reativo e não absorvente

Em obras de grande porte, com muitos funcionários, é comum que nem todos compreendam a importância desses cuidados, portanto, é fundamental que o responsável zele pelo bem-estar dos moldes, principalmente enquanto estiver no estado fresco, a fim de evitar alterações nas amostras.

4.4. Determinação do espalhamento – Método do cone de Abrams

Como ressaltado no item 2.3.6. deste texto, há diferenças significativas nas propriedades entre o concreto convencional e o concreto autoadensável, sendo necessário métodos diferentes para coletar amostras, para a determinar a consistência e moldar o corpo de prova.

Importante ressaltar também, que os procedimentos abordados até aqui no item “3. Metodologia”, referem-se ao concreto convencional. Portanto, neste item será abordado toda a metodologia para o concreto autoadensável em questão, de acordo com a norma ABNT 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.

4.4.1. Amostragem

O item 4 da referida norma, determina que “para extração e preparação de amostras de concreto fresco sobre as quais serão realizados ensaios que permitam determinar suas propriedades” devem ser coletadas de acordo com o especificado pela ABNT NBR NM 33 Concreto – Amostragem de concreto fresco.

Assim como na amostragem de concreto convencional, o recipiente deve ser de material não absorvente, com forma e volume suficiente para armazenar e homogeneizar a amostra coletada, evitando segregação. O volume da amostra deve ser pelo menos 1,5 vezes a quantidade necessária para a realização dos ensaios e, para os ensaios de resistência à compressão, a amostra mínima será de 30 litros.

Após a adição de todos os componentes e a respectiva homogeneização,

obtem-se a amostra aleatória necessária, com frequência e quantidade de amostra de acordo com os ensaios que serão realizados e com o tempo entre a primeira e última porção recolhida, não superior à 15 minutos.

A extração de amostra em betoneiras estacionárias, em caminhões betoneira, em caminhões abertos, caçambas ou misturadores dotados de agitador, devem ser realizadas durante a operação de descarga, entre os 15% a 85% do volume total, devendo ser realizada em dois ou mais períodos regularmente espaçados e dentro do limite de tempo indicado.

Deve-se também, interceptar com o recipiente a totalidade da seção do fluxo para dentro do recipiente de amostragem ou desviar completamente a descarga para dentro do recipiente, tomando cuidado para não restringir parcialmente o fluxo, causando uma possível segregação.

Por fim, para transportar a amostra até o local da realização do ensaio ou da moldagem do corpo-de-prova, deve-se remisturar com concha ou pá metálica, dentro do recipiente ou superfície limpa e não absorvente. O tempo entre a coleta e utilização deve respeitar valores máximos estabelecidos nas normas correspondentes e, durante esse intervalo de tempo, deve-se proteger a amostra do sol, vento ou qualquer outra fonte de evaporação ou contaminação.

4.4.2. Aparelhagem

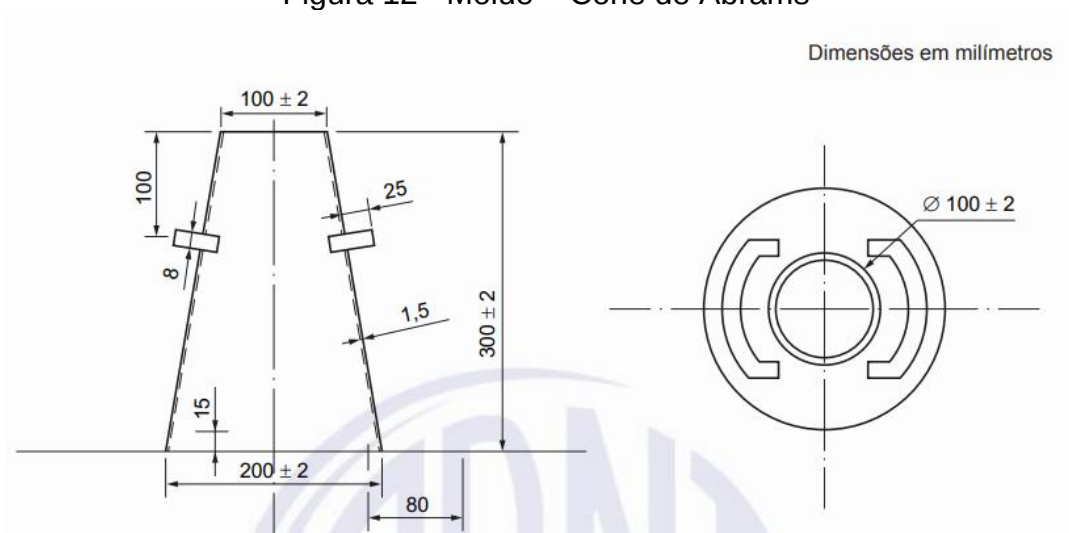
A norma ABNT NBR 15823-2 Concreto autoadensável - Parte 2, determina que o molde deve ser confeccionado em chapa metálica de 1,5 mm de espessura, com forma de tronco de cone com 300 mm de altura e bases abertas, sendo a inferior com 200 mm e superior com 100 mm, feita com material não absorvente ou quimicamente reagente com os componentes de concreto, conforme Figura 12.

A placa de apoio também deve ser de chapa metálica com espessura de 1,5 mm, quadrada, de no mínimo 900 mm de lado. Deverá ser provida de duas marcações circulares centradas, com diâmetro de 200 mm e 500 mm. A regua metálica deverá ter no mínimo 1000 mm de comprimento, graduada, com resolução de 1 mm, sendo o zero a extremidade da regua.

Por fim, é necessário uma colher de pedreiro, para retirada do excesso da superfície, cronômetro com resolução mínima de 0,1 s, um complemento tronco-cônico metálico e adaptável a base superior e um recipiente com no mínimo 10 L, feito

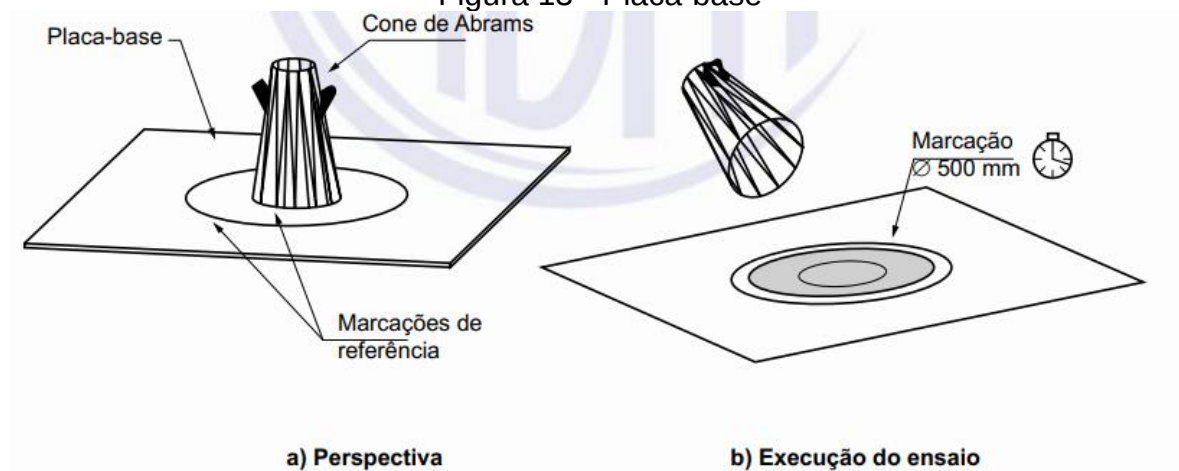
de material não absorvente e não reagente com os compostos do concreto. A Figura 12, ilustra o equipamento.

Figura 12 - Molde – Cone de Abrams



Fonte: (ABNT 15823-2:2017, p. 02)

Figura 13 - Placa-base



Fonte: (ABNT 15823-2:2017, p. 02)

Note que, os equipamentos são semelhantes aos utilizados no abatimento de concreto convencional, pelo método do tronco de cone, apresentado no item 3.2. A diferença é que, no método apresentado neste item, a placa é maior e marcada com círculos centrados, a régua também é maior.

Esta semelhança contribui, para que na prática, seja utilizada os mesmos equipamentos do método do tronco de cone, pois o concreto convencional e suas testagens, são mais difundidos e utilizados, consequentemente, seus equipamentos são mais acessíveis.

4.4.3. Execução do ensaio

É muito importante que a placa-base esteja colocada em uma superfície nivelada, que esteja limpa e umedecida, assim como o molde. O operador deve centralizar o molde na placa-base, fixando-o manualmente pelas alças e preenchendo-o com a amostra obtida.

A norma determina que o tempo entre obtenção da amostra e preenchimento do molde não supere 2 minutos e que, o preenchimento deve ser sem adensamento e de forma contínua e uniforme, com auxílio do complemento cônico, sendo despejado a uma altura de, no máximo, 125 mm acima do topo do molde.

Após o preenchimento, retirar o complemento cônico do molde e remover o excesso da superfície do concreto com a colher de pedreiro, respaldando o topo superior do concreto. Antes do desmolde, limpar a placa-base, retirando todos os resíduos de concreto sobre sua superfície.

A desmoldagem é realizada, levantando o molde pelas alças, na direção vertical, sem torcer lateralmente o concreto e com velocidade constante e uniforme, em tempo não superior a 3 ± 1 segundo. Todo o processo não deve exceder 1 minuto. O cronômetro deve ser acionado quando operador iniciar levantamento do molde e parado quando a massa cobrir totalmente a marca circular de 500mm de diâmetro da placa-base, registrando esse intervalo de tempo t_{500} em segundos.

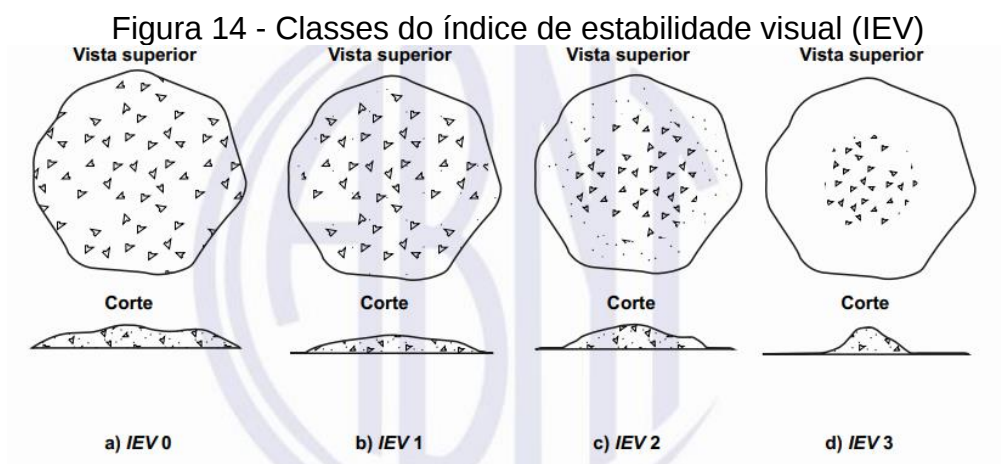
Por fim, deve-se aguardar até que o concreto alcance a situação de aparente repouso, para a partir disto, realizar duas medidas perpendiculares entre si do diâmetro de espalhamento do concreto.

4.4.4. Resultados

Com o mesmo procedimento, podemos chegar ao resultado de três ensaios diferentes. O primeiro resultado que a norma traz, no item 6, é o resultado do espalhamento (SF) do concreto, no qual é obtido pela média aritmética das duas medidas perpendiculares do diâmetro, expressa em milímetros. Já o tempo de escoamento (t_{500}), é o intervalo de tempo, em segundos, entre o início do escoamento (a partir do diâmetro do molde, 200 mm) até a marca circular de 500 mm de diâmetro, demarcado na placa-base.

Por fim, o índice de estabilidade visual (IEV), analisa visualmente o concreto

imediatamente após o término do escoamento. A norma ABNT NBR 15823-2:2017, orienta a observar e registrar fotograficamente a distribuição dos agregados gráudos, para averiguar se há segregação, a distribuição de argamassa ao longo do perímetro e se há ocorrência de exsudação. A Figura 14, auxilia na comparação do encontrado visualmente, com o IEV esperado pela norma, no qual se correlaciona com a Tabela 8, para obtenção do resultado.



Fonte: (ABNT 15823-2:2017, p. 05)

Tabela 8 - Classes de índice de estabilidade visual (IEV)

Classe	IEV
IEV 0 (Altamente estável)	Sem evidência de segregação ou exsudação
IEV 1 (Estável)	Sem evidência de segregação e leve exsudação
IEV 2 (Instável)	Presença de pequena auréola de argamassa (≤ 10 mm) e/ou empilhamento de agregados no centro do concreto
IEV 3 (Altamente instável)	Segregação claramente evidenciada pela concentração de agregados no centro do concreto ou pela dispersão de argamassa nas extremidades (auréola de argamassa > 10 mm)

Fonte: (ABNT 15823-2:2017, p. 05)

4.4.5. Relatório de ensaio

Por fim, a norma determina que no relatório deve constar a identificação da amostra, local e data da realização do ensaio, o espalhamento (SF), expresso em milímetros, o tempo de escoamento (t_{500}), em segundos, o índice de estabilidade visual (IEV), o registro fotográfico do ensaio de espalhamento e a referência a norma em questão.

4.5. Cura de corpos de prova

Ainda na norma ABNT NBR 5738:2015, possui dois procedimentos para a cura, de acordo com a finalidade do corpo de prova. No item 8.2, os corpos de prova são moldados para comprovar a qualidade e a uniformidade do concreto durante a construção, devendo ser desmoldado após o período de cura inicial, ser identificado e armazenado em solução saturada de hidróxido de cálcio ou em câmara úmida com umidade relativa do ar superior a 95 %, à temperatura entre $(21 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ e $(27 \pm 2)^{\circ}\text{C}$. Por fim, deve-se impedir a secagem das superfícies do corpo de prova até a realização do ensaio. A Figura 15, mostra o armazenamento de corpos de prova em solução saturada de hidróxido de cálcio e a Figura 16, em câmara úmida.

Figura 15 - armazenado em solução saturada de hidróxido de cálcio



Fonte: (Analix Tecnologia; Fabebook, 2019)

Figura 16 - Câmara úmida com umidade relativa do ar superior a 95 %, à temperatura entre $(21 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ e $(27 \pm 2)^{\circ}\text{C}$



Fonte: (FERNANDES, 2012; apud STORINO, 2015)

O item 8.3 é para os corpos de prova moldados para verificar as condições de proteção e cura do concreto, deve ser desmoldado, identificado e ficar o mais próximo

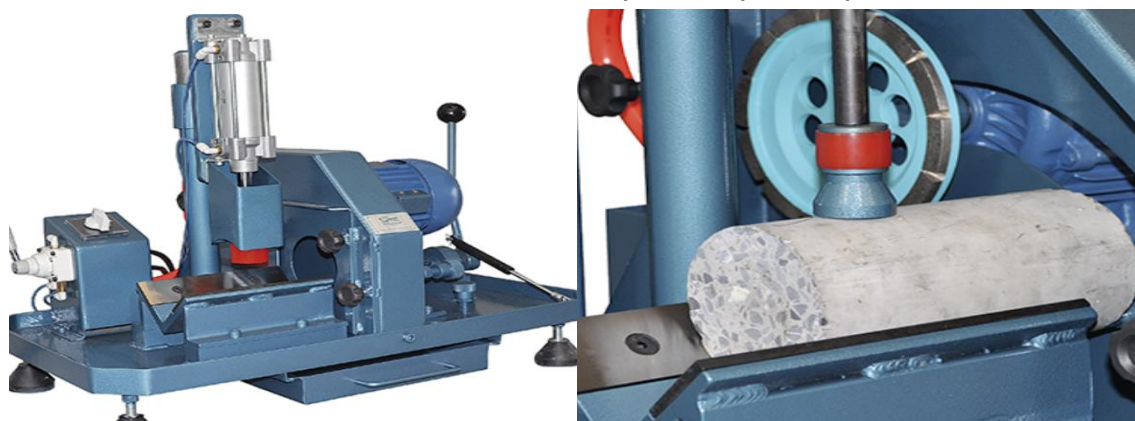
possível de onde foi extraída a amostra de concreto, recebendo as mesmas proteções climáticas e a mesma cura que a estrutura de concreto que representa, até serem transportados para laboratório onde devem ficar em câmara úmida até serem ensaiados. Se ensaiado com 28 dias, deve permanecer nas condições indicadas por no mínimo 21 dias, ou durante três quartos do tempo de cura indicado para outras idades.

4.6. Preparação das bases dos corpos de prova e testemunhos cilíndricos para ensaio de compressão

A norma ABNT NBR 5738:2015 determina que a preparação das bases é o processo de tornar as superfícies planas e perpendiculares ao eixo longitudinal ao corpo de prova, podendo ser feita de duas maneiras, através do capeamento ou por meio da retificação.

O item 9.3.1 da norma, define que retificação é a remoção por meio mecânico de uma fina camada de material, por meio de máquinas especialmente adaptadas, onde deve garantir a integridade estrutural das camadas adjacentes, conforme Figura 17. O capeamento, segundo o item 9.3.2, consiste em revestir os topos dos corpos de prova com uma fina camada de material apropriado, que deve possuir aderência ao corpo de prova e compatibilidade com o concreto, além de possuir fluidez na aplicação, permitindo acabamento liso e plano após endurecimento e, principalmente, a resistência a compressão deve ser compatível com os valores normalmente obtidos em concreto. A espessura não deve exceder 3 mm em cada base e deve-se utilizar um capeador para garantir a perpendicularidade da superfície.

Figura 17 - Máquina de retifica para corpos de prova



Fonte: (Setorindustria, 2022)

A norma ABNT NBR NM 77:96 “Concreto – Preparação das bases dos corpos de prova e testemunhos cilíndricos para ensaio de compressão”, tem a última versão em 1996, estando desatualizada. Ela trata vagamente sobre o corte com disco diamantado, porém, seu foco é em procedimentos que envolvem enxofre, produto nocivo a saúde do trabalhador e um método mais complexo. Desta forma, é amplamente utilizado a ABNT NBR 5738:2015 Concreto – “Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova”, no qual possui, no item 9 da mesma, instruções para a preparação das bases dos corpos de prova.

4.7. Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos

A ABNT NBR 5739:2018 “Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndrico”, especifica o método de ensaio para a determinação da resistência a compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto moldados conforme a ABNT NBR 5738:2015 e com testemunhos extraídos conforme a ABNT NBR 7680-1:2015. A máquina de ensaio deve atender aos valores admissíveis determinados na ABNT NBR ISO 7500-1:2023.

No item 3 da norma ABNT NBR 5739:2018, que trataremos alguns detalhes abaixo, trata sobre a aparelhagem necessária para o ensaio. Segundo esta, a estrutura de aplicação de força deve ter capacidade compatível com os ensaios a serem realizados, permitindo a aplicação controlada da força sobre o corpo de prova colocado entre os pratos de compressão.

O prato que se desloca deve ter movimento na direção vertical, coaxial ao prato fixo. O corpo de prova cilíndrico deve ser posicionado de modo que, quando estiver centrado, seu eixo coincida com o da máquina, fazendo com que a resultante das forças passe pelo centro. O acionamento deve ser por meio de qualquer fonte estável de energia, de modo a proporcionar uma aplicação de força contínua e isenta de choques.

A máquina deve permitir o ajuste das distâncias entre os pratos de compressão antes do ensaio, com deslocamentos que superem a altura do corpo de prova em no mínimo 15 mm. O ajuste pode ser feito por meio de um mecanismo da máquina, independentemente do sistema de aplicação de força. O sistema de medição de força pode ser analógico ou digital. Em ambos os casos deve ser prevista um meio de

indicação da força máxima atingida que possa ser lida após a realização do ensaio. A resolução da escala deve atender à especificada para a classe da máquina de ensaio.

A máquina deve ser equipada com dois pratos de aço, cujas superfícies de contato com o corpo de prova tenham sua menor dimensão 4 % superior ao maior diâmetro do corpo de prova que deve ser ensaiado. As superfícies de contato dos pratos de compressão devem apresentar desvio máximo de planicidade de 0,05 mm para cada 150 mm de diâmetro dos pratos. Para pratos com diâmetro menor, o desvio máximo de planicidade deve ser de 0,05 mm e a dureza superficial deve ser no mínimo de 55 HRC (55 Rockwell C).

O prato inferior pode ser removível, apresentando círculos concêntricos de referência gravados, com centro na intersecção desta superfície com o eixo vertical na máquina para auxiliar na centralização do corpo de prova. É permitida a utilização de calços metálicos posicionados centralizados sobre o prato inferior da máquina. Estes calços devem obedecer aos mesmos critérios estabelecidos para o prato inferior.

O prato superior deve ser provido de articulação, tipo rótula esférica. O diâmetro da rótula deve ser no mínimo o diâmetro do corpo de prova a ser ensaiado. A informação referente ao diâmetro da rótula deve constar na especificação do equipamento do fabricante. A Figura 18, demonstra o equipamento citado e o corpo de prova, antes e depois de ser submetido a força axial.

Figura 18 – Ensaio de resistência a compressão



Fonte: (WOLENSKI, A.R.V.; et al, 2011)

Além destas, a norma ainda traz outras especificações e tolerâncias a respeito do equipamento. A calibração da máquina de ensaio deve ser feita conforme prescrito na ABNT NBR ISO 7500-1:2023, sob condições normais, em intervalos não maiores que 12 meses. Entretanto, recomenda-se que seja executada uma calibração extraordinária sempre que se suspeitar da existência de erro, ou quando for realizada qualquer operação de manutenção, ou quando a máquina for deslocada.

Pelo item 4, os corpos de prova e testemunhos a serem ensaiados devem atender à relação altura/diâmetro (h/d) nunca maior do que 2,06. Recomenda-se que o ensaio seja realizado, tanto quanto possível, imediatamente após a remoção do corpo de prova ou testemunho do seu local de cura. Dependendo do tipo de capeamento utilizado, pode-se optar pela preparação antecipada das bases dos corpos de prova e testemunhos.

Caso seja realizado o controle geométrico dos moldes conforme especificado na ABNT NBR 5738:2015, pode-se dispensar a medição do diâmetro e da altura de corpos de prova moldados, adotando-se as dimensões nominais destes, desde que seja atendido o intervalo da relação h/d entre 1,94 e 2,06. Os corpos de prova devem ser rompidos à compressão em uma dada idade especificada, com as tolerâncias de tempo descritas na Tabela 9. No caso de corpos de prova moldados de acordo com a ABNT NBR 5738:2015, a idade deve ser contada a partir do momento da moldagem.

Tabela 9 - Tolerância para a idade de ensaio

Idade de ensaio	Tolerância permitida h
24 h	0,5
3 d	2
7 d	6
28 d	24
63 d	36
91 d	48
NOTA Para outras idades de ensaio, a tolerância deve ser obtida por interpolação.	

Fonte: (ABNT 5739:2018, p. 04)

No item 5 da norma, orienta que antes de iniciar o ensaio, as faces dos pratos e do corpo de prova, ou testemunho devem ser limpas e secas, antes de serem colocados em posição de ensaio. O corpo de prova ou testemunho deve ser cuidadosamente centralizado no prato inferior, com o auxílio dos círculos concêntricos

de referência, observando-se o sentido de moldagem. Quando o topo e a base dos corpos de prova forem submetidos a desgaste por abrasão, indicar a orientação de moldagem do corpo de prova de forma inequívoca.

A escala de força escolhida para o ensaio deve ser tal que a força de ruptura do corpo de prova ou testemunho ocorra no intervalo em que a máquina foi calibrada. O carregamento de ensaio deve ser aplicado continuamente e sem choques, com a velocidade de carregamento de $(0,45 \pm 0,15)$ MPa/s. A velocidade de carregamento deve ser mantida constante durante todo o ensaio. O carregamento só deve cessar quando houver uma queda de força que indique a ruptura.

4.7.1. Cálculo da resistência

A resistência a compressão deve ser calculada pela expressão a seguir:

$$Eq. 9) f_c = \frac{4F}{\pi \cdot D^2}$$

Onde:

f_c é a resistência a compressão (Mpa);

F é a força máxima alcançada (N);

D o diâmetro do corpo de prova (mm).

No caso de corpos de prova com relação h/d menor que 1,94, deve-se multiplicar a força pelo fator de correção correspondente ao h/d encontrado, conforme a tabela 10 a baixo:

Tabela 10 - Fator de correção h/d

Relação h/d	2,00	1,75	1,50	1,25	1,00
Fator de correção	1,00	0,98	0,96	0,93	0,86
NOTA Valores intermediários podem ser obtidos por interpolação linear, com aproximação de centésimos.					

Fonte: (ABNT NBR 5739:2018, p. 05)

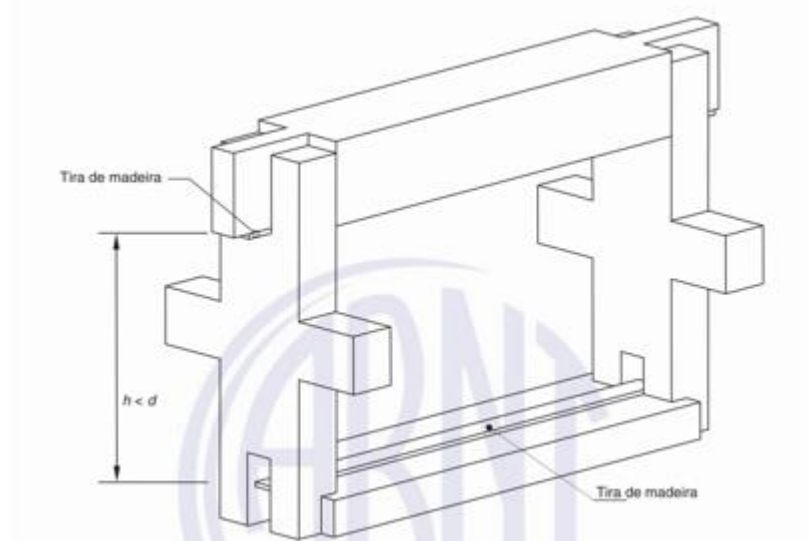
A norma também determina que o resultado da resistência deve ser sempre expresso em megapascals (MPa) com três algarismos significativos. O relatório de ensaio deve contar no mínimo o número de identificação do corpo de prova, a data da

moldagem e a data de ensaio, a idade do corpo de prova e suas dimensões, tipo de capeamento empregado, a classe da máquina de ensaio e o resultado da resistência a compressão individual do corpo de prova

4.8. Ensaio da resistência à tração de corpos de prova cilíndricos

A norma ABNT NBR 7222:2011 “Concreto e argamassa – Determinação da resistência a tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos” estabelece aparelhagem semelhante à usada no ensaio de compressão, de acordo com a norma ABNT NBR 5739:2018, visto acima. Porém, permite a utilização de dispositivos auxiliares que facilitem o posicionamento do corpo de prova na máquina de ensaio, desde que seja possível comprovar que não provoque alterações nos resultados de ensaio. A figura 19 exemplifica um dispositivo auxiliar, geralmente utilizado:

Figura 19 - Exemplo do dispositivo auxiliar utilizado no ensaio



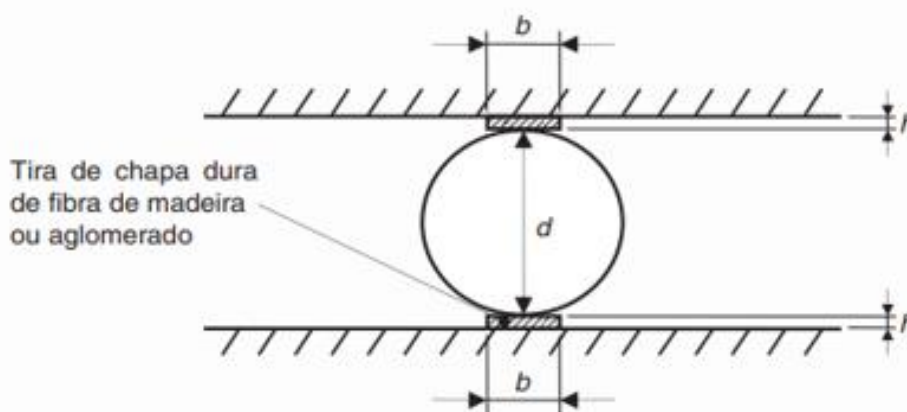
Fonte: (ABNT 7222:2011, p. 02)

O item 3.3 da norma, diz que: “Quando o diâmetro ou a maior dimensão dos pratos da máquina de ensaios for menor que o comprimento do cilindro a ser ensaiado, deve ser utilizada uma viga ou placa complementar de aço usinado, de forma a distribuir uniformemente, sobre todo o corpo de prova, as cargas aplicadas. As superfícies da viga ou da placa que ficarem em contato direto com a tira de madeira devem ser usinadas até uma planeza de 0,05 mm para cada 150 mm de comprimento”.

Conitnua “A largura desses dispositivos complementares (viga ou placa) deve ser de pelo menos 50 mm e a sua espessura não deve ser inferior à distância entre a borda do prato móvel ou articulado e a extremidade do corpo de prova cilíndrico. A viga ou placa complementar deve ser utilizada de modo que a força aplicada atue sobre toda a geratriz do corpo de prova”.

Para as tiras de chapa dura de fibra de madeira ou aglomerado, que estejam isentas de defeitos e com comprimento igual ou maior ao da geratriz do corpo de prova e seção transversal, deve seguir as dimensões definidas na Figura 20 (ABNT NBR 7222:2011, p. 02).

Figura 20 - Disposição do corpo de prova



Fonte: (ABNT NBR 7222:2011, p. 03)

Onde:

d = diâmetro do corpo de prova, em mm;

$b = (0,15 \pm 0,01) \cdot d$, em mm;

$h = (3,5 \pm 0,5)$, em mm.

Novamente, os corpos de prova devem ser moldados e curados em conformidade com a ABNT NBR 5738:2015, mantidos úmidos durante o tempo compreendido entre o momento de remoção da câmara úmida e início do ensaio. No caso de testemunhos, devem ser obtidos de acordo com a ABNT NBR 7680-1:2015.

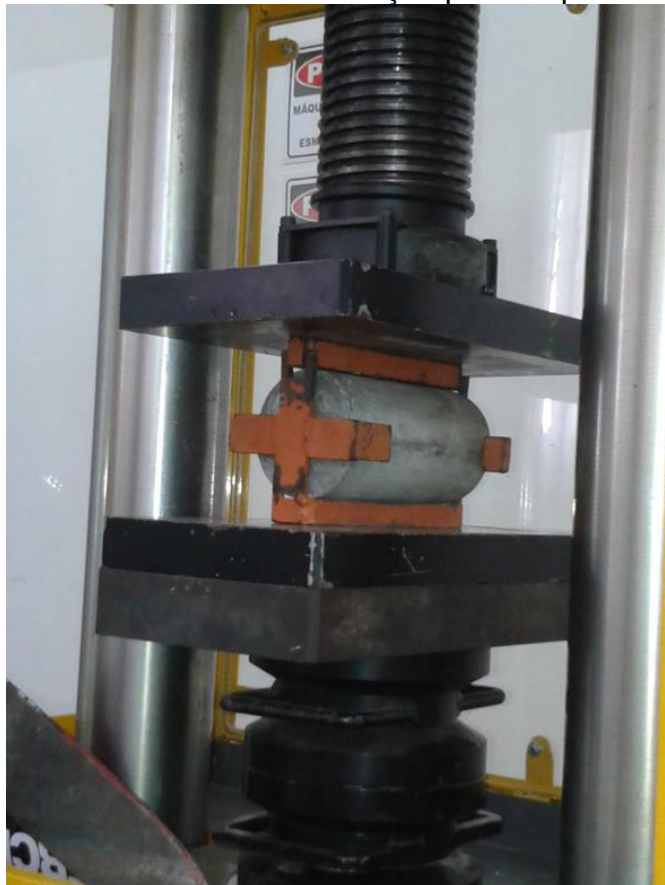
Deve-se determinar o diâmetro utilizado para o cálculo da área da seção transversal com exatidão de $\pm 0,1$ mm, pela média de dois diâmetros, medidos ortogonalmente na metade da altura do corpo de prova. Determinar a altura do corpo de prova, que deve ser medida sobre seu eixo longitudinal, com exatidão de 0,1 mm.

A norma ressalta que, caso seja realizado o controle geométrico dos moldes conforme especificado na ABNT NBR 5738:2015, pode-se dispensar a determinação das medidas do diâmetro e da altura, adotando-se as dimensões nominais.

Pelo procedimento descrito na norma, no item 5, recomenda “colocar o corpo de prova de forma que o plano axial definido por geratrizes diametralmente opostas, que devem receber o carregamento, coincida com eixo de aplicação de carga. Colocar, entre os pratos da máquina e os corpos de prova em ensaio, as duas tiras de chapa dura de fibra de madeira ou aglomerado, como visto acima. As tiras de madeira devem ser usadas para apenas uma determinação. Ajustar os pratos da máquina até que seja obtida uma compressão capaz de manter em posição o corpo de prova”.

Finaliza o procedimento, ressaltando que a carga deve ser aplicada continuamente e sem choques, com crescimento constante da tensão de tração (indicada pela equação 10), a uma velocidade de $(0,05 \pm 0,02)$ MPa/s até a ruptura do corpo de prova. A Figura 21, demonstra o maquinário e a disposição do corpo de prova.

Figura 21 – Ensaio de resistência de tração por compressão diametral



Fonte: (Arsaedificativa, 2021)

$$\text{Eq. 10) } f_{ct,sp} = \frac{2F}{\pi \cdot d \cdot l}$$

Onde:

$f_{ct,sp}$ é a resistência à tração por compressão diametral, expressa com três algarismos significativos, em Megapascals (MPa);

d é o diâmetro do corpo de prova, em milímetros (mm);

F é a força máxima obtida no ensaio, em Newtons (N);

L é o comprimento do corpo de prova, em milímetros (mm).

Por fim, no item 7 da ABNT NBR 7222:2011, o relatório de ensaio deve conter a procedência e a quantidade de corpos de prova ensaiados (recomenda-se no mínimo dois corpos de prova por idade), a identificação dos corpos de prova, a data de moldagem, a idade dos corpos de prova, a data do ensaio, o diâmetro e o comprimento dos corpos de prova, eventuais defeitos dos corpos de prova, força máxima aplicada, resistência à tração por compressão diametral individual e referência a esta Norma

Para testemunhos extraídos de estruturas de concreto, reportar as mesmas informações relativas aos corpos de prova moldados, quando cabíveis, acrescidas da informação de que os resultados devem ser observados com ressalvas devido a eventuais efeitos de broqueamento e outros fatores.

4.9. Ensaio da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos

A norma ABNT NBR 12142:2010 “Concreto – Determinação da resistência a tração na flexão de corpos de prova prismáticos”, estabelece o método de ensaio de tração por flexão de corpos de prova e testemunhos de concreto, empregando o método da viga simplesmente apoiada com duas cargas concentradas nos terços do vão.

Para a realização do ensaio, pode ser utilizada qualquer máquina em que:

- A distância entre apoios e pontos de aplicação de carga deve permanecer constante durante o ensaio;
- Que a carga deve ser aplicada normalmente à superfície do corpo de prova, evitando excentricidade;
- A direção das reações deve ser mantida paralela à direção da carga

durante todo o ensaio;

- A carga deve ser aplicada de forma gradual e uniforme, evitando choques;
- Os dois elementos de aplicação de carga devem ser acoplados à rótula da máquina de ensaio. Um desses elementos deve apresentar grau de liberdade de movimento em todas as direções de, no mínimo, $\pm 4^\circ$ e o outro deve articular somente no sentido longitudinal do corpo-de-prova. O mesmo sistema deve ser adotado para os elementos de apoio. A força necessária para produzir a movimentação não deve ultrapassar 0,1% da carga estimada de ruptura. As superfícies de contato das articulações devem ser mantidas limpas e lubrificadas;
- Deve ser garantida a perfeita ortogonalidade entre os eixos da máquina e do corpo de prova colocado no dispositivo, admitindo-se que este não contenha distorções geométricas;
- Os elementos de apoio e de aplicação de força devem apresentar forma cilíndrica na região que entra em contato com o corpo de prova, com raio de curvatura de $(12,5 \pm 0,5)$ mm. O comprimento destes elementos deve ser de 3 mm a 5 mm maior que a largura do corpo de prova, devendo ainda na região de contato apresentar dureza mínima de 55 HRC.

Pelo item 4 da norma, para realização do ensaio, os corpos de prova devem cumprir o estabelecido na ABNT NBR 5738:2015 e os testemunhos devem cumprir a norma ABNT NBR 7680:2015. Devem ser traçados linhas para facilitar a centralização do corpo de prova no dispositivo de carregamento, nas faces de rasamento e na face oposta.

Continuando “os corpos de prova que tenham sido curados em câmara úmida ou submersos em água devem ser ensaiados imediatamente após terem sido retirados do local de cura. Se por algum motivo for necessário transcorrer algum tempo desde a cura até o ensaio, período deve sempre ser inferior a 3h, os corpos de prova devem ser cobertos com pano úmido, de forma a mantê-los também úmidos até o momento do ensaio”.

O procedimento, no item 5, inicia-se colocando “o corpo de prova com seu lado maior, paralelo ao seu eixo longitudinal, sobre os apoios, centrando-o entre eles. No caso de corpos de prova moldados, as faces laterais com relação à posição de moldagem devem ficar em contato com as peças de aplicação de carga e os apoios”.

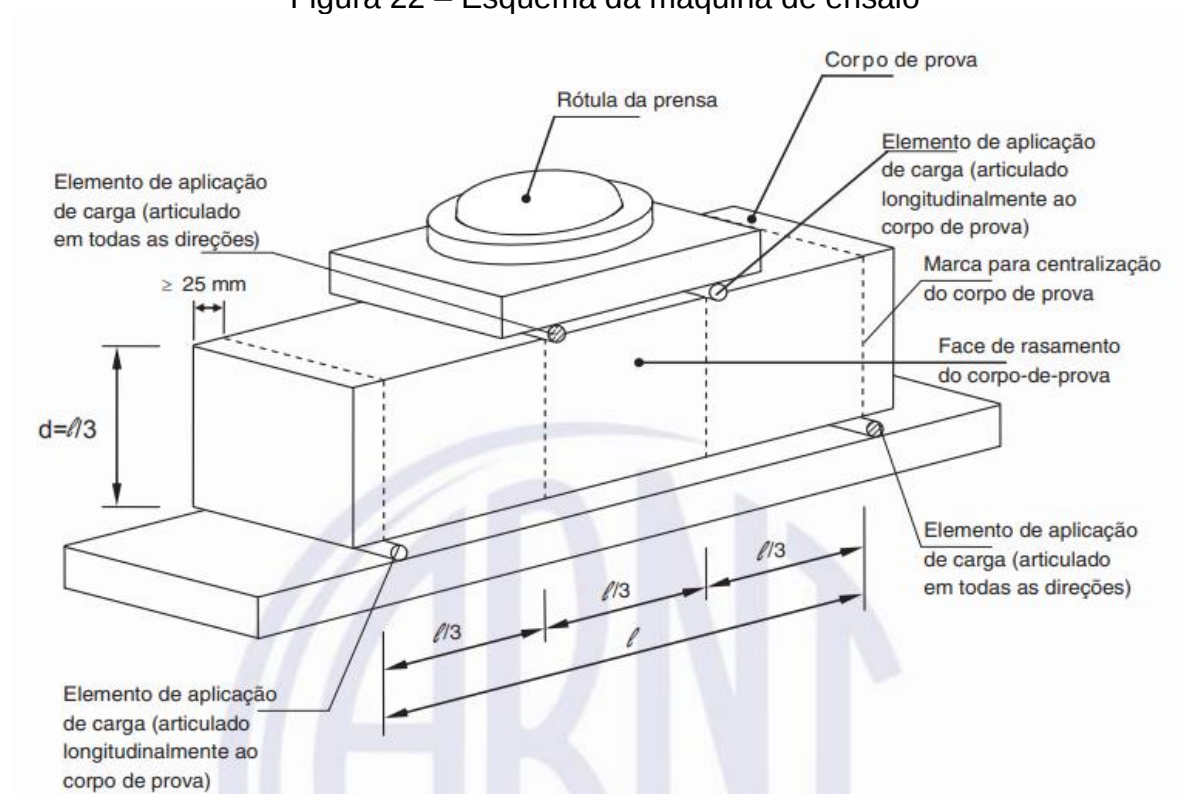
“Caso não se obtenha um contato perfeito entre o corpo de prova e os apoios,

polir as superfícies de contato do corpo-de-prova”

Por fim, a ABNT NBR 12142:2010 diz que a força deve ser aplicada continuamente e sem choques, com aumento de tensão compreendido entre 0,9 MPa/min a 1,2 MPa/min. Após a realização do ensaio, medir o corpo de prova em sua seção de ruptura, para determinar a largura e a altura médias, com precisão de 1 mm. Esta determinação é o resultado da média de três determinações.

A Figura 22, é um esquema da máquina de ensaio, representado pela norma ABNT NBR 12141:2010. Já a figura 23, é demonstração do ensaio de tração na flexão realizado em laboratório.

Figura 22 – Esquema da máquina de ensaio



Fonte: (ABNT NBR 12142:2010, p. 02)

Figura 23 – Ensaio de tração na flexão



Fonte: (Arsaedificativa, 2021)

A resistência à tração na flexão, é calculado de acordo com fórmula a seguir:

$$\text{Eq. 11) } f_{ct,f} = \frac{F \cdot l}{b \cdot d^2}$$

Caso a ruptura ocorra fora do terço médio, a uma distância não superior a 5% de L, conforme a figura 21, calcula-se pela seguinte equação:

$$\text{Eq. 12) } f_{ct,f} = \frac{3 \cdot F \cdot a}{b \cdot d^2}$$

Onde:

$f_{ct,f}$ é a resistência à tração na flexão (Mpa);

F é a força máxima registrada na máquina de ensaio (N);

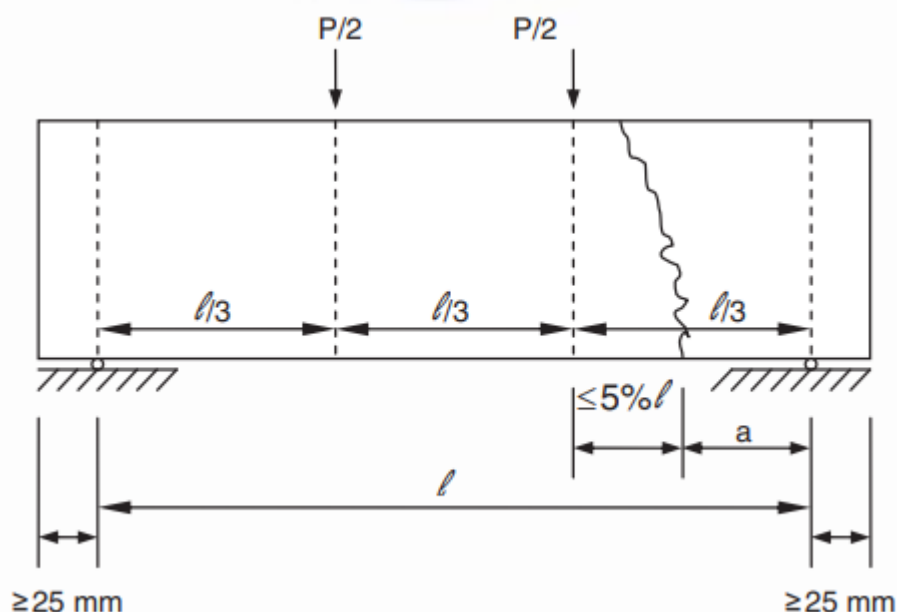
L é a dimensão do vão entre apoio do corpo de prova (cm);

b é a largura média do corpo de prova (cm);

d é a altura média do corpo de prova (cm);

a é a distância média entre a linha de ruptura na face tracionado e a linha correspondente ao apoio mais próximo (mm).

Figura 24 – Ruptura fora do terço médio



Fonte: (ABNT NBR 12142:2010, p. 04)

O relatório do ensaio deve conter a identificação do corpo de prova ou do testemunho da estrutura de concreto; largura e altura média deste, calculada com aproximação de 1mm; vão entre apoios, em centímetros; carga máxima, em newtons; resistência à tração na flexão expressa com três algarismos significativos; defeitos ou anomalias que apresenta os corpos de prova ensaiado; idade do corpo de prova e referência a esta norma.

4.10. Determinação do módulo de elasticidade e de deformação

A norma NBR 8522:2021 “Concreto endurecido – Determinação o módulo de elasticidade e de deformação”, é dividida em duas partes. A primeira, os módulos são determinados por um método estatístico à compressão, o segundo, os módulos são encontrados de maneiras dinâmicas pelo método das frequências naturais de vibração. Como visto anteriormente, é utilizado efetivamente apenas a primeira parte, que abrange a metodologia A – tensão fixa e metodologia B – deformação específica fixa.

4.10.1. Módulos estáticos à compressão

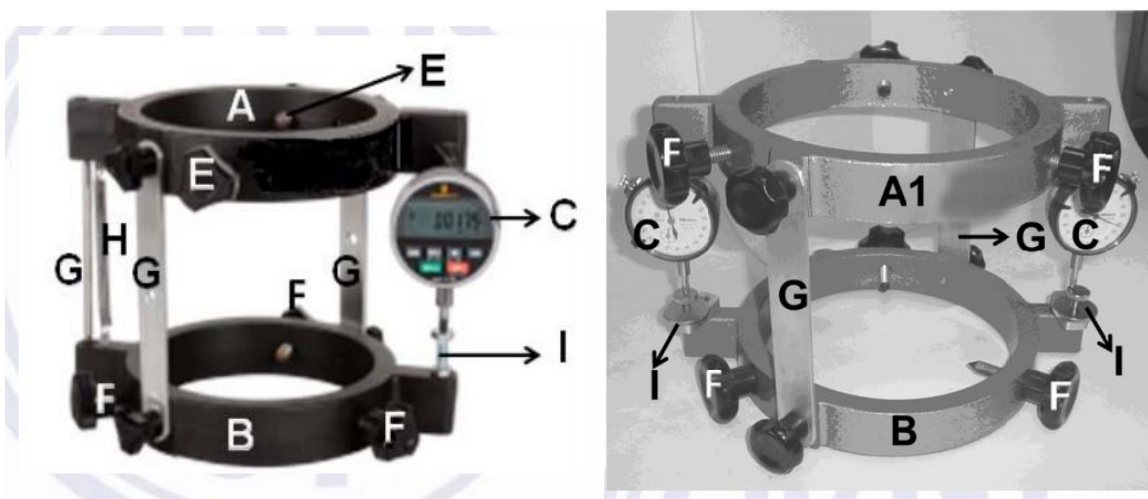
A aparelhagem, presente no item 4 da norma, determina que a “máquina para

estes ensaios devem atender aos valores máximos admissíveis para classe 1 ou melhor, estabelecidos na ABNT NBR ISO 7500-1:2023, e estar de acordo com os requisitos da ABNT NBR 5739:2018”. Sendo capaz de aplicar a força de deformação específica indicada na razão especificada e mantê-la no nível requerido. Ressalta também que a norma ABNT NBR ISO 7500-1:2023 estabelece outros requisitos mínimos que devem ser observados e seguidos em relação a máquina necessária.

A norma NBR 8522-1:2021, apresenta dois tipos de instrumentos medidores de deformação, o elétrico e o mecânico, no qual devem possibilitar a realização do ensaio sem interferência dos operadores em suas medições. “O comprimento de cada base de medida (L_0), onde são fixados os medidores de deformação, devem ser no mínimo, igual a dois terços do diâmetro do corpo de prova ($2/3 d$) e no máximo, igual à medida desse diâmetro (d)”.

Os medidores de deformação elétricos, definidos em 4.2.2, podem ser do tipo resistivo ou indutivo, já o medidor de deformação mecânico (compressômetros), no item 4.2.3, podem ter apenas um relógio comparador (base dependente), ou podem ter dois ou mais relógios comparadores (um para cada base de medida, base independentes), conforme Figura 25.

Figura 25 - Base dependente e independente



Fonte: (ABNT NBR 8522-1:2021)

Como os outros ensaios, os corpos de prova para a realização do ensaio devem ser cilíndricos, moldados e curados de acordo com a ABNT NBR 5738:2015, devendo ser ensaiados à compressão, de acordo com a ABNT NBR 5739:2018. Se não houver corpos de prova da mesma betonada, a resistência à compressão pode ser estimada,

e este fato deve ser registrado no relatório do ensaio, mencionando as bases adotadas para essa estimativa.

Figura 26 - Ensaio de módulo de elasticidade



Fonte: (Contech controle tecnológico, 2022)

A norma ainda estabelece que “Para a determinação do módulo de elasticidade, quando o ensaio for realizado a uma tensão especificada pelo projetista, pode-se prescindir da determinação prévia da resistência à compressão, desde que o valor da tensão especificada seja de até 0,4 da resistência característica do concreto a idade de j dias (f_{ckj}). Neste caso, a resistência à compressão efetiva ($f_{c,ef}$), obtida ao final do ensaio, deve ser igual ou superior ao f_{ckj} especificado e, antes da realização do ensaio, deve ser feita a compatibilização das bases de medida”.

4.10.1.1. Metodologia A – Tensão σ_a fixa

A metodologia esta no item 7.3.1 da norma ABNT NBR 8522-1:2021, descrita abaixo:

- Etapa 1: Carregar o corpo de prova até a força correspondente à tensão do limite superior (σ_b) e manter a força neste nível por 60 s. Em seguida, descarregar o corpo de prova até uma força próxima de zero ou a primeira marcação correspondente a uma divisão da escala. Convém que o prato superior da máquina

Obs: $\sigma_b = 30\%$ de f_c , obtida pelo ensaio de resistência a compressão ou outra tensão específica de projeto.

- Após a leitura das deformações, liberar a instrumentação, se necessário, e carregar o corpo de prova na mesma taxa de velocidade utilizada durante as etapas, até que se produza a ruptura, obtendo-se a resistência efetiva ($f_{c,ef}$). Se $f_{c,ef}$ diferir de f_c em $\pm 20\%$ (ver Figura 27), os resultados do corpo de prova não são confiáveis e não podem ser considerados no cálculo:

Gráfico de tensão (σ) em MPa versus Tempo.

O eixo vertical σ (MPa) apresenta marcas em $0,8 f_c$, f_c e $1,2 f_c$.

O eixo horizontal é Tempo.

A curva representa o perfil de tensão ao longo do tempo, com picos de $\sigma_b = 0,3 f_c$ (ver NOTA 7.2.1.1) e $\sigma_a = 0,5$ (MPa).

As durações dos ciclos são indicadas: 60 s, 60 s, 60 s, 60 s a 90 s.

As leituras de deformação são indicadas: leitura de ϵ_a e leitura de ϵ_b .

Uma faixa cinza representa a faixa de $f_c \pm 20\%$ tolerância para $f_{c,ef}$.

73

Os resultados devem ser expressos de acordo com a equação abaixo:

$$\text{Eq. 13) } E_{ci,i} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} 10^{-3} = \frac{\sigma_b - 0,5}{\varepsilon_b - \varepsilon_a} 10^{-3}$$

Onde:

$E_{ci,i}$ é o módulo de elasticidade expresso em gigapascals (GPa);

σ_b é a tensão maior, considerada como 30% da resistência à compressão, ou outra tensão especificada em projeto, em megapascals (MPa);

0,5 é o valor de tensão básica, em megapascals (MPa);

ε_b é a deformação específica do concreto sob a tensão maior (figura 3);

ε_a é a deformação específica do concreto sob a tensão básica (figura 3).

4.10.1.2. Metodologia B – Deformação específica ε_a fixa

A metodologia esta descrita no item 7.3.2 da norma ABNT NBR 8522-1:2021, descrita abaixo:

- Etapa 1: Carregar o corpo de prova até a força correspondente à tensão do limite superior (σ_b) e manter a força neste nível por 60 s. Em seguida, descarregar o corpo de prova até uma força próxima de zero ou a primeira marcação correspondente a uma divisão da escala. Convém que o prato superior da máquina de ensaios não perca o contato com o topo do corpo de prova

Obs: $\sigma_b = 30\%$ de f_c , obtida pelo ensaio de resistência à compressão ou outra tensão específica de projeto.

- Etapa 2: Carregar o corpo de prova até o medidor de deformação acusar a leitura de deslocamento correspondente à deformação específica de 50×10^{-6} (ε_a). Manter o carregamento por 60 s. Em seguida, carregar o corpo de prova até a força correspondente à tensão do limite superior (σ_b) e manter a força neste nível por 60 s. Descarregar o corpo de prova até uma força próxima de zero ou a primeira marcação correspondente a uma divisão da escala. Convém que o prato superior da máquina de ensaios não perca o contato com o topo do corpo de prova

- Etapa 3: Deve ser conduzida conforme a etapa 2

- Etapa 4: Carregar o corpo de prova até o medidor de deformação acusar a leitura de deslocamento correspondente à deformação específica de 50×10^{-6} (ε_a). Manter o carregamento por 60 s. Registrar a força lida em no máximo 30 s e calcular

Após a leitura das deformações, liberar a instrumentação, se necessário, e carregar o corpo de prova na mesma taxa de velocidade utilizada durante as etapas, até que se produza a ruptura, obtendo-se a resistência efetiva ($f_{c,ef}$). Se $f_{c,ef}$ diferir de f_c em $\pm 20\%$ (ver Figura 28), os resultados do corpo de prova não são confiáveis e não podem ser considerados no cálculo.

Diagrama de um ensaio de fadiga sob tensão. O eixo vertical representa a tensão σ (MPa) e o eixo horizontal representa o tempo (s). A tensão varia entre $0,3 f_{ct}$ e $0,8 f_{ct}$. O ensaio consiste em três ciclos de tensão (60 s de subida, 60 s de manutenção no topo, 60 s de descida) seguidos por uma fase de manutenção constante (60 s a 90 s) para leitura de ϵ_b . A tensão máxima é $0,8 f_{ct}$ e a mínima é $0,3 f_{ct}$. A faixa de $f_{ct} \pm 20\%$ tolerância para $f_{ct,ef}$ é indicada. A leitura de σ_a para $\epsilon_a = 50 \times 10^{-6}$ é indicada.

Os resultados devem ser expressos de acordo com a equação abaixo:

Onde:

σ_b é a tensão maior, considerada como 30% da resistência à compressão, ou outra tensão especificada em projeto, em megapascals (MPa);

σ é a tensão básica correspondente a deformação específica $50 \cdot 10^{-6}$, em megapascals (MPa);

75

4.10.2. Determinação do módulo de deformação específica (Ecs)

O item 8 da referida norma, determina que devem ser ensaiados três corpos de prova cilíndricos, moldados de acordo com a ABNT NBR 5738:2015, para a determinação do módulo de deformação e traçado do diagrama tensão deformação. No caso de testemunhos extraídos da estrutura, consultar o Anexo A da norma ABNT NBR 8522-1:2021.

Os instrumentos devem estar de acordo com a ABNT NBR 5739:2018, com o corpo de prova centralizado nos pratos da máquina de ensaio, com seu eixo coincidindo com o eixo de aplicação de carga. Os carregamentos e descarregamentos devem ser realizados com velocidade de $(0,45 \pm 0,15)$ MPa/s.

Para a determinação do módulo de deformação secante a uma tensão especificada, é necessário realizar uma compatibilização das bases de medidas, exceto quando o ensaio for realizado em tensão compreendida no intervalo 0,3 fc a 0,5 fc. Deve ser realizado conforme o item 8.3.1 da referida norma, descrito a seguir:

- Colocar o corpo de prova em posição centrada nos pratos da máquina de ensaios (centragem visual);
- Aplicar uma carga de no máximo 20 % da carga prevista de ruptura;
- Verificar as deformações registradas pelos medidores;
- Caso a diferença entre as deformações lidas nestes medidores seja maior que 20 % da maior das deformações lidas, descarregar o corpo de prova e proceder ao ajuste mais correto da centragem, girando o corpo de prova;
- Aplicar novamente uma carga de no máximo 20 % da carga prevista de ruptura e novamente verificar as deformações registradas pelos medidores;
- Repetir esse procedimento de carregar, ler as deformações, descarregar e girar o corpo de prova, até que a diferença entre as deformações lidas seja inferior a 20 % da maior deformação, quando terá sido concluída a compatibilização das bases de medida.

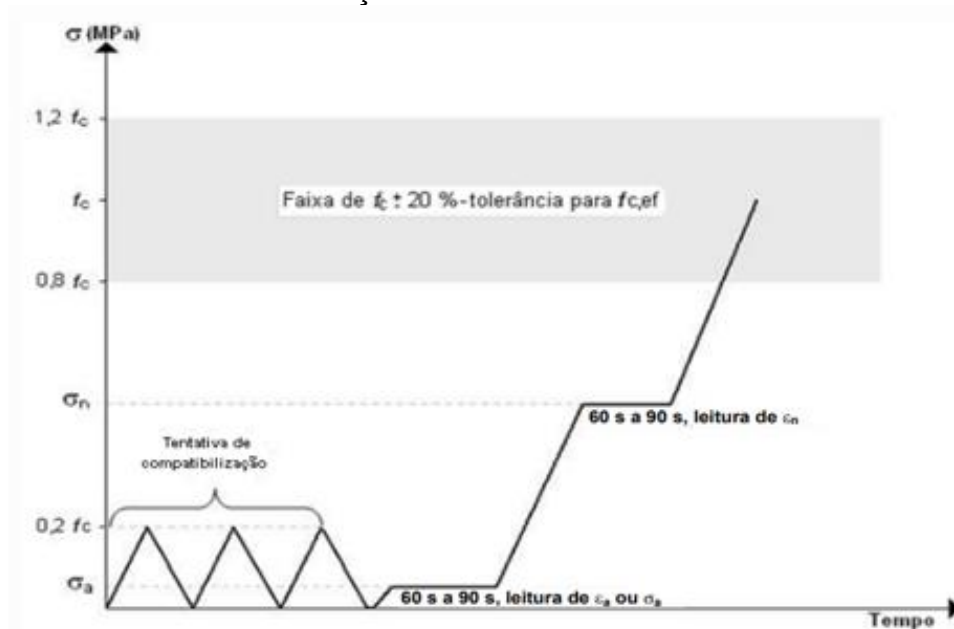
O procedimento do ensaio determina carregar o corpo de prova até uma a força correspondente à tensão de 0,5 MPa (σ_a) e mantê-la nesse nível por 60 s, registrando a deformação lida (ϵ_a), tomada em no máximo 30 s. Em seguida, carregar o corpo de prova até a força correspondente à tensão do limite superior (σ_n) e manter a força neste nível por 60 s. Registrar a deformação lida, ϵ_n , tomada em no máximo 30 s.

(ABNT NBT 8522-1:2021).

Alternativamente, a norma permite carregar o corpo de prova até a deformação específica (ϵ_a) de 50×10^{-6} e manter a força neste nível por 60 s, registrando a força lida, tomada em no máximo 30 s, correspondente à tensão básica (σ_a). Em seguida, carregar o corpo de prova até a tensão (σ_n) informada pelo interessado e manter a força neste nível por 60 s. Registrar a deformação específica (ϵ_n) em no máximo 30 s, correspondente à tensão (σ_n).

A norma continua “Após as leituras, liberar a instrumentação, se necessário, e carregar o corpo de prova na mesma taxa de velocidade especificada acima, até que se produza a ruptura, obtendo-se a resistência efetiva ($f_{c,ef}$). Se $f_{c,ef}$ diferir de f_c em $\pm 20\%$ (ver Figura 29), os resultados do corpo de prova não são confiáveis e não podem ser considerados no cálculo. O tempo de carregamento durante o ensaio não deve ultrapassar 15 min, tendo em vista evitar a interferência no resultado do ensaio pelo efeito Rush”.

Figura 29 - Representação esquemática do carregamento para a determinação do módulo de deformação secante a uma tensão indicada σ_n



Fonte: (ABNT NBR 8522-1:2021, p. 14)

Os resultados devem ser expressos de acordo com a equação abaixo:

$$\text{Eq. 15) } E_{cs,i} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon} 10^{-3} = \frac{\sigma_n - \sigma_a}{\epsilon_n - \epsilon_a} 10^{-3}$$

Onde:

$E_{cs,i}$ é o módulo de deformação secante, dada a uma tensão especificada, em

gigapascals (GPa);

σ_n é a tensão especificada, em megapascals (MPa);

σ_a é a tensão de 0,5 MPa ou a tensão correspondente à deformação específica de $50 \cdot 10^{-6}$;

ϵ_n é a deformação específica de cada corpo de prova sob a tensão especificada;

ϵ_a é a deformação específica de cada corpo de prova sob a tensão de 0,5 MPa ou a especificada de $50 \cdot 10^{-6}$.

Para a tensão-deformação específica, no item 8.4 da norma, o corpo de prova também precisa ser ajustado na máquina, compatibilizar as bases de medidas de acordo com o apresentado acima e aplicar um carregamento crescente à velocidade especificada, com pausas de 60 s nas tensões especificadas, para as seguintes leituras de deformação:

- Leitura I₀, à tensão $\sigma_a = 0,5$ MPa ou a tensão correspondente a $\epsilon_a = 50 \cdot 10^{-6}$;
- Leitura I₂, à tensão 0,2 f_c;
- Leitura I₃, à tensão 0,3 f_c;
- Leitura I₄, à tensão 0,4 f_c;
- Leitura I₅, à tensão 0,5 f_c;
- Leitura I₆, à tensão 0,6 f_c;
- Leitura I₇, à tensão 0,7 f_c;
- Leitura I₈, à tensão 0,8 f_c.

Segundo a norma deve-se “Aplicar carga até que se produza a ruptura do corpo de prova, anotando a tensão de ruptura efetiva (f_c,e_f). Ler as deformações em no máximo 30 s após as pausas de 60 s, a cada etapa de carregamento, conforme a Figura 30. Se f_c,e_f diferir de f_c em ± 20 %, os resultados do corpo de prova não são confiáveis e não podem ser considerados no cálculo.”

O traçado do diagrama tensão-deformação específica, representando os resultados individuais das deformações medidas no eixo das abscissas e as tensões correspondentes no eixo das ordenadas.

Figura 30 – Representação esquemática do carregamento para a determinação do módulo de deformação secante pelo diagrama tensão-deformação



Fonte: (ABNT NBR 8522-1:2021, p. 16)

Por fim, no item 10, determina que os relatórios individuais $E_{cs,i}$ ou $E_{ci,i}$ devem ser expressos com dois algarismos significativos, em gigapascals (GPa) e no relatório de ensaio deve conter identificação do corpo de prova, data de moldagem do corpo de prova, condições de cura e armazenamento, idade do corpo de prova no momento do ensaio, as condições do corpo de prova no momento do recebimento para o ensaio e o tratamento superficial, dimensões do corpo de prova, data de ensaio, instrumentação de medição utilizados, quantidade e comprimento das bases de medidas, resistência à compressão especificado pelo projetista e a resistência à compressão de cada corpo de prova ensaiado, método de carregamento e o valor obtido para o módulo estatístico de elasticidade ou de formação de cada corpo de prova, além de alguns dados opcionais descritos no item 10.2 da norma.

A diferença entre dois resultados individuais, obtidos a partir de uma mesma amostra, em condições similares, deve ser igual ou menor que 5%. Se o ensaio for realizado por dois operadores em laboratórios diferentes, deve ser igual ou menor que 10%, para tensões de até 50% da tensão final considerado no ensaio. A norma termina, com o anexo A, que trata sobre o procedimento para ensaio de testemunhos extraídos da estrutura e o anexo B, que faz uma estimativa do módulo de elasticidade (E_{ci}) a partir do módulo de elasticidade dinâmico (E_{cd}).

5 DISCUSSÕES:

A finalidade do controle tecnológico do concreto, é verificar, analisar e certificar a qualidade do concreto, de acordo com o projeto, utilizando normativas que padronizam os procedimentos adotados. Na teoria, além dos procedimentos serem padronizados e as normas serem constantemente atualizadas, a maioria das testagens expostas no texto são de fáceis compreensão e execução. Porém, na prática, há inúmeros erros, humanos e/ou mecânicos, no qual alteram os resultados e acarretam significativas consequências e patologias, com consequentes prejuízos financeiros e colocando em risco a segurança do projeto.

Como erro mecânico, podemos eleger o descalibramento dos equipamentos como um dos mais graves. A complexidade e os altos custos para certificação, combinados com a falta de fiscalização por parte dos órgãos competentes, fazem com que a regulamentação seja frequentemente negligenciada em muitos locais. Desta forma, a calibragem periódica não é realizada, tornando esse tipo de erro silencioso e altamente nocivo aos resultados. Para solucionar esse problema, as empresas tem adotado a acreditação dos laboratórios por meio do SIAC – Sistema de Avaliação da Conformidade de Serviços e Obras.

O SIAC é um conjunto de normas e procedimentos desenvolvidos pela PBQP-H (Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat) para avaliar e acreditar os laboratórios de controle tecnológico na construção civil no Brasil. Acreditar um laboratório de acordo com o SIAC significa que ele atende a requisitos específicos de competência técnica, qualidade e confiabilidade em suas atividades

A princípio, esse sistema foi desenvolvido para certificação de gestão da qualidade em obras habitacionais construídas com verba do Governo Federal. Hoje em dia porém, esta sendo aplicada para todo tipo de obra. A acreditação pelo SIAC, aumenta a credibilidade e a confiança dos clientes com a empresa, diferenciando-a no mercado atual. Com esse sistema, a empresa contratante faz uma auditoria com a empresa parceira, geralmente laboratórios, certificando a qualidade sem a necessidade do INMETRO

Outro erro grave, é a falta de manutenção ou a troca de equipamentos danificados. É comum em obras, observar moldes amassados, equipamentos tortos, desnivelados e improvisados. Os moldes amassados podem alterar as dimensões especificadas na norma, equipamentos improvisados podem ser reagentes com o

concreto ou não desempenhar devidamente a função desejada, entre diversas outras consequências.

O mais comum, porém, é o erro humano, causado na execução do processo, principalmente devido pela falta de treinamento ou falta de supervisão. Apesar de serem testes simples e metódicos, na maioria das vezes, a execução pode ser falha e o mínimo detalhe alterar significativamente o resultado. Os erros mais comuns são:

- Errar número de golpes e de camadas, não penetrar ou penetrar demais a haste na camada anterior, no abatimento e na moldagem do corpo de prova;
- Não capear de maneira correta os corpos de prova;
- Armazenar e transportar corpos de prova de maneira inadequada, sofrendo impactos, por exemplo, comprometendo suas propriedades;
- Adição de água, acima do permitido para atingir o abatimento necessário em nota, para não devolver uma caminhão betoneira de concreto, por exemplo;
- Má homogeneização da massa do concreto;
- Equipamentos não pradonizados e improvisados;
- Não mapear de maneira efetiva o lançamento do concreto;

Em visitas e entrevistas realizadas em algumas obras, notou-se que, em obras de menor porte, o desconhecimento das tecnologias, procedimentos e da importância, é mais comuns. Porém, em obras de maior porte, a negligência e a imprudência são maiores, pois geralmente há um treinamento da mão de obra, no qual não é posto em prática, causando um vício construtivo.

Por fim, importante ressaltar que, um controle tecnologico bem realizado, com um bom mapeamento do concreto, pode impedir patologias ou torna-las de facilmente indetificáveis, facilitando laudos técnicos e identificação dos responsáveis. Desta forma, os benefícios de um controle tecnológico são imensuráveis, tanto em relação a segurança quanto ao aspecto financeiro, crescendo e aquecendo esse mercado, dia após dia esse mercado.

6 CONCLUSÃO

Através dessa revisão bibliográfica, observa-se que, embora as normas da ABNT estabeleçam os procedimentos que garantem a conformidade e a qualidade do concreto, há inúmeros erros, tanto mecânicos quanto humanos, que influenciam diretamente o resultado final. No entanto, quando tais sistemas são eficazes, os resultados são expressivos, transmitindo credibilidade e confiança a todas as partes envolvidas na realização de obras civis

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDOLFATO, Rodrigo P. **Concreto tecnológico básico do concreto**. Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho". ILHA SOLTEIRA. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Vendas de cimento crescem 6,6% em 2021. **ABCP.ORG.BR**, 2022. Disponível em: <https://abcp.org.br/vendas-de-cimento-crescem-66-em-2021/>. Acesso em: 03 set. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/IEC 17025: Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração**. RIO DE JANEIRO. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 7500-1: Materiais metálicos: Calibração e verificação de máquinas de ensaio estático uniaxial Parte 1: Máquinas de ensaio de tração/compressão: Calibração e verificação do sistema de medição da força**. RIO DE JANEIRO. 2023.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto: Procedimento**. RIO DE JANEIRO. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto: Especificação**. RIO DE JANEIRO. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7212: Concreto dosado em central: Preparo, fornecimento e controle**. RIO DE JANEIRO. 2021.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7680-1: Concreto: Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de concreto Parte 1: Resistência à compressão axial**. RIO DE JANEIRO. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522-1: Concreto endurecido: Determinação dos módulos de elasticidade e de deformação Parte 1: Módulos estáticos à compressão**. RIO DE JANEIRO. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522-2: Concreto endurecido: Determinação dos módulos de elasticidade e de deformação Parte**

2: Módulo de elasticidade dinâmico pelo método das frequências naturais de vibração. RIO DE JANEIRO. 2021.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142: Concreto: Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos.** RIO DE JANEIRO. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland: Preparo, controle, recebimento e aceitação: Procedimento.** RIO DE JANEIRO. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931: Execução de estruturas de concreto: Procedimento.** RIO DE JANEIRO. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15146-1: Controle tecnológico de concreto: Qualificação de pessoal Parte 1: Requisitos gerais.** RIO DE JANEIRO. 2011.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16886: Concreto: Amostragem de concreto fresco.** RIO DE JANEIRO. 2020.

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

ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO. **NM 77: Concreto: Preparação das bases dos corpos de provas e testemunhos cilíndricos para o ensaio de compressão.** [S.I.]. 1996.

CALZADA, M.L.; ELIAS, M.V. **Avaliação do impacto da falha do controle tecnológico e sobrecarga em estruturas de concreto armado.** Pontifícia Universidade Católica de Goiás. GOIÂNIA. 2021.

CANATO, Ricardo L. **Considerações para o controle tecnológico de obras em alvenaria estrutural.** Universidade Federal de São Carlos. SÃO CARLOS. 2015.

FERNANDES, Mariana C. **Influência da retificação de superfícies de corpos-de-prova na variabilidade da resistência à compressão no controle tecnológico do concreto**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. PORTO ALEGRE. 2011.

FORTES, Rita M.; MERIGHI, João V. **Controle tecnológico e controle de qualidade - Um alerta sobre sua importância**. Universidade Presbiteriana Mackenzie. SÃO PAULO. 2004.

HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. Concreto de Cimento Portland. In: **IBRACON Materiais de construção civil e Princípios de ciência e engenharia dos materiais**. 2ª. ed. SÃO PAULO: Arte Interativa, v. 2, 2010. Cap. 29.

HELENE, Paulo R. L. **Controle de Qualidade do Concreto**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. SÃO PAULO. 1986.

HELENE, Paulo. IV Revolução na arte de projetar e construir estruturas. **Revista Concreto e Construções**, SÃO PAULO, v. 46, n. Edificação em concreto: Exportise brasileira em projeto, execução, controle e manutenção, p. 5, maio 2007.

MOREIRA, Diego G. G. **A possibilidade de comprometimento da obra à partir da inexistência do controle tecnológico do concreto usinado: estudo de caso**. Instituto doctum de educação e tecnologia. CARATINGA. 2016.

NEVILLE, A.M. Outras características do concreto endurecido. In: TABAJARA, Maria E. F. **Propriedade do concreto**. 5. ed. [S.l.]: bookman, 2016. Cap. 7, p. 334.

SCHNEIDER, Nelso. Slump Test: tudo sobre o ensaio de abatimento do concreto. **Nelsoschneider.com.br**, 2020. Disponível em: https://nelsoschneider.com.br/slump-test/#:~:text=A%20consist%C3%A2ncia%20est%C3%A1%20relacionada%20com,%C3%A9%20o%20teor%20de%20%C3%A1gua.https://www.politecnica.pucrs.br/professores/giugliani/ARQUITETURA_-

SOBRAL, Hermano S. Propriedades do concreto fresco. **Estudo Técnico**, São Paulo, outubro 2000.

SOUSA, Arthur P. **Levantamento de patologias em obras residenciais de baixa renda devido a ausência de controle tecnológico de materiais**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. RIO DE JANEIRO. 2014.

TEIXEIRA, Edimar E. E. B.; LAGE, Ottavio B. **Análise da influência da dosagem de concreto realizada sem controle tecnológico no cálculo estrutural em comparação a dosagem com controle tecnológico efetivo**. Rede de Ensino Doctum. JOÃO MONLEVADE. 2019.

ZALAF, Rafael S.; BRAZ, thiago C.; FILHO, saulo R. M. **Estudo do controle tecnológico e recebimento do concreto em obra**. Universidade Federal de Goiás. Goiânia. 2014.

54º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO. A importância da acreditação laboratorial e da certificação de mão de obra no controle de aceitação do concreto. IBRACON. [S.l.]. 2012.