UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI
INSTITUTO DE CIÊNCIA, ENGENHARIA E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ELABORAÇÃO DE TRAÇO DE CONCRETO FCK 35 MPA UTILIZANDO TABELA ABCP MODIFICADA VERIFICANDO SUA RESISTENCIA POR ANÁLISE DE COMPRESSÃO UNIAXIAL

Teófilo Otoni
2018

Gabriella Esteves Godinho
Grazielle Ferreira Mendes
Paula Alves Cardoso
Thais Loesch Almeida Souza

ELABORAÇÃO DE TRAÇO DE CONCRETO FCK 35 MPA UTILIZANDO TABELA ABCP MODIFICADA VERIFICANDO SUA RESISTENCIA POR ANÁLISE DE COMPRESSÃO UNIAXIAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil, na Universidade dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como parte dos requisitos necessários para a conclusão do curso.

Orientador: Prof. Dr. Stenio Cavalier Cabral

Teófilo Otoni

Gabriella Esteves Godinho
Grazielle Ferreira Mendes
Paula Alves Cardoso
Thais Loesch Almeida Souza

ELABORAÇÃO DE TRAÇO DE CONCRETO FCK 35 MPA UTILIZADO TABELA ABCP MODIFICADA VERIFICANDO SUA RESISTENCIA POR ANÁLISE DE COMPRESSÃO UNIAXIAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil, na Universidade dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como parte dos requisitos necessários para a conclusão do curso.

Orientador: Prof. Dr. Stenio Cavalier Cabral

Data de aprovação 14 / 08 / 2018

Prof. Ms. Eduardo Lourenço Pinto

Instituto De Ciência, Engenharia e Tecnologia - UFVJM

Prof. Ms. Flávio Alchaar Barbosa

Instituto De Ciência, Engenharia e Tecnologia - UFVJM

Prof. Dr. Stenio Cavalier Cabral

Instituto De Ciência, Engenharia e Tecnologia - UFVJM

2018
RESUMO

A crescente utilização do concreto com o passar dos anos é resultado de vultosos investimentos de grandes potências econômicas em estudos para sua utilização. Os resultados dos estudos para aprimoramento do concreto criaram, a partir de diferentes proporções da mistura de cimento (aglomerante), agregado graúdo (brita), agregado miúdo (areia) e água, diversos tipos de concreto que suportam diferentes resistências à compressão característica. Para assegurar que o concreto apresente o fck necessário para uma construção, é fundamental que o mesmo tenha o seu traço corretamente confeccionado. Tendo por objetivo a correta dosagem do traço, esse trabalho tem por finalidade a validação de um traço de concreto utilizando os estudos de compressão uniaxial do concreto da classe C35. Para a realização do experimento foram utilizados traços de concreto dosados por massa e por volume, e tais traços foram obtidos por uma planilha desenvolvida a partir da planilha ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) e modificada. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo validar esse traço para concretos C35. Após a cura dos corpos de prova, houve o desmolde e o rompimento dos mesmos nos dias estipulados pela norma para a análise da resistência à compressão. Com as análises de resistência à compressão, foi possível concluir que para o traço utilizado na confecção do concreto de fck 35 MPa os resultados foram próximos ao esperado, sendo necessária ainda algumas adaptações na planilha do cálculo do traço para que os resultados sejam aceitáveis.

Palavras-chave: concreto, dosagem, traço, resistência, compressão.

ABSTRACT

The increasing use of concrete over the years is the result of large investments by big economic powers in studies for their use. The studies results to improve the concrete, that is made with a mix from different proportions of cement, aggregate (gravel), aggregate (sand) and water, created several types of concrete that support different resistance to the characteristic compression (fck). To ensure that the concrete presents the fck required for a construction, it is essential that the concrete be properly made. Aiming at the correct dosage of the trace, the objective of this work is to validate the program that calculates the concrete trait using the concrete uniaxial compression study of class C35. For the accomplishment of the experiment, it was used traces of concrete dosed by mass and volume, and these traces were obtained by a worksheet developed from the ABCP's (Brazilian Portland Cement Association) worksheet and modified. After curing of the proof bodies, the samples were demolded and broken on the stipulated days by the compressive strength norm. With the compressive strength analysis, it was possible to conclude that for the trace used to produce concrete mix used for 35 MPa, the results were close to expected and some adjustments were necessary in the worksheet for the mixes calculation. With the compressive strength analysis, it was possible to conclude that for the trace used to produce concrete with 35 MPa, the results were close to expected and some adjustments are necessary in the worksheet for the results to be acceptable.

Key words: concrete, dosage, trace, resistance, compression.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 7
2 OBJETIVOS 9
2.1 Objetivo Geral 9
2.2 Objetivos Específicos 9
3 JUSTIFICATIVA 10
4 HISTÓRICO DO CONCRETO 11
5 TRAÇO DE CONCRETO 13
5.1 Cimento 13
5.1.1 Cimento Portland Comum (CP-I) 14
5.1.2 Cimento Portland Comum com adição (CP-I S) 14
5.1.3 Cimento Portland Composto (CP - II) 14
5.1.4 Cimento Portland de Alto Forno (CP - III) 15
5.1.5 Cimento Portland com Pozolana (CP - IV) 15
5.1.6 Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP - V ARI) 15
5.1.7 Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (BC) 15
5.1.8 Cimento Portland Branco (CPB) 16
5.2 Agregados 16
5.3 Água 17
6 CLASSIFICAÇÃO DO CONCRETO 18
6.1 Classificação por Massa Específica 18
6.2 Classificação por Resistência 18
6.3 Classificação por Consistência 19
7 TIPOS DE CONCRETO 20
7.1 Concreto Convencional 20
7.2 Concreto Bombeável 21
7.3 Concreto Usinado ou Dosado em Central 21
7.4 Concreto Armado 22
7.5 Concreto Protendido 23
7.6 Concreto de Alto Desempenho (CAD) 23
7.7 Concreto Auto Adensável (CAA) 23
7.8 Concreto Leve 24
7.9 Concreto Pesado 24
8 PROPRIEDADES DO CONCRETO 25
8.1 Propriedades do concreto fresco 25
8.1.1 Trabalhabilidade 25
8.1.2 Consistência 26
8.1.3 Coesão 26
8.1.4 Segregação e exsudação 27

8.2 Propriedades do concreto endurecido 28
8.2.1 Resistência à compressão 28
8.2.2 Resistência à tração na flexão 28
8.2.3 Permeabilidade e absorção 29
8.2.4 Porosidade 29
8.2.5 Retração 30
8.2.6 Fluência 31
8.2.7 Durabilidade 31
9 CURIOSIDADES DO CONCRETO 32
10 MATERIAIS E MÉTODOS 37
11 RESULTADOS E DISCUSSÃO 45
12 CONCLUSÃO 54
12.1 Proposta para trabalhos futuros 54
13 REFERÊNCIAS 55

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais mais utilizados no mundo, e isto é evidenciado pelo fato de que muito do que se vê no dia a dia é constituído de concreto. Ele está presente em praticamente todas as construções, como edificações residenciais e comerciais, rodovias, usinas hidrelétricas e pontes. Sua utilização aumenta cada vez mais com o passar dos anos graças aos incentivos governamentais, resultando consequentemente no crescimento da construção civil e no aumento do lucro das concreteiras, que são responsáveis pela preparação e entrega do concreto (ABCP, 2013).

Para a elaboração do concreto, deve-se misturar em quantidades racionais o cimento (aglomerante), agregado graúdo (brita), agregado miúdo (areia) e água, e em alguns casos algum aditivo caso se queiram características químicas ou físicas específicas. Deve-se ter cuidado com as características dos materiais componentes, com suas proporções na mistura e com a execução correta da mesma, para que resulte em um concreto de boa qualidade e com a resistência desejada (ALMEIDA, 2002).

Segundo Pinheiro (2010), a densidade e a resistência dos agregados são os fatores primordiais que definem as propriedades do concreto, sendo elas determinadas por suas características físicas. As principais propriedades do concreto são a resistência à compressão e módulo de elasticidade, e essas propriedades são determinadas a partir de testes ou ensaios específicos utilizados para o controle de qualidade do material.

A resistência mecânica mais importante na caracterização da qualidade do concreto é a resistência à compressão simples, denominada fc. Essa resistência é avaliada a partir da ruptura de corpos de prova do concreto, que são moldados após sair da betoneira, pois os mesmos representam a resistência que tal concreto poderá atingir em uma estrutura. No Brasil, o corpo de prova padrão possui formato cilíndrico, e os ensaios de resistência são realizados aos 28 dias de idade (PINHEIRO, 2010).

Os concretos são classificados em grupos de resistência, grupo I e grupo II, de acordo com a resistência característica à compressão denominada fck. Dentro desses grupos, os concretos são especificados pela letra C seguida do valor da resistência característica à compressão, expressa em MPa (ARAÚJO, 2001).

Em relação à sua resistência à compressão aos 28 dias, de acordo com Pedroso (2009) e conforme a ABNT NBR 8953, o concreto é classificado como:

a) Concreto de baixa resistência: menos de 20MPa;

b) Concreto de resistência normal: de 20 a 50MPa;

c) Concreto de alta resistência: mais de 50MPa.

De acordo com a Tecnosil (2017) e a Asamix (2015), os principais tipos de concreto de acordo com a sua utilização são:

- Concreto C20: Utilizado em meio agressivo fraco, como em concretagens simples e em meio rural. Indicado para contrapiso, calçadas e lajes, desde que não tenha outro pavimento sobre a mesma.
- Concreto C25: Resiste a moderada agressividade do meio, e é o concreto mais utilizado no meio urbano, sendo recomendado tanto para casas quanto para grandes construções. Indicado para lajes que tenham segundo pavimento construído sobre a mesma, colunas, baldrame, sapatas e radier.
- Concreto C30: Resiste ao meio agressivo forte e é muito utilizado em construções de edifícios e construções industriais.
- Concreto C35: Resiste ao meio agressivo forte e é muito utilizado em construções que precisam de maior resistência, pois sua tenacidade é maior que dos outros tipos. Diferentemente dos outros, este tipo de concreto é indicado para a construção de pavimentos de postos de gasolina, onde o tráfego de veículos pesados é muito alto.

Cada tipo de obra necessita de um tipo adequado de concreto e nem sempre é possível comprovar que o mesmo apresenta a qualidade necessária, podendo então aumentar o desperdício do material ou até mesmo os custos da construção. Quando o concreto é dosado em alguma empresa, deve-se saber se a mesma cumpre com as normas técnicas de execução do material, e assim evitar problemas futuros (DURAN & FRACARO, 2011).

Sendo assim, este trabalho apresenta a realização de traços de concreto do tipo C35, com o intuito de avaliar e padronizar a dosagem realizada de forma a trazer resultados satisfatórios. Foram confeccionados diversos corpos de prova com este traço, e suas resistências foram avaliadas rompendo-os por compressão axial.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem por objetivo a elaboração e confecção de um traço de concreto de 35 MPa e a sua análise de resistência por compressão uniaxial. O traço de concreto foi obtido através da utilização de uma planilha feita no Excel, capaz de fornecer a dosagem correta do traço de concreto quando inseridas características dos materiais como: a classe do concreto, os tipos de areia, brita e cimento bem como a umidade da areia.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar um levantamento bibliográfico a respeito do concreto e suas propriedades frente diferentes resistências características à compressão axial (fck);
- Validação da planilha que calcula o traço de concreto, utilizando os estudos de resistência a compressão uniaxial do concreto da classe C35;
- Estudar o comportamento do concreto com fck 35 MPa;
- Divulgar os resultados obtidos por meio de um trabalho de conclusão de curso.

3 JUSTIFICATIVA

A busca por novos materiais construtivos que agridam menos o meio ambiente, tenham maior trabalhabilidade e menor custo, vem aumentando gradativamente ao longo dos anos. Entretanto, com o aquecimento do setor construtivo, a utilização do concreto se mantém em alta e as exigências com a qualidade do mesmo aumentam na mesma proporção.

Para que o concreto tenha aceitação no mercado, um dos principais fatores é atingir a resistência à compressão requerida em projeto. Para que isso ocorra, a dosagem do concreto deve ser realizada de forma minuciosa, respeitando os parâmetros de cada componente do traço de concreto, sejam eles agregado graúdo, agregado miúdo, cimento e água.

Para as diversas classes de concretos diferentes parâmetros devem ser analisados. Por exemplo, para um concreto com fck de 35MPa que deve suportar altas cargas, fica inadmissível a existência de erros ou equívocos no cálculo da sua dosagem. Levando em consideração esse fator, várias tecnologias vêm sendo desenvolvidas para otimizar o processo de cálculo e dar maior confiabilidade ao produto.

Sendo assim, este trabalho apresenta a dosagem de traços de concreto com resistência característica de 35 MPa, utilizando como ferramenta uma planilha de cálculo que analisa todos os parâmetros e quantifica os materiais a serem utilizados no traço de concreto, desenvolvendo assim um produto de qualidade e que leva confiança aos clientes.

4 HISTÓRICO DO CONCRETO

No século XIX as estruturas construtivas utilizadas eram basicamente feitas de madeira e alvenaria. Apesar de ser muito utilizada na época, a madeira não foi o sistema construtivo adotado para as obras de maiores portes, devido a problemas como durabilidade reduzida e a facilidade que possui em sofrer combustão, com isso a alvenaria foi ganhando espaço.

> A alvenaria pode ser definida como um sistema construtivo que consiste na moldagem de unidades (pedras, tijolos ou blocos) unidas por um ligante (a argamassa). A alvenaria de pedras, é um dos mais antigos sistemas construtivos utilizados pelo homem. (CARVALHO, 2008).

E assim deu-se início a história onde a cal, o cimento e o concreto tornaram-se aglomerantes para argamassas de alvenarias. Segundo Guimarães (1997), vários fatores indicam que a cal surgiu na Idade da Pedra. A mais antiga aplicação da cal como aglomerante foi encontrada na Sérvia, ex-Iugoslávia, em 5600 a.C., porém ela começa a ser utilizada em construções a partir da civilização egípcia. Pode-se então considerar que o cimento, tal qual como utilizamos hoje, teve sua origem datada em 2500 a.C., com a argamassa egípcia constituída por uma mistura de gesso calcinado.

Com o passar do tempo essa nova tecnologia foi difundida pelo mundo. Os romanos antigos eram um povo com uma mentalidade aberta, que aceitava bem as novidades que surgiam. Desde 600 a. C. eles usavam a cal como aglomerante, mas a grande descoberta que impulsionou a engenharia romana e possibilitou criar para as cidades grande infraestrutura, foi a descoberta de um material inovador para a construção, o Opus Caementicium.

Seu principal componente consistia em uma cinza pozolânica que se misturada à argamassa de cal produzia um material com características muito semelhantes ao cimento atual. Vitruvius em sua obra De architectura (27 a.C.) descrevia:

> Há uma espécie de pó que, por sua natureza, possibilita coisas admiráveis. Ocorre na região de Baias ou nos campos das cidades ao redor do monte Vesúvio. Misturado à cal e ao pedrisco, não somente confere firmeza a todo edifício, como, também, ao se construírem diques no mar, solidificam embaixo d'água.

Segundo CARVALHO (2008), o cimento teve fundamental importância para a obtenção de um material impermeável, estanque, resistente e de fácil conformação, tendo sido muito utilizado pelos romanos na construção de seus aquedutos, banhos, estradas, enfim, em suas obras públicas. Em alguns casos, o cimento foi utilizado apenas como aglomerante

criando argamassas estanques, impermeáveis e em outros casos para a obtenção de materiais resistentes (o concreto).

O desenvolvimento do concreto no Império Romano foi notável. Desenvolveu-se o concreto utilizando-se agregados considerados leves e também o concreto reforçado, o mesmo era dotado de barras metálicas, porém eram de bronze, fazendo com que apresentassem muita fissuração. Esse cimento foi utilizado pelos romanos para construir suas pontes, docas, drenos pluviais e aquedutos (CARVALHO, 2008).

Porém, esse concreto criado pelos romanos pouco se assemelha aos concretos usados nos dias atuais. Sua maior utilização foi como argamassa de assentamento, utilizadas nas alvenarias de pedras, mas teve papel fundamental para que a partir dele novos estudos e tecnologias fossem desenvolvidas para chegar ao concreto como temos hoje.

5 TRAÇO DE CONCRETO

Entende-se por estudo de dosagem dos concretos os procedimentos necessários na busca da melhor proporção entre os materiais constitutivos do concreto, mais conhecido por traço de concreto. Essa proporção ideal pode ser expressa em termos de massa ou volume, sendo mais utilizada a proporção em massa seca de materiais, por apresentar maior rigor em suas análises (HELENE & TUTKIAN, 2011).

Qualquer estudo que aborda a dosagem dos concretos tem fundamentos científicos e tecnológicos expressivos, mas sempre tendo como importante etapa uma parte experimental realizada em laboratório ou até mesmo no campo, o que faz com que certos pesquisadores e profissionais considerem a dosagem do concreto mais como uma arte do que uma ciência (MEHTA & MONTEIRO, 2008).

Segundo IBRACON (2009), um estudo de dosagem deve ser realizado na tentativa de obter a mistura ideal e mais econômica. Para se obter tais características é levado em consideração a região em que se encontra e a disponibilidade de materiais, para atender aos requisitos necessários para a mistura. Estes requisitos vão variar de acordo com a complexidade do trabalho a ser realizado e com o grau de esclarecimento técnico e prático do responsável pela confecção do concreto.

No Brasil, ainda não há um texto consensual de como deve ser um estudo de dosagem. A inexistência de um consenso nacional especificado por alguma norma brasileira que normatiza os procedimentos e parâmetros de dosagem tem levado vários pesquisadores a proporem seus próprios métodos de dosagem, (IBRACON, 2009).

Nos dias atuais, deve-se considerar então como materiais passíveis de uso nos concretos e possíveis de serem utilizados num estudo de dosagem os vários tipos de cimentos, agregados miúdos, agregados graúdos, água, e os vários tipos de aditivos existentes.

5.1 Cimento

O nome cimento Portland, foi utilizado por apresentar cor e propriedades como: a durabilidade e solidez. Essas propriedades são características das rochas da ilha de Portland, e assim o mesmo foi difundido e utilizado até hoje por todo o mundo. Segundo ABCP (2002), o cimento Portland constitui grande importância no campo dos materiais de construção, sendo ele altamente empregado por todo o mundo. Possui propriedades aglutinantes,

aglomerantes ou ligantes, tem características de um pó fino que endurece quando entra em contato com a água. Depois que endurece, mesmo que entre em contato novamente com a água, o cimento portland não entre mais em decomposição.

O cimento Portland pode ser de uso geral ou específico, variando de acordo com a resistência que se deseja e a durabilidade necessária. Segundo Souza (1999), o Brasil produz cimento Portland comum, com adições, composto, de alto forno, de alta resistência inicial e pozolânico, podendo ser todos esses tipos resistentes a sulfatos.

5.1.1 Cimento Portland Comum (CP-I)

É conhecido como o Cimento Portland Comum por possuir apenas o gesso, este retarda o início de pega do cimento para que se possa ter mais tempo na hora da aplicação. O CP-I em geral é usado em serviços da construção, quando não são exigidas propriedades especiais do cimento. Não são indicados a exposição de sulfatos ou águas subterrâneas. Sua classe de resistência é de 25 Mpa (ABPC, 2002).

5.1.2 Cimento Portland Comum com adição (CP-I S)

O CP-IS, possui composição igual à do cimento comum, porém adiciona-se material pozolânico em menores quantidades variando de 1 a 5% em massa. Este cimento possui baixa permeabilidade pois tem em sua composição a pozolana. Ele é normatizado pela NBR 5732 (1991).

5.1.3 Cimento Portland Composto (CP - II)

O CP-II é normatizado pela NBR 11578 (1991). Sua composição apresenta mudanças em sua massa total em função da adição de materiais pozolânicos, escórias granulares de alto forno ou materiais carbonáticos.

Este cimento possui resultados considerados bons com relação ao baixo calor de hidratação e o acréscimo da resistência se comparado ao CP-I. É utilizado normalmente em estruturas que requeiram um desprendimento lento de calor ou que possam ser submetidos ao ataque de sulfatos.

5.1.4 Cimento Portland de Alto Forno (CP - III)

Semelhante ao CP-II, porém é acrescido com teor de materiais pozolânicos, escórias granulares de alto forno ou materiais carbonáticos determinados pela NBR 5735 (1991). Através da escória, o cimento apresenta maior durabilidade, impermeabilidade, e resistência elevada. O CP-III possui características menos porosas e de maior durabilidade.

5.1.5 Cimento Portland com Pozolana (CP - IV)

A pozolana é utilizada como adição ou substituição parcial do cimento. Os elementos de pozolana reagem com o hidróxido de cálcio na presença de água em temperatura ambiente, resultando em um composto contendo propriedade aglomerante (ABCP 2002).

O CP-IV é normatizado pela (NBR 5736) e caracteriza-se possuir maior impermeabilidade e durabilidade, apresentando resistência mecânica à compressão maior que o concreto composto pelo Cimento Portland Comum. Por possuir cura lenta, ajuda na sua aplicação em casos de obras com grandes volumes de concreto.

5.1.6 Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP - V ARI)

O CP-V é normatizado pela NBR 5733 (1991), é indicado para ser utilizado nas obras que precisam de resistência inicial elevada com desforma rápida. Sabe-se que no 1º dia ele adquire resistência de 26 MPa e aos 28 dias, possui 53. Isso ocorre pois utiliza-se o calcário e a argila em dosagens diferentes para produzir o clínquer e por possuir moagem mais fina do cimento.

O CP-V ARI é normalmente recomendado para preparar concreto e argamassa que sejam utilizados na produção de artefatos de cimento, como fábricas que fazem blocos para alvenaria, pavimentação, tubos, meio-fio, lajes, postes e elementos arquitetônicos que sejam pré-moldados ou pré-fabricados.

5.1.7 Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (BC)

O cimento BC possui características que retardam o aumento de temperatura em peças que possuam massa elevada de concreto devido ao calor produzido durante a hidratação do cimento, evitando assim que apareçam fissuras originárias da temperatura NBR 13116

(1994), todos os cimentos citados anteriormente podem ser também de baixo calor de hidratação.

5.1.8 Cimento Portland Branco (CPB)

O cimento branco é normatizado pela NBR 2989 (1992). Ele se diferencia dos demais especialmente por possuir coloração branca, advinda da adição de matérias primas com baixas quantidades de óxidos de ferro e manganês em situações mais cuidadosas de esfriamento.

Ele pode ser dividido em dois tipos: estrutural e não estrutural. O estrutural pode ser utilizado em concretos brancos com fins arquitetônicos, possuindo classes de resistência 25, 32 e 40 MPa, parecidos com os outros tipos de cimento. Já o cimento não estrutural não possui indicações de classe podendo ser utilizado em rejuntamento de azulejos e aplicações não estruturais por exemplo (ABCP, 2002).

O cimento branco pode ser utilizado em projetos arquitetônicos, principalmente por garantir acabamento mais fino e delicado, oferecendo também a possibilidade de diversas cores pois podem ser utilizados pigmentos com diversos tipos de coloração na sua composição.

5.2 Agregados

Os agregados utilizados na construção civil podem ser definidos como a matéria-prima mineral bruta ou beneficiada, sendo eles basicamente a areia e a rocha britada. A NBR 7211 (2005), fixa as características exigíveis na obtenção e produção de agregados, miúdos e graúdos, de origem natural, encontrados fragmentados ou resultante da britagem de rochas. Dessa forma, define areia ou agregado miúdo como areia de origem natural ou resultante do britamento de rochas estáveis, ou a mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira ABNT de 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 0,075 mm. Define ainda agregado graúdo como pedregulho ou brita proveniente de rochas estáveis, ou a mistura de ambos, cujos grãos passam por uma peneira de malha quadrada com abertura nominal de 152 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 4,8 mm.

Os agregados devem ser compostos por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, não devem conter substâncias de natureza e em quantidade que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da armadura contra a corrosão,

a durabilidade ou, quando for requerido, o aspecto visual externo do concreto (NBR 7211, 2005).

Segundo IBRACON (2009) entende-se que a melhor proporção entre os agregados disponíveis é aquela que consome a menor quantidade de água para obter um dado abatimento requerido, faz isso considerando a interferência do aglomerante (cimento + adições) na proporção total de materiais. Portanto não se trata de obter a máxima compacidade do esqueleto granular, mas sim de obter o mínimo consumo de água para uma requerida consistência, o que vai resultar na máxima resistência à compressão daquele concreto.

5.3 Água

Segundo FREITAS (2013), a água, também conhecida como solvente universal, tem fundamental importância na preparação e manutenção do concreto. Sua dosagem deve ser realizada de forma precisa pois interfere diretamente nas reações químicas que ocorrem na mistura e, por consequência, nas características técnicas como, resistência e durabilidade das estruturas. Para que cumpra suas funções, a água deve ser adicionada em quantidades adequadas, a depender de cada caso.

A importância do controle de qualidade da água utilizada no concreto é de extrema importância, pois todas as características requeridas para esse concreto estão atreladas às interações dos seus componentes, a água em más condições pode alterar essas características. Segundo FREITAS (2013), a ausência desse controle pode ocasionar fissuras no concreto, que surgem devido à retração que ocorre durante o endurecimento da estrutura. A falta de cura, procedimento de proteção para minimizar a perda de água devido a exposição excessiva ao sol e ao calor também influenciam no fenômeno. Também pode ocorrer um concreto com alto índice de vazios causado por água em demasia.

Para ser incorporada ao concreto a água deve ser potável. A presença de matéria orgânica prejudica a durabilidade da estrutura ou pode resultar no aparecimento de manchas FREITAS (2013). De maneira geral, a água de abastecimento público atende aos critérios necessários, pois segue a NBR 15900 – Água para amassamento do concreto.

6 CLASSIFICAÇÃO DO CONCRETO

O concreto pode ser classificado como estrutural e não estrutural. O estrutural é utilizado na estrutura de uma construção, sendo necessário ter resistência suficiente para suportar as cargas atuantes na estrutura. Já o não estrutural, também conhecido como concreto magro, tem resistência menor e é utilizado em partes não estruturais da edificação (CONSTRUFACILRJ, 2015).

Segundo Grandiski (2015), a norma ABNT NBR 8953:2015 – Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência, é a que está em vigor no Brasil substituindo a versão de 2009. Esta norma pode ser aplicada a concretos de peso leve, normal ou pesado, misturados no canteiro de obras ou usinado, e utilizados em estruturas simples, armadas ou protendidas.

6.1 Classificação por Massa Específica

De acordo com a NBR 8953 (2015), o concreto estrutural pode ser:

- Concreto normal (C): massa específica compreendida entre 2000 a 2800 kg/m³, comumente encontrado nas obras em geral;
- Concreto leve (CL): massa específica abaixo de 2000 kg/m³, obtida utilizando agregados leves;
- Concreto pesado ou denso (CD): massa específica acima de 2800 kg/m³, obtida utilizando agregados de alta densidade.

6.2 Classificação por Resistência

De acordo com a ABNT NBR 8953 (2015), os concretos para fins estruturais são classificados em grupos, de acordo com sua resistência característica à compressão axial (f_{ck}). Os concretos com classe de resistência inferior a C20 não são considerados estruturais.

Tabela 1: Classes de resistência de concretos estruturais.

Classe de Resistência Grupo I	Resistência à compressão MPa	Classe de Resistência Grupo II	Resistência à compressão MPa
C20	20	C55	55
C25	25	C60	60
C30	30	C70	70
C35	35	C80	80
C40	40	C90	90
C45	45	C100	100
C50	50		

Fonte: ABNT NBR 8953 (2015).

6.3 Classificação por Consistência

De acordo com a NBR 8953 (2015), os concretos são classificados por sua consistência no estado fresco determinada a partir do ensaio de abatimento, como mostra a tabela a seguir.

Tabela 2: Classes de consistência.

Classe	Abatimento mm	Aplicações típicas
S10	$10 \leq A < 50$	Concreto extrusado, vibroprensado ou centrifugado
S50	$50 \leq A < 100$	Alguns tipos de pavimentos e de elementos de fundações
S100	$100 \leq A < 160$	Elementos estruturais, com lançamento convencional do concreto

S160	160 ≤ A < 220	Elementos estruturais com lançamento bombeado do concreto
S220	≥ 220	Elementos estruturais esbeltos ou com alta densidade de armaduras

Fonte: ABNT NBR 8953 (2015).

7 TIPOS DE CONCRETO

Existem vários tipos de concreto disponíveis no mercado, e cada um desses tipos possui diferentes características e finalidades. Graças ao aumento da dimensão e da complexidade das construções civis, houve uma necessidade de adaptar o concreto convencional de forma que aumentasse sua qualidade e resistência para alguns casos. Já em outros casos a utilização do mesmo era desnecessária, como por exemplo em pequenas manutenções ou construções em que não se era necessário ter uma grande resistência (PEREIRA, 2016).

Sendo assim, variando os tipos dos materiais e/ou suas quantidades tem-se uma gama de tipos de concreto muito variada que podem ser utilizadas nas construções nos dias atuais. Suas variações e a escolha do tipo de concreto são de acordo com as especificações de cada obra, podendo acarretar em uma diferença favorável ou desfavorável nos custos, aumento na segurança da edificação, diferença no modo de aplicação, entre outras características diferenciais. Alguns dos principais tipos de concretos utilizados nos dias atuais são listados a seguir.

7.1 Concreto Convencional

É o tipo de concreto mais visto e utilizado nas obras de construções. Segundo Pereira (2016), o concreto convencional possui consistência seca e baixa trabalhabilidade, sendo necessário então o uso de vibradores para um adensamento correto. É composto apenas por cimento, areia, brita e água, ou seja, não tem em sua composição nenhum tipo de aditivo.

Ainda segundo Pereira (2016), a resistência do concreto convencional varia de 5 em 5 MPa, e dependendo do traço em que foi elaborado o mesmo pode variar de 10 a 40 MPa. O seu Slump Test, que é o valor que caracteriza a consistência do concreto, varia em torno de 40 mm a 70 mm. Podendo ser usinado ou feito na própria construção com uma betoneira, o

seu lançamento deve acontecer utilizando métodos convencionais, como por carrinhos de mão, gerícas, gruas ou elevadores, mas nunca deve ser bombeado para o seu destino.

7.2 Concreto Bombeável

Assim como o concreto convencional, o concreto bombeável é amplamente utilizado em muitas obras de construções, possuindo características semelhantes ao convencional e algumas vantagens a mais em sua utilização. De acordo com a ABESC (2007), no modo bombeável é utilizada a pressão de bombas para o transporte do concreto. Este é transportado através de tubos rígidos, podendo ser metálicos ou flexíveis, como os de borracha, diretamente do caminhão betoneira até o ponto onde deverá ser despejado. Com isso, o concreto bombeável acarreta em um menor desperdício de material e em uma economia no custo da mão de obra para a aplicação.

Como este tipo de concretagem consegue vencer grandes distâncias horizontais e verticais e possui alta trabalhabilidade e plasticidade, ele acaba sendo ideal para todo tipo e tamanho de obra, principalmente aquelas que trabalham com grandes volumes como barragens, túneis, lajes de edifícios e grandes fundações (ABESC, 2007).

7.3 Concreto Usinado ou Dosado em Central

De acordo com a NBR 7212 (2012), o concreto dosado em central é aquele medido, misturado e transportado em um caminhão betoneira ou algum outro tipo de equipamento, podendo ter ou não agitação e que entrega o concreto antes do início do estado de pega. Após a escolha de uma concreteira que forneça segurança na qualidade do seu material, o concreto deve ser solicitado especificando as quantidades dos seus componentes por metro cúbico, informando a característica da resistência à compressão desejada, e também o tipo e teor dos materiais componentes.

O concreto dosado em central é cada vez mais utilizado graças à crescente busca de obras com qualidade e que sejam econômicas e construídas com rapidez. Segundo a ABESC (2007), existem várias vantagens da utilização desse tipo de concreto, dentre elas:

- Erradicação da perda dos materiais utilizados na fabricação do concreto (cimento, areia, brita);
- Simplificação do número de operários presentes na obra, acarretando na diminuição de gastos com encargos trabalhistas;

- Maior eficácia do trabalho;
- Segurança em relação a qualidade do concreto graças ao rígido controle tecnológico da quantidade dos materiais constituintes da mistura;
- Diminuição das áreas de estoque, resultando em um melhor proveito do canteiro de obras;
- Diminuição do custo total da obra.

7.4 Concreto Armado

O concreto armado é o concreto que possui em seu interior barras de aço, e é o tipo de concreto mais comum no dia a dia. O concreto possui alta resistência aos esforços de compressão, mas apresenta uma baixa resistência à tração (aproximadamente 10% da sua resistência à compressão). Sendo assim, as barras de aço que constituem o concreto armado vêm para suprir essa deficiência e resistir aos esforços de tração. É importante ressaltar que para que o concreto armado seja eficiente, deve-se ter uma aderência entre o concreto e a armadura para que exista uma solidariedade de ambos os lados, possibilitando o trabalho conjunto dos mesmos (BASTOS, 2006).

Segundo Camacho (2008), algumas das vantagens da utilização do concreto armado são:

- Apresenta boa adaptabilidade, favorecendo sua utilização por ser facilmente moldável;
- Apresenta boa durabilidade e resistência em diferentes condições climáticas;
- O concreto é pouco permeável, desde que executado de forma correta, sendo então eficiente em obras hidráulicas;
- Possui boa resistência ao fogo, choques e vibrações;
- As suas características indicam uma maior convicção relacionada a segurança.

Por outro lado, o concreto armado possui como desvantagens:

- Elevado peso próprio, aumentando significantemente o peso da estrutura;
- Transmissão de sons e de calor;
- Recorrente surgimento de fissuras, devendo ser controladas;
- Dificuldade de executar reformas e adaptações na estrutura (CAMACHO, 2008).

7.5 Concreto Protendido

A técnica da protensão do concreto consiste em aplicar um estado prévio de tensões na peça, através de uma compressão precedente na parte que será tracionada por meio de um carregamento externo. Esta técnica aumenta a resistência à tração do concreto armado, possibilitando a construção de grandes vãos, fabricação de pré-moldados como lajes pré-moldadas, e entre outros casos em que o concreto armado convencional não possuiria resistência o bastante (BASTOS, 2006).

7.6 Concreto de Alto Desempenho (CAD)

O Concreto de Alto Desempenho (CAD) é projetado para se obter elevada resistência e durabilidade, possuindo resistência à compressão maior que 40 MPa. Para a fabricação desse tipo de concreto são utilizados aditivos e adições para melhorar suas características, que normalmente são minerais do tipo sílica e superplastificantes. Além do aumento da resistência do concreto, o CAD possui baixa porosidade e permeabilidade, fazendo com que as estruturas fiquem mais resistentes à presença de agentes agressivos. Ainda, suas características aumentarem a vida útil e a rapidez das construções (SILVA, 2010).

7.7 Concreto Auto Adensável (CAA)

Este tipo de concreto é caracterizado principalmente por sua alta fluidez, podendo se mover entre obstáculos preenchendo todos os espaços sem riscos de exsudação e segregação, além de se mover e auto adensar apenas com a ação da gravidade. Para a obtenção do CAA, é preciso adicionar aditivos superplastificantes e utilizar uma alta quantidade de aditivos minerais. Algumas das vantagens de sua utilização são: redução dos custos com mão de obra, maior produtividade, ótimo acabamento e possibilidade de trabalhar com fôrmas pequenas (CAVALCANTI, 2006).

7.8 Concreto Leve

Os concretos leves se diferenciam dos convencionais por possuir uma menor massa específica e melhores características térmicas e acústicas. De acordo com Schwantes (2012), o concreto leve pode ser obtido de três formas. A primeira forma é substituindo o agregado tradicional por um agregado leve. A segunda forma é incorporando ar no concreto, gerando vazios no interior da massa, e tem-se como exemplo o concreto celular que é amplamente utilizado em nivelamento de pisos, paredes e divisórias. E a terceira forma consiste em eliminar o agregado miúdo da mistura, gerando também uma grande quantidade de vazios.

7.9 Concreto Pesado

Segundo Freitas Junior (2013), este tipo de concreto é obtido utilizando-se agregados considerados pesados, como a barita, magnetita e hematita. Estes agregados proporcionam que a massa específica do concreto atinja valores superiores a 2800 kg/m³, o que confere à mistura boas características mecânicas, de durabilidade e de proteção contra radiações. Com isso, o concreto pesado é normalmente empregado em barragens, usinas nucleares, gasodutos e em hospitais como blindagem de radiação.

Apesar de suas vantagens, a trabalhabilidade do concreto fresco pode ser um problema. O concreto pesado possui tendência de segregação do agregado graúdo, e por isso só pode ser bombeado ou transportado por calhas em pequenas distâncias. Como esse concreto possui um aspecto áspero, costuma-se utilizar um teor mais alto de cimento e areia mais fina na mistura (FREITAS JUNIOR, 2013).

8 PROPRIEDADES DO CONCRETO

Quando recém misturado, o concreto deve apresentar propriedades de plasticidade para facilitar o seu transporte, lançamento e adensamento. E após o seu endurecimento, apresentam-se necessárias às propriedades relativas à resistência à compressão e à tração, módulo de deformação, entre outros (AVELINO, 2011).

8.1 Propriedades do concreto fresco

8.1.1 Trabalhabilidade

Segundo Tattersall, (1983), o termo trabalhabilidade é usado como forma de envolver todas as qualidades necessárias para o concreto fresco, incluindo a estabilidade, ou seja, capaz de resistir à segregação e a exsudação. Tal propriedade varia de acordo com a empregabilidade do concreto.

A ASTM – *American Society for Testing nad Materials* - define a trabalhabilidade como a propriedade que determina o esforço exigido, com perda mínima de homogeneidade, para as operações de lançamento, adensamento e acabamento de uma quantidade de concreto (METHA; MONTEIRO, 2008).

A trabalhabilidade é a característica fundamental para que o concreto seja bem adensado, ou seja, é a adequação da consistência ao processo utilizado para o lançamento de adensamento (GIAMUSSO, 1992).

Mais explicitamente temos que, a trabalhabilidade é uma propriedade do concreto fresco que se refere a sua capacidade de ser facilmente misturado, transportado, lançado e vibrado, mantendo sua homogeneidade, evitando assim a segregação. Independente do procedimento de dosagem do concreto, a trabalhabilidade é muito importante, pois está

diretamente relacionada com o custo, sendo que um concreto com baixa trabalhabilidade torna-se trabalhoso o lançamento e adensamento, parafraseando Reis (2008).

8.1.2 Consistência

A água presente na liga dos grãos admite o movimento das partículas, formando assim uma película de água envolta da superfície sólida, eliminando assim o atrito interno entre as partículas e fazendo com que a mistura se deforme por qualquer método de adensamento. Tal propriedade é chamada de consistência.

A demanda necessária de água no concreto é em função da área superficial total das partículas de material sólido, que são o cimento e agregado, e da consistência esperada. Para diminuir a quantidade necessária de água, é preciso aumentar o tamanho do agregado, diminuindo assim a área total das partículas (GIAMUSSO, 1992).

Segundo Araújo, Rodrigues e Freitas (2000), o concreto pode ser classificado em função de sua consistência em:

- Seco ou úmido - quando a relação água/materiais secos é baixa, entre 6 e 8%;
- Plástico - quando a relação água/materiais secos é maior que 8 e menor que 11%;
- Fluido - quando a relação água/materiais secos é alta, entre 11 e 14%.

Ainda segundo Araújo, Rodrigues e Freitas (2000), um concreto com boa resistência plástica deve oferecer maior facilidade para ser moldado e deslizar entre as armaduras, não podendo ocorrer separação de seus componentes. Esse tipo de concreto é o mais utilizado nas obras em geral. A consistência é utilizada para indicar o índice de mobilidade ou fluidez do concreto fresco podendo ser medida pelo ensaio de abatimento de tronco de cone ou pelo Aparelho Vebe.

Para realização do ensaio de abatimento de tronco de cone, o cone deve estar úmido na parte interna e colocado sobre uma chapa metálica, que também deverá estar úmida. Assentado firmemente sobre a chapa deve-se encher o cone com concreto em três camadas iguais. “Cada camada é confeccionada aplicando 25 golpes utilizando uma barra metálica de 5/8” (16mm). Após preencher totalmente o cone, o mesmo deve ser retirado verticalmente, medindo-se o abatimento da amostra (Araújo, Rodrigues e Freitas, 2000).

8.1.3 Coesão

Coesão é a medida da facilidade de adensamento e de acabamento, a qual é geralmente avaliada por facilidade de desempenar e julgamento visual da resistência à segregação (METHA & MONTEIRO, 1994).

De acordo com Duran e Fracaro (2011), denomina-se concreto coeso aquele que apresenta uma homogeneidade e sem a separação de materiais da mistura em todas as suas fases de utilização, tanto na produção, transporte, lançamento, quanto no adensamento durante a concretagem. Constantemente para se conseguir uma mistura com coesão adequada, é necessário fazer várias misturas experimentais com proporções diferentes de agregados graúdos e miúdos, pois é a proporção de partículas finas que fazem com que a mistura fique coesa.

8.1.4 Segregação e exsudação

A segregação é definida como sendo a separação dos componentes do concreto fresco de tal forma que a sua distribuição não é mais uniforme (METHA & MONTEIRO, 1994). As diferenças de tamanho das partículas e da massa específica dos componentes constituem a causa primária da segregação, podendo ser controlada pela escolha de granulometria adequada e pelo cuidado no manuseio (NEVILLE, 1997).

Segundo METHA; MONTEIRO (1994) existem dois tipos de segregação, a separação dos agregados da argamassa, característica de concreto seco e a exsudação, característica do concreto muito fluido. Não existem ensaios para medida da segregação, a observação visual e a inspeção por testemunhos extraídos do concreto endurecido são, geralmente, adequados para determinar se a segregação é um problema em uma dada situação (METHA & MONTEIRO, 1994).

Quando o concreto, devido à falta de finos, não consegue reter a água, essa sobe, acumulando-se na superfície livre do concreto ainda fresco (GIAMUSSO, 1992). Tal fenômeno é demonstrado com o surgimento de água na superfície do concreto, após ter sido lançado e adensado. A quantidade e a velocidade da exsudação dependem da dosagem do concreto, do teor de água, da temperatura, da finura do cimento, da granulometria do agregado e da ação de certos aditivos (ADRIOLO, 1984).

8.2 Propriedades do concreto endurecido

8.2.1 Resistência à compressão

A resistência de um material é dada como a capacidade de resistir à tensão sem se romper. No concreto, a resistência está relacionada à tensão necessária para causar a ruptura, definida como tensão máxima que a amostra do concreto pode suportar (METHA; MONTEIRO, 2008). Os ensaios de resistência à compressão seguem a NBR 5739/2007 para a normatização do seu exercício.

Os fatores que influenciam a resistência do concreto são:

- Tipo de cimento;
- Relação água/cimento;
- Idade;
- Temperatura; relação agregado/cimento;
- Tamanho máximo do agregado.

A relação água/cimento está proporcionalmente ligada à porosidade, sendo que quanto menor a relação água/cimento, menor será a porosidade da mistura, tornando-a mais resistente, relacionada à resistência mecânica e a durabilidade desejável do concreto. A relação agregado/cimento é importante no fator da resistência mecânica, pois como o agregado apresenta uma resistência maior que a da pasta, quanto maior a proporção de agregado, maior será a resistência do concreto (GIAMUSSO, 1992).

A resistência do concreto depende principalmente da relação água/cimento, sendo que, quanto maior for essa relação, maior será a resistência do concreto, sendo necessário ter um mínimo de água suficiente para reagir com o cimento da mistura dando ao concreto melhor trabalhabilidade. A resistência mecânica relacionada com proporção água/cimento pode ser obtida através da Curva de Abrams.

8.2.2 Resistência à tração na flexão

Segundo Avelino (2011) apud ABCP (1998), a resistência à tração é uma propriedade geralmente utilizada para avaliar o comportamento de pavimentos rodoviários e de aeroportos, avalia também lajes e vigas, em que o regime de solicitações em serviço provoca fadiga à tração na flexão. A resistência à tração é dependente de várias causas, mas um dos fatores de maior importância é a aderência dos grãos dos agregados com a argamassa.

Segundo Farias, et al (1997), compressão e tração são propriedades do concreto fortemente relacionadas, porém, tais propriedades não possuem proporcionalidade direta. Dessa forma à medida que a resistência à compressão aumenta a resistência à tração aumenta gradativamente. Para se obter um resultado confiável em um ensaio de tração do concreto existem algumas dificuldades, entre elas o próprio concreto, sendo este um material heterogêneo e que está sujeito ao aparecimento de deformações e tensões locais.

8.2.3 Permeabilidade e absorção

A permeabilidade é a propriedade que identifica a possibilidade de passagem da água através do material. Essa propriedade acontece em virtude de a água utilizada para mistura do concreto ser dosada em excesso a fim de conferir uma consistência, sendo depois liberada, formando redes de poros (ALVES, 1993).

Segundo Prudêncio Junior (2005), baixas relações de água/cimento, utilização de agregados com teor maior de finos e substituição parcial do cimento por pozolanas contribuem para a obtenção de concretos com baixa permeabilidade e absorção. Outra definição é a de Petrucci (1978), que diz que o concreto é um material poroso, que devido à impossibilidade de completo preenchimento sua totalidade de vazios contidos nos agregados com uma pasta de cimento, ocorrendo por variadas razões, mas principalmente, o uso de quantidade de água superior a necessário e no processo de mistura o ar é agrupado a massa do concreto.

8.2.4 Porosidade

O concreto é um material poroso, devido não ser possível o preenchimento da totalidade dos vazios do agregado com uma pasta de cimento. Isso ocorre por diversas razões (PETRUCCI, 1978):

- Necessariamente, utiliza-se uma quantidade de água superior àquela que se precisa para hidratar o aglomerante; e essa água, ao evaporar, deixa vazios;
- Os volumes absolutos de cimento e água que entram em reação diminuem com a combinação química;
- Durante a mistura, o ar é incorporado à massa do concreto.

Segundo Freire (2005), é através dos poros do concreto que substâncias químicas são transportadas ao seu interior. Sendo assim, dois termos são levados em consideração: os

poros comunicantes, que possuem a capacidade de transportar líquidas e substâncias nocivas (porosidade relevante) e a distribuição do tamanho dos poros.

O tamanho dos poros na pasta de cimento possui diversos tamanhos, podendo ser classificados em poros de ar aprisionado (de acordo com o processo de adensamento), poros de gel (devido à água de gel) e poros capilares (criados a partir da saída de água livre do concreto). Esses três tipos de poros possuem maior importância na durabilidade do concreto. O concreto tende a ter uma resistência menor às influências químicas e físicas ambientais com o aumento da quantidade de poros no seu interior.

8.2.5 Retração

Segundo Avelino (2011) apud (NUNES (2007); GIAMUSSO (1992); ANDRIOLLO (1984)), retração do concreto de cimento Portland é a redução de seu volume ao longo do tempo e está associada, principalmente, à perda de água para o ambiente externo. Tais retrações podem ser plásticas, por secagem e autógena. A retração plástica ocorre devido à perda de água capilar por secagem. É afetada, primeiramente, pelo teor de água utilizado no concreto. As características que interferem no aparecimento da retração são: a quantidade e qualidade da pasta, a dosagem e as condições de cura.

O encolhimento da massa de concreto provoca tensões de tração e por consequência, fissuras. A retração plástica provoca fissuras do tipo (AVELINO 2011):

- Mapeadas;
- Acompanhando armadura ou outra inclusão no concreto;
- Acompanhando mudanças de seção;
- Diagonais.

De acordo com Avelino (2011), apud METHA; MONTEIRO (2008); NEVILLE (1997); NUNES (2007), a fissuras por retração plásticas são fissuras paralelas entre si, distanciadas de 0,3m, com profundidade entre 25mm e 50mm. Possuem abertura entre 0,1mm e 3mm e podem ser muito curtas ou com até 1m de comprimento. Tal como a retração plástica, a retração por secagem é provocada pela perda da água da pasta do cimento como consequência das trocas de umidade com o meio ambiente. A retração autógena é a redução de volume do material cimentício na hidratação do cimento, após o início da pega. Essa retração surge após a remoção de umidade dos poros capilares pela hidratação do cimento ainda não hidratado.

8.2.6 Fluência

Segundo Poletto (2015) apud METHA; MONTEIRO (2008); define a fluência como o aumento gradual da deformação ao longo do tempo sob um dado nível de tensão constante. Essa manifestação é típica de materiais viscoelásticos e é um dos principais causadores das patologias resultantes do envelhecimento das estruturas.

Os fatores que influenciam na fluência são (SOUZA, 2007):

- Quantidade de pasta do concreto;
- Idade do carregamento;
- Relação tensão/resistência;
- Perda de umidade do concreto.

8.2.7 Durabilidade

A durabilidade do concreto pode ser definida como sendo a capacidade de resistir à ação do tempo, a ataques químicos, à abrasão ou a qualquer outra ação que possa deteriorá-lo. Entretanto, a durabilidade depende de qual ataque, físico ou químico, a qual o concreto está sujeito após o seu endurecimento, devendo ser analisado com cautela antes de escolher os materiais e a dosagem.

Alguns fatores podem afetar a durabilidade do concreto. Entre eles, estão (Avelino, 2011):

- Característica dos materiais utilizados no concreto;
- Composição do concreto;
- Condições de exposição;
- Ações mecânicas, movimentação de origem térmica, impactos, ações cíclicas, retração, fluência e relaxação;
- Práticas usadas durante a construção;
- Critérios de projeto.

De acordo com Petrucci (1978) e Adriolo (1984), a durabilidade é garantida pela baixa permeabilidade, dificultando assim o acesso da água ao interior da massa de concreto. Para conseguir tal característica, deve-se aumentar a compacidade através de um estudo cuidadoso de granulometria, consumindo o mínimo de cimento e baixando a relação

água/cimento. Para ter um concreto durável, este deve ser bem adensado, ter baixa permeabilidade, baixa absorção, baixa retração e não ter trincas.

9 CURIOSIDADES DO CONCRETO

Encontrados sempre de forma abundante na natureza, a madeira e a pedra natural foram os primeiros materiais utilizados nas construções. Porém, devido a crescente necessidade de conformação de peças diferentes e devido à baixa resistividade da madeira em relação à água, houve uma crescente busca por um material que pudesse substituir os materiais naturais e que conferisse uma maior resistividade. Intitulado de pedra artificial, o concreto foi amplamente estudado e difundido desde sua primeira utilização no século 27 a.C., como foi mencionado por Carvalho (2008):

> O desenvolvimento tecnológico do concreto durante o Império Romano foi notável. Desenvolveram o concreto com o uso de agregados leves como o usado na cobertura do Pantheone o concreto reforçado com barras metálicas. Os romanos usaram esse cimento na construção de suas pontes, estradas, docas, drenos pluviais e aquedutos; edificaram aquedutos que levavam água limpa até as cidades e também desenvolveram complexos sistemas de esgoto para dar vazão à água servida e aos dejetos das casas.

O concreto utilizado pelo império Romano difere-se do concreto atual, mas a sua excelente técnica e aplicação coloca o Pantheon (Figura 1) como uma das obras de concreto mais importantes e pioneiras da história, por ser o único edifício que ainda se encontra em perfeito estado de conservação.

Figura 1: Planta esquemática e detalhes do Pantheon Romano.

Fonte: Carvalho apud PANTHEON..., [2006, 2008 a, 2008b].

Ainda com o intuito de moldar a criatividade construtiva do homem, houveram vários estudos e técnicas para melhorar o uso do concreto no decorrer dos séculos. O concreto utilizado e conhecido atualmente emprega o cimento Portland e sua primeira aplicação se deu em 1825, na construção de um túnel sob o rio Tamisa (Figura 2) que ainda se encontra em uso nos dias atuais. Porém de maneira tímida foi a sua primeira utilização, pois se deu devido ao acidente ocorrido durante a construção do túnel, que vitimou vários trabalhadores quando parte do teto foi desabado. A substituição do concreto anteriormente utilizado, pelo concreto com cimento Portland para o término da construção, favoreceu para o sucesso da obra. (CARVALHO, 2008 apud BRUNEL, 2007).

Figura 2: Tunel sob o rio Tamisa: imagens da época e atual.

Fonte: CARVALHO, 2008 apud BRUNEL, 2007.

Nos dias atuais é possível perceber a presença marcante do concreto em vários elementos construtivos, desde vasos de cimento para ornamentação à grandes estruturas como usinas hidroelétricas e nucleares. Isso se dá devido ao fato da característica do concreto ser altamente maleável antes do seu endurecimento, podendo então ser aplicado na fabricação de uma gama de produtos. Por ser um material altamente difundido e utilizado, “é estimado que,

anualmente, são consumidos 11 bilhões de toneladas de concreto, onde segundo a Iberoamericana de Hormigón Premesclado (FIHP), dá um consumo de 1,9 toneladas de concreto por habitante por ano" (LIMA et. al., 2014 apud PEDROSO, 2009).

O concreto com Cimento Portland é considerado o material mais consumido pelo homem no mundo depois da água e no Brasil não é diferente, pois o concreto é tido como o fundamental e principal material consumido nas construções (HELENE e ANDRADE, 2010). Devido à facilidade na montagem e execução das obras, fez com que o consumo do concreto no Brasil crescesse em números alarmantes, assim como afirma Lima (2014): "No Brasil, o concreto que sai de centrais dosadoras gira em torno de 30 milhões e metros cúbicos, incluindo que esses números crescem surpreendentemente a cada ano com o rápido crescimento urbano das cidades brasileiras. "

Visto com bons olhos, a utilização do concreto levou grandes potências econômicas a considerar os estudos sobre esse material são de extrema importância. Iniciando em 1989, a National Science Foundation nos Estados Unidos e o National Research Council no Canadá financiaram os programas para melhor conhecer as estruturas de concreto. Utilizando a mesma ideia, sabe-se que a FHWA Federal Highway Administration nos Estados Unidos e a Comunidade Europeia também investem no conhecimento deste material (HELENE e ANDRADE, 2010).

Percorrendo o mundo nos últimos anos, o concreto teve sua fama difundida tanto em forma de publicações científicas com as suas inovações, como também em exposições em museus. As apresentações mais conhecidas segundo o livro Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais ocorreram:

> Em 2005/2006, o National Building Museum, em Washington, Estados Unidos, apresentou a exposição New Architecture in Concrete (nova Arquitetura em Concreto), carinhosamente chamada de "liquid stone" (pedra líquida) com 30 inovações no campo da tecnologia e das estruturas de concreto. Na França, o Musée des Arts et Métiers, em Paris, esteve apresentando de 2005 a 2007, a maravilhosa exposição "Bétons: étonnez-vous!" (Concreto: surpreendeivos!), onde é possível admirar-se com a história e a contribuição do concreto à melhoria da saúde e da qualidade de vida dos povos.

Dentre as referências na evolução das estruturas em concreto, a admirável estátua do Cristo Redentor (Figura 3) no Rio de Janeiro é considerada um marco turístico brasileiro e eleita uma das 7 maravilhas do mundo moderno, foi produzida em 1931 em concreto armado montada "in loco" (HELENE e ANDRADE, 2010).

Figura 3: Monumento ao Cristo Redentor no Rio de Janeiro.

Fonte: Wikipedia.

Outro marco de construção em concreto é a torre mais alta já construída até o dia de hoje, totalmente em estrutura de concreto protendido com 555m de altura da CN Tower em Toronto –Canadá (Figura 4) (HELENE e ANDRADE, 2010).

Figura 4: CN Tower

Fonte: Perkopolis.

Superando todas as expectativas, os Emirados Árabes lançaram a estrutura mais alta do mundo com cerca de 750m de altura, em concreto. O edifício Burj Khalifa conta com 160

andares habitáveis, que necessitou de 330 mil metros cúbicos de concreto e 39.000 toneladas de vergalhões de aço e a sua construção consumiu 22 milhões de homens-horas, além de suas paredes centrais mais altas terem utilizado concreto bombeado de 80MPa (BUILDING, 2016).

Figura 5: Burj Khalifa

Fonte: Wikipedia.

10 MATERIAIS E MÉTODOS

A mistura dos traços de concreto foi produzida no laboratório da empresa MIX MATTAR, do grupo Pedreira Mattar, que possui sua localização na cidade de Teófilo Otoni - Minas Gerais. Os materiais necessários para realização do traço de concreto foram disponibilizados pela própria concreteira, sendo estes:

- Colheres de pedreiro;
- Recipientes para coleta e pesagem dos materiais a serem colocados na betoneira;
- Agregado graúdo (Brita 1);
- Agregado miúdo (areia);
- Água
- Aplainador;
- Balança;
- Bastão;
- Betoneira de 30 quilos;
- Caixa d'água;
- Carro de mão;
- Chapa de aço;
- Cimento CPIII-40;
- Colher;
- Escova de aço;
- Fogareiro;
- Fôrma (10cm X 20 cm);
- Panela de metal;
- Prensa hidráulica;
- Tabuleiro;
- Tronco de cone;

Primeiramente ocorreu a verificação da granulometria e da umidade do agregado miúdo. Diante disso, foi coletada uma amostra de areia disponibilizada pela concreteira Mix Mattar para se realizar o traço de concreto (Figura 6). A coleta foi feita de acordo com as normas NBR NM 26 e 27.

Figura 6: Coleta da amostra da areia

Fonte: Próprio Autor.

Para fazer a análise do agregado miúdo, separou-se 1000g da areia coletada em um tabuleiro que foi colocado sobre a balança (Figura 7). Em seguida, utilizou-se uma panela e uma colher sobre o fogareiro, para a secagem da areia realizando movimentos circulares para a homogeneização da areia como um todo, assim o calor vaporize toda a água, se tornando totalmente seca. Esse procedimento foi realizado para que posteriormente soubéssemos o seu teor de umidade, adquirido através da diferença entre a quantidade de areia seca (Figura 8) e úmida, e pudéssemos assim, majorar a quantidade de água necessária para o traço de concreto. O cálculo da umidade é feito seguindo a NBR 9939 (1987).

Figura 7: Pesagem da areia úmida.

Fonte: Próprio Autor.

Figura 8: Pesagem da areia seca.

Fonte: Próprio Autor.

Com o traço de concreto em mãos, houve a necessidade de dividir a realização do mesmo em três etapas, devido ao fato da betoneira ter capacidade de apenas 120 litros.

Primeiramente foi feita a etapa inicial do traço de massa, com as quantidades de cimento, areia, brita e água, respectivamente de 10,00 Kg, 14,70 Kg, 25,10 kg e 4,6Kg As figuras correspondentes as pesagens dos materiais encontram-se a seguir. As etapas seguintes foram repetidas utilizando a mesma quantidade de material.

Figura 9: Pesagem do Cimento para a realização do Traço de concreto

Fonte: Próprio Autor.

Figura 10: Pesagem da areia para a realização do Traço de concreto

Fonte: Próprio Autor.

Figura 11: Pesagem da Brita para a realização do Traço de concreto

Fonte: Próprio Autor.

Com o fim da mistura, foi realizado o Slump test – teste de abatimento do concreto, realizado segundo a NBR NM 67/1998. Em seguida, com o auxílio de uma espátula e com o bastão, houve o preenchimento de formas com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura com a mistura de concreto feita. A realização do adensamento e da vibração do material nos corpos de prova seguiram a NBR 5738/2008.

Ao todo foram moldados 24 corpos de prova com o traço de massa no primeiro dia e estes foram colocados isolados em um local de superfície horizontal, sendo estes livre de vibrações e protegido a intempéries, por 24 horas. Após totalizar as 24 horas, houve o desmolde dos corpos de prova. Os mesmos foram devidamente identificados e armazenados em uma câmara úmida, até os dias de rompimento.

Para realização do traço de concreto de volume também foi necessário dividir a quantidade de materiais em três etapas, pois a betoneira utilizada não suportaria misturar todo o material de uma só vez. Todas as etapas para a confecção desse traço seguiram os procedimentos já mencionados anteriormente.

A realização do rompimento do corpo de prova tem o objetivo de definir o valor da resistência do concreto à compressão. Antes de se fazer o rompimento é necessário realizar a retificação do corpo de prova, que de acordo com a NBR 5738/2008, consiste em retirar, por meios mecânicos uma fina camada de material. Tal operação é normalmente executada em maquinas adaptadas para esse procedimento. Ainda de acordo com a NBR 5738/2008, a retificação deve ser feita de forma a garantir a integridade estrutural das camadas adjacentes à camada removida, proporcionando uma superfície lisa e livre de ondulações e abaulamentos.

Figura 12: Retífica faceadora para corpo de prova.

Fonte: Próprio autor.

Após a realização da retificação dos corpos de prova, tanto de massa quanto de volume, foi realizado os rompimentos dos mesmos em uma máquina de ensaio a compressão ou prensa hidráulica, e esse rompimento foi realizado na própria empresa MIX MATTAR. Para se obter uma maior aproximação da realidade, foram rompidos três corpos de prova, de massa e volume respectivamente, nos dias em que a norma menciona o rompimento.

Figura 13: Prensa hidráulica.

Fonte: Próprio autor.

11 RESULTADOS E DISCUSSÃO

11.1 Teste de umidade do agregado miúdo

Antes de determinar qual será o traço do concreto, deve-se primeiramente saber qual o teor de umidade presente no agregado miúdo, pois de acordo com este valor que a proporção de água no traço é corrigida para o valor desejado. Após o teste, constatou-se que o agregado miúdo possuía aproximadamente 3% de umidade.

11.2 Determinação do traço de concreto

De acordo com a umidade obtida do agregado, o programa calculou o traço de acordo com a resistência do concreto que se quer obter, que neste caso foi 35 MPa. Após a inserção do valor da resistência requerida, obteve-se então os seguintes traços:

1) Traço em peso dos materiais secos - 1 : 1,43 : 2,51 : 0,5;
2) Traço em peso dos materiais úmidos - 1 : 1,47 : 2,51 : 0,46;
3) Traço em volume úmido - 1 : 1,75 : 2,60 : 0,66.

Sendo assim, fez-se então 24 corpos de prova do traço 2 e 24 do traço 3.

11.3 Teste de abatimento e confecção dos copos de prova

Após a confecção do concreto, foi realizado o teste de abatimento para cada um dos traços, que obtiveram resultados parecidos:

- Abatimento pelo traço em peso úmido: 6,5 cm;
- Abatimento pelo traço em volume úmido: 7 cm.

Os dois traços apresentaram então valores próximos e uma boa trabalhabilidade.

Figura 14: Teste de abatimento para o traço em peso úmido.

Fonte: Próprio autor.

Figura 15: Teste de abatimento pelo traço em volume úmido.

Fonte: Próprio autor.

O concreto utilizado para o teste de abatimento foi devolvido ao carrinho de mão, onde misturou-se bem todo material e finalmente confeccionou-se os 24 corpos de prova para cada traço. Após prontos, foram transferidos para um local seguro onde permaneceram até o dia seguinte, em que foram desenformados e colocados imersos em uma caixa d'água. Todos os moldes para os corpos de prova utilizados foram devidamente limpos e banhados a óleo após a este processo.

11.4 Análise da resistência dos corpos de prova

Para se obter os resultados de resistência à compressão do concreto realizados nos laboratórios da Mix Mattar, todos os procedimentos indicados pela norma NBR 5739/2008 foram realizados.

Os corpos de prova foram retificados e conduzidos à prensa hidráulica, como mostrado nas imagens abaixo.

Figura 16: Corpos de prova retificados.

Fonte: Próprio autor.

Figura 17: Corpo de prova rompido.

Fonte: Próprio autor.

O rompimento dos corpos de prova expressos em termos de peso úmido e em volume úmido estavam previstos para ocorrer nos dias 3º, 7º, 14º, 28º e 60º após a confecção dos mesmos. Devido à contratempos ocorridos, alguns corpos de prova foram rompidos em dias aproximados aos sugeridos pela norma.

Para cada idade foram submetidos à análise três corpos de prova referentes a cada traço de concreto para que se pudesse fazer uma média aritmética, uniformizando assim os resultados.

Depois de medida a resistência à compressão dos corpos de prova com o auxílio da prensa hidráulica, os valores obtidos foram divididos pela seção transversal do corpo de prova, possuindo diâmetro de 10 cm e altura 20 cm. Posteriormente dividiu-se os resultados pelo valor da aceleração da gravidade (9,81 m/s²) e multiplicou o resultado por 100. Os dados obtidos se encontram nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3: Resultados dos ensaios de compressão axial do traço em peso úmido.

Idade (dias)	Resistência (KN)	Resistência (MPa)	Resistência média (MPa)	Percentual em relação à 35 MPa (%)
3	167,90	21,79	21,21	60,6
	158,21	20,53		
	164,32	21,32		
7	212,87	27,63	26,85	76,71
	219,98	28,55		
	187,77	24,37		
14	258,06	33,49	30,63	87,51
	198,70	25,79		
	251,28	32,61		
28	269,25	34,95	34,48	98,51
	254,86	33,08		
	272,82	35,41		
60	240,05	31,16	37,61	107,46
	302,74	39,29		
	326,45	42,37		

Fonte: Próprio autor.

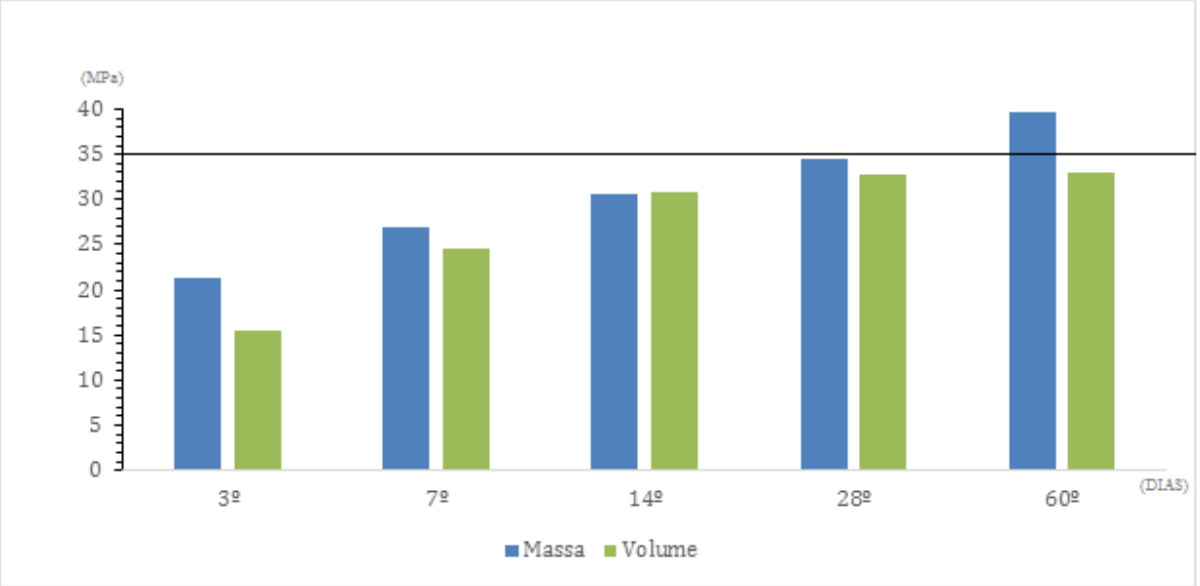
Tabela 4: Resultados dos ensaios de compressão axial do traço em volume úmido.

Idade (dias)	Resistência (KN)	Resistência (MPa)	Resistência média (MPa)	Percentual em relação à 35 MPa (%)
3	106,86	13,87	18,58	53,08
	158,21	20,53		
	164,32	21,33		
7	176,02	22,85	24,56	70,17
	196,86	25,55		
	194,91	25,29		
14	236,77	30,73	30,90	88,28
	217,01	28,17		
	260,34	33,79		
28	213,14	27,66	32,70	93,43
	271,73	35,27		
	270,97	35,17		
60	252,06	32,71	32,97	94,2
	236,52	30,70		
	273,60	35,51		

Fonte: Próprio autor.

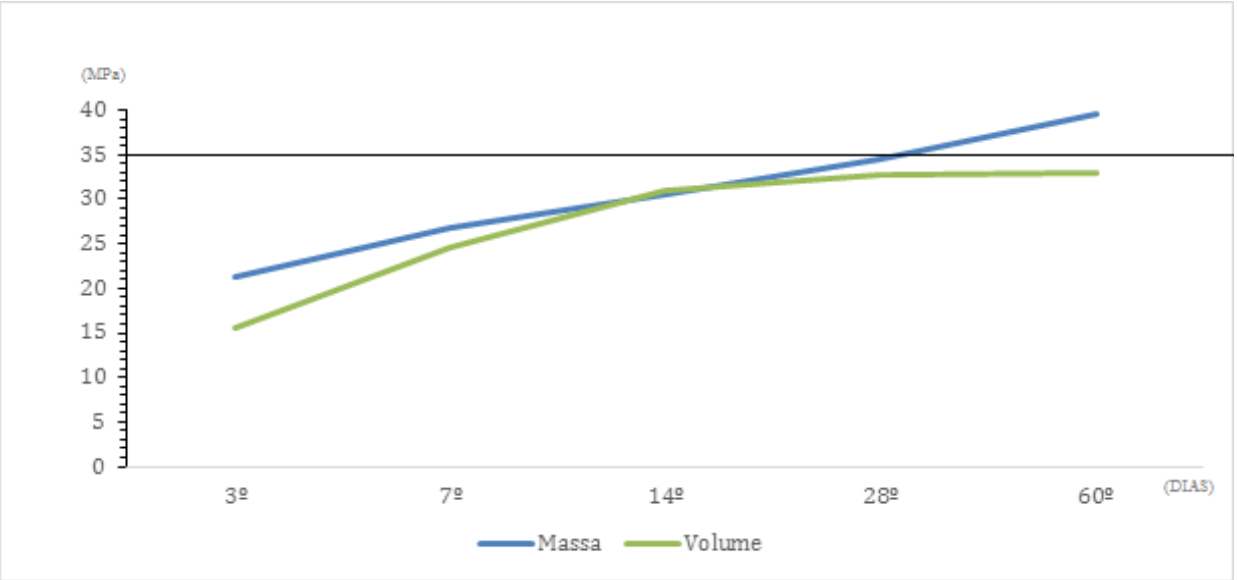
Com a obtenção dos resultados de resistência à compressão gerou-se os gráficos abaixo, onde fez-se a análise do aumento da resistência em função do tempo de cura do concreto.

Figura 18: Comparativo de resistência por idade para os concretos ensaiados.



Fonte: Próprio autor.

Figura 19: Comportamento dos concretos ensaiados ao longo do tempo.



Fonte: Próprio autor.

Para questões de comparação entre os resultados obtidos através da ruptura dos corpos de prova e os resultados teóricos estabelecidos pela NBR 6118, seção 12.3.3, temos que:

- Quando a verificação se faz em data j igual ou superior a 28 dias, adota-se a expressão

$$f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c$$

- Quando a verificação se faz em data j inferior a 28 dias, adota-se a expressão

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{j} \cong \beta_1 \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

Sendo β_1 a relação f_{ckj}/f_{ck} dada por:

$$\beta_1 = exp\left\{ s\left[1 - \left(\frac{28}{t}\right)^{1/2}\right]\right\}$$

Onde:

s = 0,38 para concreto de cimento CPIII, utilizado neste trabalho.

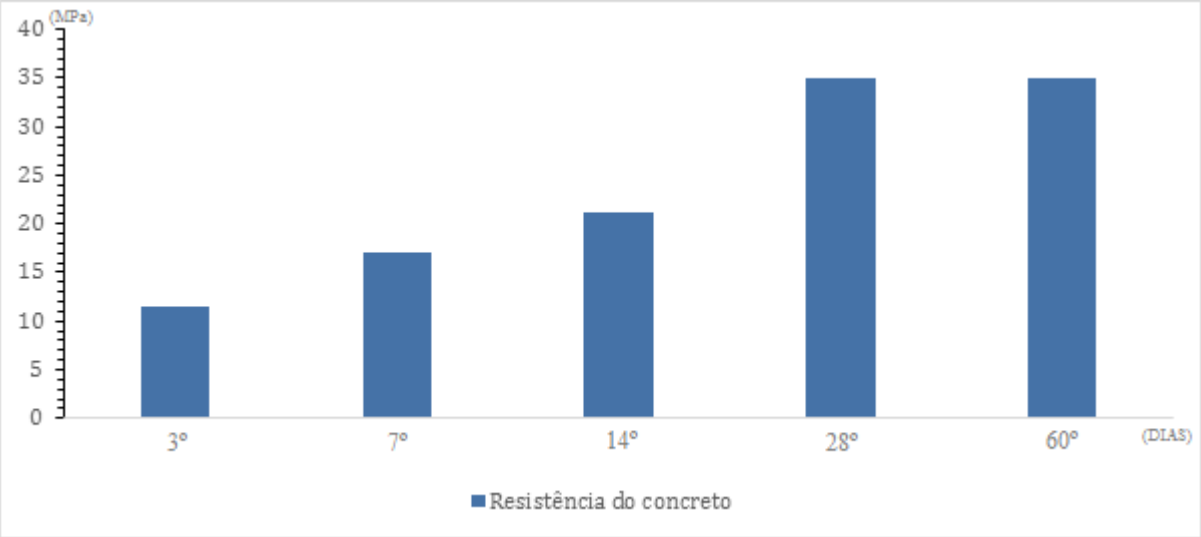
Os cálculos foram realizados para os dias 3º, 7º, 14º, 28º e 60º e os resultados para β_1 se encontram na tabela abaixo:

Tabela 5: β_1 para cimento tipo CP - III

t (dias)	β_1
3	0,46
7	0,68
14	0,85
28	1,0

Fonte: Próprio autor.

Figura 20: Resistência à compressão esperada ao longo do tempo para um concreto de 35Mpa.



Fonte: Próprio autor.

Após análise dos resultados obtidos, verificou-se que os corpos de prova, tanto para os traços em peso úmido quanto volume úmido aproximaram-se do esperado, entretanto não atingiram a resistência necessária de 35 MPa ao dia 28º, quando este deve atingir 100 % da sua resistência.

12 CONCLUSÃO

Sabendo-se da importância do estudo do comportamento do concreto ao longo do tempo, o presente trabalho cumpriu os objetivos propostos. As etapas do processo de produção foram desenvolvidas mediante as normas pertinentes da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, atendendo a medida do possível os requisitos necessários para obter os resultados finais da resistência à compressão do concreto.

O presente trabalho concerne uma verificação do valor de fck referente ao concreto de classe C35, a partir de uma planilha do cálculo do traço de concreto, que informa a dosagem correta dos materiais de acordo com as características dos elementos que irão compor o concreto. Para que isto aconteça, foram fabricados corpos de prova com o traço estabelecido e analisados as suas resistências de acordo com os dias após sua mistura.

Através da análise feita ao longo do trabalho, pode-se perceber que os resultados obtidos foram próximos do esperado, pois atingiram aproximadamente a resistência esperada ao 28˚ dia de 35 MPa.

12.1 Proposta para trabalhos futuros

Como sugestão para estudos futuros, recomenda-se que as resistências de um maior número de corpos de prova sejam avaliadas, a fim de que os valores discrepantes que surgirem na análise não afetem significantemente os resultados. Além disso, sugere-se que o menor e o maior valor obtido nos rompimentos sejam desprezados, afim de que impossibilite que os corpos de prova defeituosos façam parte da média ponderada final seja descartada.

13 REFERÊNCIAS

ADRIOLO, F. R. **Construções de concreto.** São Paulo: PINI, 1984. 738p**.**

ALMEIDA, Luiz Carlos de. **Concreto:** Notas de aula da disciplina AU414 - Estruturas IV– Concreto armado. Universidade Estadual de Campinas, 2002.

ARAÚJO, José Milton de. **Estruturas de Concreto:** A resistência à compressão e critérios de ruptura para o concreto. Rio Grande: Dunas, 2001.

ARAÚJO, R.C.L.; RODRIGUES, L.H.V.; FREITAS, E.G.A. **Materiais de construção**. Rio de Janeiro, 2000. (Apostila).

ASAMIX. **Saiba qual concreto usar em sua obra conforme a aplicação.** 2015. Disponível em: <http://www.asamix.com.br/o-melhor-concreto-bombeado-para-cada-tipo-de-obra-em-belo-horizonte-e-regiao-metropolitana/>. Acesso em: 18 maio 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM DO BRASIL. **Manual do concreto dosado em central**. São Paulo, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento portland**. 7.ed. São Paulo, 2002. 28p. (BT-106).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Pesquisa inédita e exclusiva revela cenário do mercado brasileiro de concreto.** 2013. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/cms/imprensa/noticias/pesquisa-inedita-e-exclusiva-revela-cenario-do-mercado-brasileiro-de-concreto/>. Acesso em: 16 maio 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5732**: Cimento Portland comum: Especificação. Rio de janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5733**: Cimento Portland de Alta resistência: Especificação. Rio de janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5735**: Cimento Portland Alto-forno: Especificação. Rio de janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5736**: Cimento Portland Pozolânico: Especificação. Rio de janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738:** Concreto – Procedimento para Moldagem e Cura de Corpo de Prova. Rio de Janeiro. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739:** Concreto. Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto: Especificação. Rio de janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7212**: Execução de concreto dosado em central - Procedimento. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2012. 16 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro: Abnt, 2015. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9939:** Agregados – Determinação do Teor de Umidade total, por Secagem, em Agregado Graúdo. Rio de Janeiro: Abnt, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11578**: Cimento Portland composto: Especificação. Rio de janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13116**: Cimento Portland de baixo calor de hidratação: Especificação. Rio de janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 26**: Agregados - Amostragem. Rio de Janeiro: 2001. 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 27**: Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro: 2001. 7 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67.** Concreto-Determinação da Consistência pelo Abatimento do Tronco do Cone. Rio de Janeiro, 1998.

AVELINO, V.K.G. R; **Estudo do Comportamento no Estado Fresco Endurecido do Concreto com Incorporação de Resíduo de Corte de Botão**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Natal, 2011.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Fundamentos do concreto armado.** Bauru: Universidade Estadual Paulista, 2006.

BILHETES para Burj Khalifa: 124° & 125° andares. 124° & 125° andares. Disponível em: <https://www.tiqets.com/pt/dubai-c60005/burj-khalifa-124-125-andares-p974265>. Acesso em: 09 jul. 2018.

BUILDING a Global Icon. 2016. Disponível em: <http://www.burjkhalifa.ae/en/the-tower/design.aspx>. Acesso em: 09 jul. 2018.

CAMACHO, Jefferson S. **Introdução ao estudo do concreto armado.** Ilha Solteira: Universidade Estadual Paulista, 2008.

CARVALHO, J. D. N. **Sobre as origens e desenvolvimento do concreto.** Revista Tecnológica, v. 17, p. 19-28, 2008.

CARVALHO, J. D. N. **Sobre as origens e desenvolvimento de concreto**. Revista Tecnológica, v. 17, n. 1, p. 95-112, 2010.

CAVALCANTI, Diogo Jatobá de Holanda. **Contribuição ao estudo de propriedades so concreto autoadensável visando sua aplicação em elementos estruturais.** 2006. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.

CONSTRUFACILRJ (Rio de Janeiro). **O que é o concreto? Definição geral sobre o concreto.** 2015. Disponível em: <https://construfacilrj.com.br/o-que-e-o-concreto/>. Acesso em: 20 jun. 2018.

Cristo Redentor. 2018. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Cristo_Redentor>. Acesso em: 09 jul. 2018.

DURAN, Ana Paula; FRACARO, Danielly. **Verificação das propriedades básicas do concreto industrializado fornecido em embalagens de 30kg.** 2011. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Tecnologia em Concreto, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

FARIAS, L. A. et al. **Ensaios de Tração Direta em Corpos de Prova de Concreto**. Ensaio Brasileiro. Engenheiros de Furnas, 1997.

FREIRE, K. R. R. **Avaliação do Desempenho de Inibidores de Corrosão em Armaduras de Concreto**. Curso de Pós-Graduação em Engenharia, área de Concentração: Engenharia e Ciências dos Materiais. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

FREITAS JUNIOR, José de Almendra. **Materiais de Construção:** Tecnologias em Concreto. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2013. Color.

GIAMUSSO, Salvador E. **Manual do Concreto. São Paulo**: PINI, 1992.162p.

GRANDISKI, Paulo. **Da classificação de concretos para fins estruturais, conforme a ABNT.** 2015. Disponível em: <http://blogs.pini.com.br/posts/normas-tecnicas-pericias/[46]-

da-classificacao-de-concretos-para-fins-estruturais-conforme-a-363873-1.aspx>. Acesso em: 04 jul. 2018.

GUIMARÃES, J. E. P. A Cal: **Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil**. São Paulo: Pini, 1997.

HELENE, P.; ANDRADE, T. Concreto de Cimento Portland. In: ISAIA, G. C. (Org.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais**. Ed. G. C. Isaia. 2v. 1 ed. São Paulo: IBRACON, 2007. 1712p. cap. 27.

HELENE, P.; TUTIKIAN, B.F. **Dosagem dos Concretos de Cimento Portland.** São Paulo: IBRACON, 2011.

LIMA, C. I. V. et al. CONCRETO E SUAS INOVAÇÕES. **Ciências Exatas e Tecnológicas**, Maceió, v. 1, n. 1, p.31-40, maio 2014. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/index.php/fitsexatas/article/view/1285>. Acesso em: 09 jul. 2018.

MEHTA, K.P.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais.** São Paulo: IBRACON, 2008.

MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 2008. 674 p.

MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 1994.573 p.

NEVILLE, Adam Matthew. **Propriedades do concreto**. São Paulo: PINI, 1997.

NUNES, Nelson L. **Retração do concreto de cimento Portland**. São Paulo: EPUSP, 2007. 59p. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil).

PEDROSO, Fábio Luís. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. **Concreto & Construções**, São Paulo, ano XXXVII, n. 53, p.14-19, jan/fev/mar. 2009.

PEREIRA, Caio. **Tipos de concretos utilizados na construção civil.** 2016. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/tipos-de-concreto/>. Acesso em: 20 jun. 2018.

PERKOPOLIS: Canada's Discount Program. 2017. Disponível em: <https://www.perkopolis.com/CN-Tower>. Acesso em: 09 jul. 2018.

PETRUCCI, Eladio G. R. **Concreto de cimento Portland**. 6 ed. Atualizada e revisada por Vladimir Antônio Paulon. Porto Alegre: Globo, 1978. 307p.

PINHEIRO, Libânio M. et al. Características do Concreto. In: PINHEIRO, Libânio M. et al. **Estruturas de Concreto.** 2010. Cap. 2.

POLETTO, F. A. B. **Análise da Fluência em Vigas de Concreto Armado Simplesmente Apoiadas Usando o Método dos Elementos Finitos**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Curitiba, 2015.

PRUDÊNCIO JUNIOR, L. R. **Materiais de construção civil I**. Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. Notas de aula.

REIS, J. F. A.; **Determinação de Parâmetros Reológicos de Concretos Através do Ensaio de Abatimento de Tronco de Cone Modificado: Estudo de Caso**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Campus de Ilha Solteira, São Paulo, 2008.

RODRIGUES, P. P. F**. Parâmetros de Dosagem de concreto**. ET-67. 3ed. São Paulo: IBRACON–Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998.

SCHWANTES, Caetano Guilherme Gottlieb. **Concreto estrutural leve:** Resistência à compressão e módulo de elasticidade usando argila expandida como agregado graúdo. 2012.

72 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

SILVA, Renilton do Nascimento. **Um estudo sobre o concreto de alto desempenho.** 2010. 57 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2010

SOUZA, A. M. N. **Estudo da Influência da Relação Água/Aglomerante nas Propriedades Mecânicas e Elétricas do Concreto de Alta Resistência**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 1999.

SOUZA, P. A. B. F. **Estudo do comportamento plástico, mecânico, microestrutural e térmico do concreto produzido com resíduo de porcelanato.** Tese. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. 2007. 230f.

TATTERSALL, G. H.; BANFILL, P. F.G. **The rheology of fresh concrete**. London: Pitman, 1983. 347p.

TECNOSIL. **O que é FCK e o qual sua importância para o concreto?** 2017. Disponível em: <http://www.tecnosilbr.com.br/conteudo/?p=56>. Acesso em: 18 maio 2018.

WIKIPEDIA**. Cristo Redentor.** 2018. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Cristo_Redentor>. Acesso em: 09 jul. 2018.

WIKIPEDIA. **Burj Khalifa.** 2018. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Burj_Khalifa>. Acesso em: 09 jul. 2018.