

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS – UNIS/MG

ENGENHARIA CIVIL

GUILHERME SOARES BLANCO

**ANÁLISE MECÂNICA EM CONCRETOS COM ADITIVO ACELERADOR DE
PEGA.**

VARGINHA/ MG

2018

GUILHERME SOARES BLANCO

**ANÁLISE MECÂNICA EM CONCRETOS COM ADITIVO ACELERADOR DE
PEGA.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado por Guilherme Soares Blanco como exigência do curso de graduação em Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas para obtenção do título de bacharel, sob a orientação da Prof.^a. Esp. Luana Ferreira Mendes.

VARGINHA/ MG

2018

GUILHERME SOARES BLANCO

**ANÁLISE MECÂNICA EM CONCRETOS COM ADITIVO ACELERADOR DE
PEGA.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado por
Guilherme Soares Blanco como exigência do curso de
graduação em Engenharia Civil do Centro
Universitário do Sul de Minas para obtenção do título
de bacharel pela banca examinadora composta pelos
membros:

Aprovado em: ____/____/____

Prof. Esp. Luana Ferreira Mendes

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a meus pais, que se não fosse pelo esforço e dedicação deles eu não teria chegado até aqui

AGRADECIMENTOS

Agradeço a meus pais e parentes que sempre me incentivaram...

Agradeço a minha namorada, por todo apoio, paciência e incentivo durante produção deste trabalho

A orientadora e professora, Luana Ferreira Mendes, por ter aceitado a orientação do meu trabalho na sua reta final, o que foi essencial para sua finalização.

“As possibilidades são infinitas, único limite é até onde queremos ir.”

- Roberto Lopes

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo apresentar um estudo da influência do uso de aditivos aceleradores de pega na produção do concreto, bem como a comparação das suas características com o concreto dosado sem o seu uso quando ensaiados para verificação da sua resistência mecânica. Para realização deste estudo considerou-se os materiais e agregados, cimento e aditivos disponíveis na cidade de Varginha, em Minas Gérias. As amostras dos materiais agregados disponíveis na região de Varginha, foram caracterizados conforme as Normas Regulamentadoras da Associação Brasileira de Normas Técnicas (NM 23:2001; NM 26:2009; NM 45:2006; NM 52:2009; NM 248:2003), bem como a modelagem e rompimento dos corpos de provas que foram confeccionados. O concreto utilizado para produzir os corpos de prova foi dosado pelo método experimental e racional da Associação Brasileira de Cimento Portland ABCP/ACI, seguindo os critérios de qualidade da ABNT (NBR 12655:2015; NM 67:1998). Os concretos produzidos com aditivos foram submetidos a ensaios de compressão axial nas idades de um e três dias. A caracterização dos materiais mostrou que os materiais estavam dentro dos critérios para produção do concreto, com estes resultados determinou-se o traço do concreto através do método da ABCP, que foram produzidos e ensaiados. Os resultados encontrados quando analisada a resistência mecânica dos corpos de prova ensaiados, para diferentes idades, com e sem o uso de aditivo mostraram uma redução significativa na sua resistência mecânica quando comparados.

Palavras-chave: Aceleradores de pega. Concreto. Dosagem.

ABSTRACT

This paper aims to present a study on the influence of access to information on the production of the product, as well as a presentation of its characteristics with the concept of its human rights to the lifting of its mechanical resistance. To obtain this study, consider the materials and aggregates, cement and additives available in the city of Varginha, Minas Gerais. The ornamental plants of the region of Varginha were characterized as Regulatory Norms of the Brazilian Association of Technical Norms (NM 23: 2001, NM 26: 2009, NM 45: 2006, NM 52: 2009; bodies of evidence were made. The production of anthropensorial assay for the experimental and rational for the ABNT (Portland International Ability) ABCP / ACI, according to the essential of the ABNT (NBR 12655: 2015, NM 67: 1998). The concretes made with adwords were included to the axial in the middle of three days. The characterization of the materials was shown as one of the basic materials for the production of the concrete, with determinant results of the process of construction of the ABCP method, which were produced and tested. The criteria found when analyzed are used as test components tested for different ages, with and without the use of downward indicators when compared.

Keywords: Handle Accelerators. Concrete. Dosage.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação entre tipo de cimento e resistência compressão	23
Tabela 2 – Massa mínima conforme DMC	25
Tabela 3 – Série de peneiras	26
Tabela 4 – Massa para realização do ensaio.....	28
Tabela 5 – Valores de Sd para cada condição de preparo do concreto	47
Tabela 6 – Classes de agressividade ambiental	49
Tabela 7 – Relação água cimento e classe de concreto conforme agressividade	49
Tabela 8 – Massa específica do cimento	50
Tabela 9 – Análise granulométrica areia	51
Tabela 10 – Massa unitária areia estado solto	52
Tabela 11 – Massa unitária areia estado compacto	52
Tabela 12 – Dados coletados para cálculo.....	53
Tabela 13 – Teor de finos agregado miúdo	54
Tabela 14 – Análise granulométrica brita.....	54
Tabela 15 – Massa unitária brita estado solto.....	55
Tabela 16 – Massa unitária brita estado compacto.....	55
Tabela 17 – Massa específica da brita	56
Tabela 18 – Teor de finos agregado graúdo	56
Tabela 19 – Teor de umidade agregado graúdo	56
Tabela 20 – Determinação do consumo de água com base no DMC.....	59
Tabela 21 – Determinação do volume de agregado graúdo	60
Tabela 22 – Proporção recomendada pela ABCP quando utilizada combinação de agregados	60
Tabela 23 – Dados coletados para realização da dosagem.....	62
Tabela 24 – Parâmetros adotados para produção do concreto.....	62
Tabela 25 – Resumo do consumo de materiais	63
Tabela 26 – Apresentação do traço final	63
Tabela 27 – Numero de camadas para moldagem dos corpos-de-prova	64
Tabela 28 – Dias e tolerâncias permitidas para rompimento.....	65
Tabela 29 – Resistência concreto sem aditivo para 1 dia de cura	69
Tabela 30 – Resistência concreto sem aditivo para 14 dias de cura.....	69
Tabela 31 – Resistência concreto sem aditivo para 28 dias de cura.....	69

Tabela 32 – Resistência concreto com aditivo acelerador de pega, 1 dia de cura.....	70
Tabela 33 – Resistência concreto com aditivo acelerador de pega, 14 dias de cura	71
Tabela 34 – Resistência concreto com aditivo acelerador de pega, 28 dias de cura	71
Tabela 35 – Resistência do concreto produzido com uso de detergente, 1 dia de cura.....	72
Tabela 36 – Resistência do concreto produzido com uso de detergente, 14 dias de cura	72
Tabela 37 – Resistência do concreto produzido com uso de detergente, 28 dias de cura	73
Tabela 38 – Resistência concreto produzido com aditivos, 1 dia cura.....	74
Tabela 39 – Resistência concreto produzido com aditivos, 14 dias de cura	74
Tabela 40 – Resistência concreto produzido com aditivos, 28 dias de cura	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipos de cimentos comercializados Brasil	20
Quadro 2 – Composição dos cimentos	22
Quadro 3 – Principais tipos de agregados e sua utilização.....	25
Quadro 4 – Tipos de aditivos e seus efeitos no concreto.....	42
Quadro 5 – Tipos de dosagem relacionadas com uso dos materiais	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Molde para determinação do abatimento	32
Figura 2 – Porosidade capilar	36
Figura 3 – Resistencia compressão x Relação água/cimento	36
Figura 4 – Ganho de resistência dos cimentos	37
Figura 5 – Distribuição de Gauss para resistência.....	39
Figura 6 – Modulo de deformação	41
Figura 7– Curva de Gauss usada na dosagem de concreto.....	46
Figura 8 – Determinação da relação água/cimento	48
Figura 9 – Tipos de ruptura	66
Figura 10 – Corpos de prova	68
Figura 11 – Corpos de prova produzidos com uso de detergente.....	83
Figura 12 – Corpos de prova rompidos produzidos com detergente e aditivo acelerador de pega	83
Figura 13 – Rompimento do corpo de prova.....	84
Figura 14 – Rompimento corpo de prova sem uso de aditivo.....	84
Figura 15 – Rompimento corpo de prova cimento CPV produzido com aditivo acelerador de pega.....	85

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva granulométrica areia	52
Gráfico 2 – Curva granulométrica brita.....	55
Gráfico 3 – Curva de Walz	58
Gráfico 4 – Abatimento inicial	67
Gráfico 5 – Comparação da resistência dos concretos sem aditivo.....	70
Gráfico 6 – Comparação da resistência dos concretos produzidos com aditivo	72
Gráfico 7 – Comparação dos concretos produzidos com detergente	73
Gráfico 8 – Comparação da resistência dos concretos produzidos com aditivos.....	75
Gráfico 9 – Comparação entre a resistência dos corpos de prova.....	76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação brasileira de normas técnicas
ABCP	Associação brasileira de cimento Portland
CBIC	Câmara brasileira da indústria da construção
C	Classe de concreto
CIENTEC	Fundação de ciência e tecnologia do estado do Rio Grande do Sul
CP	Cimento Portland
DMC	Diâmetro máximo característico
INT	Instituto nacional de tecnologia do Rio de Janeiro
IPT	Instituto de pesquisas tecnológicas do estado de São Paulo
ITERS	Instituto de pesquisas tecnológicas do estado de São Paulo
MG	Minas Gerais - Brasil
NBR	Norma brasileira regulamentadora
NM	Norma Mercosul
PIB	Produto interno bruto
SNIC	Sindicato nacional da indústria do cimento
cm	Centímetro
mm	Milímetro
dm ³	Decímetro cúbico
m ³	Metro cúbico
MPa	Megapascal – unidade de medida da resistência a compressão do concreto
F _{ck}	Resistência característica à compressão do concreto
F _{ctm}	Resistência característica média do concreto à tração
E	Módulo de elasticidade
E _{ci}	Módulo de elasticidade tangente inicial do concreto
E _{cs}	Módulo de elasticidade secante do concreto
°C	Graus célsius

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVOS.....	18
3. REFERENCIAL TEÓRICO	19
3.1 Cimento Portland.....	19
3.1.1 Características do cimento Portland	19
3.1.2 Tipos de cimento	19
3.1.3 Composição dos cimentos	22
3.1.4 Resistencia à compressão	22
3.2 Concreto cimento Portland	23
3.3 Agregados	24
3.3.1 Caracterização dos agregados.....	25
3.3.1.1 Granulometria.....	25
3.3.1.2 Dimensão máxima característica	26
3.3.1.3 Módulo de finura	27
3.3.1.4 Massa específica de agregado miúdo	27
3.3.1.5 Massa específica do agregado graúdo	28
3.3.1.6 Teor de umidade	29
3.4 Propriedades do concreto fresco	30
3.4.1 Tempo de pega.....	30
3.4.2 Trabalhabilidade	31
3.4.3 Segregação.....	33
3.4.4 Exsudação.....	33
3.5 Propriedades do concreto endurecido.....	33
3.5.1 Resistência mecânica.....	33
3.5.1.1 Fator água/cimento	34
3.5.1.2 Calor de hidratação	35
3.5.1.3 Porosidade	35
3.5.1.4 Idade	36
3.5.1.5 Tipos de cimento	37
3.5.1.6 Forma e dimensões dos agregados.	37
3.5.2 Resistência a compressão	38
3.5.3 Resistencia a tração	39
3.5.3.1 Ensaio tração direta	40

3.5.3.2	Ensaio tração na compressão diametral.....	40
3.5.3.3	Ensaio de tração na compressão diametral	40
3.5.4	Modulo de elasticidade.....	40
3.6	Aditivos	42
3.7	Dosagem.....	43
3.7.1	Parâmetros utilizados nos métodos de dosagem	45
4.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	50
4.2	Caracterização dos materiais.....	50
4.2.1	Caracterização do cimento.....	50
4.2.2	Caracterização do Agregado Miúdo.....	51
4.2.3	Caracterização Agregado Graúdo.....	54
4.3	Aditivos	57
4.3	Aditivo acelerador de pega.....	57
4.4	Detergente.....	57
4.4	Método de dosagem de concreto da ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland.....	57
4.5	Dosagem ABCP.....	63
4.6	Confecção dos corpos de prova.....	64
4.7	Ensaio de compressão.....	65
5.	RESULTADOS.....	67
5.1	Abatimento inicial.....	67
5.2	Resistência à compressão do concreto	68
5.2.1	Resistência à compressão dos concretos produzidos sem aditivo	69
5.2.2	Resistência à compressão dos corpos de prova com uso de aditivo acelerador de pega	70
5.2.3	Resistência à compressão dos corpos de prova com uso de detergente	72
5.2.4	Resistência à compressão dos corpos de prova com uso de aditivo e detergente	74
5.3	Avaliação da influência dos aditivos no concreto	75
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	77
	REFERENCIAS	78
	ANEXO.....	82
	APÊNDICE	83

1. INTRODUÇÃO

A história da construção civil, se inicia quando a civilização humana viu a necessidade de construir acampamentos para proteção de animais e intempéries da natureza. Desde então têm-se evoluindo os sistemas construtivos, até que em Roma se tem os primeiros relatos da criação do concreto, que foram utilizados para construção de aquedutos e estradas. Os romanos utilizavam de cascalho, areia grossa, cal quente, água e algumas vezes era misturado leite, sangue e gordura de animal como aditivo.

Outro grande evento foi a criação do cimento Portland pelo inventor Joseph Aspadin, que queimou giz com terra e argila em um forno até que todo dióxido de carbono evaporasse dando origem a um cimento de alta qualidade.

Atualmente através os métodos de pesquisa e desenvolvimento têm-se criado materiais e equipamentos que visam diminuir os custos e o tempo de execução das obras. Com o concreto não é diferente, sendo ele um dos materiais mais utilizados na engenharia civil, é de grande importância que se crie maneiras de aumentar sua eficácia, economia e segurança.

O seguinte trabalho apresenta um estudo realizado a respeito de uma alternativa para solucionar um dos problemas mais comuns que o setor da construção civil enfrenta, cada vez mais se deseja diminuir o tempo de execução de determinadas etapas para que se adiante os outros processos construtivos e aumente a produtividade total das obras.

A resistência à compressão do concreto vem sendo usada como o principal critério para se dosar e realizar o controle de qualidade. Isso se dá pela facilidade em modelar um corpo de prova para o ensaio de compressão axial e determinar a sua resistência através dele.

O concreto demora para atingir sua resistência máxima, alguns autores atentam sobre o fato de que o concreto possa continuar ganhando resistência por alguns anos após seu endurecimento. As primeiras idades do concreto são de fundamental importância, porque é onde ocorre o maior ganho de resistência, sendo que aos 28 dias ele atinge quase sua resistência total.

Porém com o avanço das técnicas construtivas e a modernização de equipamentos que visam incorporar mais rapidez, eficácia e economia, viu-se a necessidade de acelerar o ganho de resistência inicial do concreto para que algumas etapas pudessem ser antecipadas, uma delas é a desforma de elementos estruturais. Para que seja realizada a desforma o concreto precisa ter uma resistência mínima necessária para suportar as cargas provenientes da construção, que devem ser especificadas em projeto. Uma das maneiras desenvolvidas para aumentar o ganho inicial de resistência do concreto é a utilização de aditivos aceleradores.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Este trabalho tem por objetivo realizar uma análise quanto as características mecânicas em concretos para determinar qual a influência do uso de aditivos aceleradores de pega

2.2 Específicos

Tem-se por objetivos específicos neste trabalho:

Caracterizar os materiais utilizados na produção do concreto;

Produzir concretos, utilizando materiais disponíveis na cidade de Varginha, através do método de dosagem ABCP;

Determinar experimentalmente a influência do uso de aditivo de pega nas características do concreto;

Determinar a influência do uso de detergente como aditivo incorporador de ar e melhora na trabalhabilidade;

Produzir concreto utilizados ambos os aditivos e analisar suas características;

Avaliar o resultado dos ensaios de compressão axial, e determinar a resistência característica do concreto a compressão em diferentes idades;

Analisar se através da incorporação do aditivo, houve mudanças significativas nas características mecânicas do concreto;

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Cimento Portland

3.1.1 Características do cimento Portland

Segundo Petrucci (1998), o cimento Portland possui em sua composição quatro compostos químicos que tem reações diferentes quando ocorre no seu processo de hidratação, o C₃S ou silicato tricálcico, C₂S ou silicato dicálcico, C₃A ou aluminato dicálcico e o C₄AF ou ferroaluminato tetracálcico. No processo de hidratação do C₃S o autor comenta:

“No C₃S a hidratação começa dentro de poucas horas, desprende-se calor; o composto anidro vai passando para a solução, aparecendo cristais de Ca (OH)₂, enquanto uma massa gelatinosa de silicato hidratado se forma em torno dos grãos originais”. (PETRUCCI, 1998, p.13).

Desta maneira é possível destacar o composto como responsável pela resistência que será adquirida nas primeiras idades. Já o silicato dicálcico (C₂S) entra lentamente em contato com a água, ocorrendo a formação de cristais semanas após a hidratação, formando também Ca (OH)₂, porém em menor quantidade quando comparada com a hidratação do silicato tricálcico (C₃S), sendo o responsável pelo endurecimento em idades mais avançadas (PETRUCCI, 1998).

De acordo com o autor, o C₃A reage de forma muito rápida com a água, se cristalizando em poucos minutos, não produzindo nenhum hidróxido, mas aluminato hidratado. O calor de hidratação é tanto que a massa pode chegar a secar. O aluminato dicálcico contribui de maneira mais eficiente no ganho inicial de resistência, no primeiro dia. Já o C₄AF reage menos lentamente que o C₃A, não liberando calor e formando também um aluminato hidratado, este composto por sua vez não tem grande influência nos fatores que determinam a resistência do cimento.

3.1.2 Tipos de cimento

Os tipos de cimento são diferenciados com base na proporção de clínquer, sulfato de cálcio, material carbonático e de adições, tais como escórias, pozolana e calcário, acrescentadas durante o processo de moagem (ABCP, 2002).

Os tipos de cimento descritos abaixo são classificados e regulamentados de acordo com as normas regulamentadoras:

Quadro 1 – Tipos de cimentos comercializados Brasil

Cimento Portland	Sigla	Norma Regulamentadora
Cimento Portland comum	CP I	ABNT 16697:2018
Cimento Portland comum com adição	CP I – S	
Cimento Portland composto com escória	CP II – E	
Cimento Portland composto com pozolana	CP II – Z	
Cimento Portland composto com fíler	CP II – F	
Cimento Portland de alto-forno	CP III	
Cimento Portland pozolânico	CP IV	
Cimento Portland de alta resistência inicial	CP V – ARI	

Fonte: Adaptado da ABNT

– Cimento Portland comum (CPI)

O cimento Portland comum, é um tipo de cimento que não possui em sua composição nenhuma adição além de gesso, que atua como um retardador de pega. Ele é recomendado para construções onde não é necessário resistir a condições especiais como água ou produtos químicos.

– Cimento Portland comum com adição (CP I-S)

O cimento Portland comum com adições, possui em sua massa 5% de material pozolânico. Os materiais pozolânicos podem ser tanto escórias, pozolana ou fíler.

– Cimento Portland composto com escória (CP II-E)

O CP II-E tem adicionado à sua composição escória granulada de alto forno, que pode variar de 6% a 34% do percentual de sua massa. A adição de escórias de alto-forno a composição do cimento confere a ele baixo calor de hidratação. Este tipo de cimento é recomendado para estruturas onde o desprendimento de calor seja lento.

- Cimento Portland Composto com pozolana (CP II-Z)

O cimento Portland Pozolânico, é obtido através da adição de pozolana sem adição de outra substância. As pozolanas são matérias silicosas que possuem em sua composição um elevado teor de sílica, que reage de forma não cristalina, capaz de reagir com a água em temperatura normal, formando compostos com propriedades aglomerantes (KLOSS, 1996). A utilização deste cimento é recomendada para obras onde ocorra exposição direta a água doce ou marítima.

- Cimento Portland Composto com filler (CP II-F)

O CII-F tem junto à sua composição um percentual de 6% a 14% de filler. O filler é uma matéria obtida através dos minerais basalto e calcário, tem como função aumentar a trabalhabilidade do concreto (BAUER, 2000). Este tipo de cimento é recomendado para diversas fases da construção, sendo utilizado em elementos estruturais ou argamassa de assentamento e revestimento, porém não é muito aplicado em meios agressivos.

- Cimento Portland de Alto forno (CP III)

Uma das características deste cimento é o alto teor de escória granulada de alto forno, que pode ser as vezes maior que a porcentagem de massa do clínquer e gesso. As porcentagens de escória podem chegar até 70% do peso total. Este percentual de escória atribui propriedades como: baixo calor de hidratação, impermeabilidade e durabilidade, sendo este então recomendado para locais onde exista um meio agressivo.

- Cimento Portland pozolânico (CP IV)

O CP IV possui em sua composição uma adição de 15 a 50% de pozolana. A pozolana atua como um ligante hidráulico, dando ao cimento maior impermeabilidade e redução da porosidade, por este motivo ele é indicado para obras que tenham exposição a água. (ABCP, 2002).

- Cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI)

O CP V-ARI possui em sua composição uma quantidade diferente de calcário e argila na produção do clínquer, o que confere a ele alta resistência inicial. A ABNT fixa exigências físicas e mecânicas para este cimento, segundo NBR 16697:2018, Cimento Portland com alta resistência inicial, ao realizar um teste de compressão no concreto depois de um dia, o mesmo deve ter resistência mínima de 14 MPa.

3.1.3 Composição dos cimentos

O quadro abaixo mostra todas as classes de cimento citadas acima e suas composições em teor de massa, segundo suas respectivas normas.

Quadro 2 – Composição dos cimentos

Tipo de Cimento Portland	Sigla	Composição (% massa)				Norma Brasileira
		Clínquer + sulfatos de cálcio	Escoria granulada de alto forno	Material Pozolânico	Material carbonático	
Comum	CP I	95 – 100	0 – 5			ABNT NBR 16697:2018
	CP I – S	90 – 94	0	0	6 – 10	
Composto	CP II – E	51 – 94	6 – 34	0	0 – 15	
	CP II – Z	71 – 94	0	6 – 14	0 – 15	
	CP II – F	75 – 89	0	0	11 – 25	
Alto-forno	CP III	25 – 65	35 – 75	0	0 – 10	
Pozolânico	CP IV	45 – 85	0	15 – 50	0 – 10	
ARI	CP V – ARI	90 – 100	0	0	0 – 10	

Fonte: ABNT NBR 16697:2018

3.1.4 Resistência à compressão

A tabela abaixo mostra para cada tipo e classe de cimento Portland, resistência mínima a compressão no primeiro dia, terceiro, sétimo, vigésimo oitavo dia.

Tabela 1 – Relação entre tipo de cimento e resistência compressão

Tipos de Cimento	Classe	Resistência a compressão			
		1 dia (MPa)	3 dias (MPa)	7 dias (MPa)	28 dias (MPa)
CPI CPI-S	25	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0
	35		≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0
	40		≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40,0
CP II – E CP II – Z CP II – F	25	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0
	35		≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0
	40		≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40,0
CP III	25	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0
	35		≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0
	40		≥ 12,0	≥ 25,0	≥ 40,0
CP IV	25	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0
	32		≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0
CP V – ARI		≥ 14,0	≥ 24,0	≥ 35,0	-

Fonte: Boletim técnico ABCP, adaptado pelo o autor

3.2 Concreto cimento Portland

“O concreto hidráulico é um material de construção constituído por mistura de um aglomerante com um ou mais materiais inertes e água.” (PETRUCCI, 1988, p. 5).

A NBR 12655:2015 – Concreto – Preparo, controle e recebimento, define o concreto como um material formado pela mistura homogênea de cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água, com ou sem a integração de aditivos ou escórias em seu traço. A mistura ganha propriedades pelo endurecimento da mistura da água e cimento, denominada de pasta de cimento.

A qualidade deste concreto dependerá primeiramente das propriedades de cada um desses componentes. Que quando misturados devem apresentar no início, condições de plasticidade que ajudem na trabalhabilidade do material em obra, e depois com o tempo adquirir coesão e resistência (PETRUCCI, 1998).

O concreto, é considerado um material sólido após o início de sua pega, a partir daí ele se torna um material em constante evolução, sendo muito sensível a condições físicas, químicas, ambientais e mecânicas (BUER, 2000).

3.3 Agregados

Para a construção civil os agregados são materiais granulares, sem forma ou volume definidos, que possuem propriedades estabelecidas em projeto para o seu uso na construção, estes materiais podem ser: a pedra britada, cascalho, areias naturais ou obtidas por moagem ou outros resíduos inertes reciclados como escória de aciaria (REZENDE, SERNA, 2013).

“Os agregados para a construção civil são obtidos de materiais rochosos variados, consolidados ou granulares, fragmentados naturalmente ou por processo industrial. Podem ser oriundos de rochas sedimentares como arenitos e siltitos, entre outras; metamórficas como os quartzitos, calcário e gnaíse; ígneas como o granito, Sienitos, basalto e diabásios.” (SERNA, REZENDE, 2013, p.1).

O autor (VALVERDE, 2001) define: “O termo “agregados para construção civil” é empregado no Brasil para identificar um segmento do setor mineral que produz matéria prima mineral bruta ou beneficiada de emprego imediato na indústria da construção civil. São basicamente a areia e a rocha britada.”.

A ABNT, através da NBR 7211: Agregados para concreto, define as características necessárias na aceitação e produção dos agregados miúdos e graúdos, encontrados em sua forma original, fragmentada ou produzida por processos mecânicos de britagem ou explosão de rochas. A norma também define como agregado miúdo os grãos que passam pela peneira ABNT de 4,8 mm e ficam retidos na peneira 0,075 mm. E define também como agregado graúdo, os grãos provenientes de rochas estáveis que passem pela peneira de malha quadrada com abertura de 152 mm e ficam retidos na peneira de 4,8mm.

Quando se fala em tecnologia do concreto, se dá ênfase na relação água/cimento e resistência, onde muitas vezes a influência do agregado sobre as propriedades resistivas do concreto é omitida.

Segundo Monteiro (2008), a resistência dos agregados não pode ser utilizada com um parâmetro determinante, porém além da resistência existem outras características como dimensão, forma, textura superficial, granulometria e mineralogia que podem ter efeitos no resultado final da resistência.

A tabela abaixo mostra as principais utilizações dos agregados:

Quadro 3 – Principais tipos de agregados e sua utilização

Areia artificial e Areia natural	Assentamento de bloquetes, tubulações em geral, tanques, embolso, podendo entrar na composição de concreto e asfalto.
Pedrisco	Confecção de pavimentação asfáltica, lajotas, bloquetes, intertravados, lajes, jateamento de túneis e acabamentos em geral.
Brita 1	Intensivamente na fabricação de concreto, com inúmeras aplicações, como na construção de pontes, edificações e grandes lajes
Brita 2	Fabricação de concreto que exija maior resistência, principalmente em formas pesadas.
Brita 3	Também denominada pedra de lastro, utilizado nas ferrovias.
Brita 4	Produto destinado a obras de drenagem, como dreno sépticos e fossas.
Rochão, pedra de mão ou pedra	Fabricação de gabiões, muros de contenção e bases
Brita graduada	Em base e sub-base, pisos, pátios, galpões e estradas

Fonte: (Hagemann, 2011), adaptado pelo O autor

3.3.1 Caracterização dos agregados

É de extrema importância conhecer as características dos agregados porque através delas é possível definir qual o melhor tipo e a influência deste agregado no concreto. As características normalmente são definidas através de análises, ensaios e experimentos descritos em normas (HAGEMANN, 2011).

3.3.1.1 Granulometria

A NBR NM 248: Determinação da composição granulométrica, prescreve um dos ensaios que definem as propriedades dos agregados, a granulometria, que demonstra a distribuição dos tamanhos dos grãos que compõe a amostra peneirada. O quadro abaixo mostra a massa necessária para realizar o peneiramento em função da dimensão máxima do agregado.

Tabela 2 – Massa mínima conforme DMC

Dimensão máxima nominal do agregado mm	Massa mínima da amostra de ensaio kg
<4,75	0,3
9,5	1
12,5	2
19,0	5
25,0	10

37,5	15
50,0	20
63,0	35
75,0	60
90,0	100
100,0	150
125,0	300

Fonte: ABNT NBR NM 248:2003

Após separar a massa mínima de acordo a norma, é realizado o peneiramento da amostra. As aberturas nominais das peneiras são padronizadas, sendo composta por duas séries: a série normal e série intermediária. As aberturas de cada série estão descritas no quadro abaixo:

Tabela 3 – Série de peneiras

Série Normal	Série Intermediária
75 mm	-
-	63 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
-	31,5 mm
-	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
600 μm	-
300 μm	-
150 μm	-

Fonte: ABNT NBR NM 248:2003

Quando terminado o peneiramento, deve-se pesar a massa retida em cada peneira e realizar o cálculo da porcentagem retida e acumulada para cada uma delas. Procedimentos estes que possibilitam analisar a distribuição granulométrica da amostra.

3.3.1.2 Dimensão máxima característica

De posse dos resultados de porcentagem acumulada é possível determinar a dimensão máxima característica da amostra ensaiada. Segundo NBR 7217: Determinação da composição granulométrica, a dimensão máxima corresponde à abertura nominal, em milímetros, da malha

da peneira da série normal ou intermediária, na qual o agregado apresentar uma porcentagem retida acumulado igual ou inferior a 5% da massa.

3.3.1.3 Módulo de finura

A mesma norma, NBR 7217, apresenta o método para definir o módulo de finura do agregado. O cálculo é feito com base nas somas de porcentagens retidas acumuladas em massa, nas peneiras de série normal, dividido por cem.

$$M_f = \sum \frac{\% \text{ retida acumulada}}{100} \quad \text{Eq. (01)}$$

Onde:

M_f : Módulo de finura

3.3.1.4 Massa específica de agregado miúdo

É a relação entre a massa e o volume aparente. A massa unitária normalmente é utilizada como medida indireta da quantidade de vazios presente nos grãos de agregados e também para transformar peso em volume e vice-versa (HAGEMANN, 2011).

A NBR NM 52: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente, descreve o método para determinação da massa específica real:

O ensaio consiste na utilização de um frasco graduado com capacidade para 500 cm³, no frasco deve ser colocada uma amostra de 500g do agregado, juntamente com 500 cm³ de água. Após uma hora a amostra deve ser pesada e posteriormente secada em estufa à 105 °C até que sua massa fique constante, após o resfriamento a amostra é pesada novamente.

Antes da colocação da amostra é necessário realizar alguns procedimentos para que ela chegue a condição de saturada de superfície seca, condição onde os grãos já estarão totalmente úmidos e sua superfície seca.

O agregado deve ser deixado em repouso por 24 horas submerso em um recipiente com água, após a retirada da amostra da água, a mesma deve secar em temperatura ambiente até que se obtenha uma secagem uniforme.

Para verificação da secagem da amostra, deve-se colocar ela em um tronco cônico. Defere-se então 25 golpes com ajuda de uma haste metálica, retira-se o cone e observa a reação

da amostra, se a mesma se manter no formato do cone, ela ainda possui muita humidade superficial devendo ser submetida novamente ao processo de secagem. Caso a amostra desmorone após a retirada do cone ela estará na condição de saturado de superfície seca.

Para determinação da massa específica aparente do agregado seco, massa específica do agregado no estado de saturado superfície seca e massa específica utiliza-se dos seguintes cálculos:

- Massa específica aparente do agregado seco:

$$D1 = \frac{M_s}{V - V_a} \quad \text{Eq. (02)}$$

D1: Massa específica aparente do agregado seco [g/cm³]

M_s: Massa da amostra seca [g]

V: Volume do frasco [cm³]

V_a: Volume de água adicionado ao frasco [cm³]

3.3.1.5 Massa específica do agregado graúdo

A NM 53: Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água estabelece os métodos que devem ser utilizados no caso de agregados graúdos. A mesma norma define que agregados graúdos são aqueles em que o resultado dos ensaios de granulometria, a maior parte de sua massa fica retida na peneira da série normal 4,75 mm.

O primeiro passo é fazer a limpeza da superfície do material, com intuito de retirar os resíduos que de sua superfície. Após o processo de limpeza, a amostra deve ser secada em estufa a uma temperatura de 105°C e quando seco deve ser resfriado em temperatura ambiente e pesado.

As massas mínimas da amostra são definidas de acordo com a dimensão máxima característica, o quadro abaixo mostra os respectivos valores:

Tabela 4 – Massa para realização do ensaio

Dimensão máxima característica	Massa mínima da amostra
mm	kg
12,5	2
19	3
25	4
37,5	5
50	8

63	12
75	18
90	25
100	40
112	50
125	75
150	125

Fonte: ABNT NBR NM 53:2003

Com a massa da amostra definida pela tabela, coloca-se o agregado dentro da água em temperatura ambiente por um período de 24 horas. Quando retirado a amostra da água, a sua superfície deve ser seca, pesando a amostra pode-se determinar a massa do agregado saturada com superfície seca.

Após pesagem o agregado deve ser novamente mergulhado em água e pesado, determinando assim a massa em água. Determinado assim a massa de água o material deve ser seco em estufa até que atinja a massa constante, deixando esfriar de uma a três horas a temperatura ambiente, para que seja possível determinar a massa seca do material.

Os cálculos descritos a seguir deverão ser feitos para determinação das características do agregado graúdo em estudo

- Massa específica aparente do agregado seco:

$$D1 = \frac{M_s}{V - V_a} \quad \text{Eq. (03)}$$

D1: Massa específica aparente do agregado seco [g/cm³]

M_s: Massa da amostra seca [g]

V: Volume do frasco [cm³]

V_a: Volume de água adicionado ao frasco [cm³]

3.3.1.6 Teor de umidade

O teor de umidade pode ser calculado como a relação entre o peso da água e o peso do material seco.

A importância do teor de umidade é destacada por Hagemann (2011).

“Importante para a dosagem de concretos, pois existe uma proporção adequada entre a quantidade de água e cimento adicionada ao concreto. Se a areia estiver úmida e não se determinar umidade, a água incorporada à areia vai alterar a proporção entre água e cimento do concreto, o que causa danos à resistência do mesmo (HAGEMANN, 2011).”

De posse do teor de umidade e da relação entre o peso da água e o material seco pode-se calcular o teor de umidade seguindo a relação:

$$h = \frac{Pa - Ps}{Ps} \times 100 \quad \text{Eq. (04)}$$

h: Teor de umidade [%]

Pa: Peso da água [cm³]

Ps: Peso material seco [g]

3.4 Propriedades do concreto fresco

Para o concreto no estado fresco, algumas de suas propriedades são de extrema importância para obtenção de uma mistura que seja de fácil transporte, lançamento e adensamento, sem que ocorra segregação ou exsudação. As propriedades do concreto fresco são:

3.4.1 Tempo de pega

Segundo Petrucci (1998), quando o cimento é misturado de forma e com quantidades certas de água, é formado uma pasta plástica que começa a perder gradualmente sua plasticidade.

O início de pega é o período que compreende o momento da adição da água até o começo das reações, neste período se nota um aumento na viscosidade e na temperatura da pasta de cimento. O fim da pega é determinado quando se encerra a deformação para pequenas cargas e começa se transformar em um bloco rígido.

Ainda segundo o autor é de extrema importância determinar os tempos de início e fim porque deste tempo, pode-se determinar o tempo em que é possível realizar o transporte, adensamento e lançamento.

O termo tempo de pega é utilizado para definir o início do enrijecimento da pasta de concreto, aonde a pasta de cimento começa à transição do estado fluído para o rígido. A pega é causada pela hidratação dos agentes do cimento: Aluminato Tricálcico (C₃A) e Silicato Tricálcico (C₃S), que é seguida pela elevação da temperatura da pasta de cimento. (NEVILLE, 2010).

“Cimentos ricos em C₃A, que é o composto que reage imediatamente com água, dão pega muito rapidamente, devendo ser corrigido este tempo de início de pega pela adição de gesso, a formação de sulfoaluminato retarda a hidratação” (PETRUCCI, 1998, p. 16.).

3.4.2 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade é uma das propriedades do concreto no estado fresco, e pode ser medida como a energia necessária para ocasionar uma deformação no concreto. A trabalhabilidade deve ser definida de acordo com a classe da obra, projeto e o tipo de adensamento que será realizado, que é importante para que se consiga calcular os recursos que serão necessários para se compactar (BAUER, 2000; PETRUCCI, 1998).

Um dos dois principais componentes da trabalhabilidade é a fluidez, que representa a facilidade de mobilidade de concreto no estado fresco, o outro componente é a coesão, que se relaciona com a resistência que o concreto possui a exsudação ou à segregação (MEHTA, MONTEIRO, 2008).

Segundo Araújo, Rodrigues & Freitas (2000), a consistência é o maior ou menor grau de fluidez em uma mistura fresca, ela tem relação direta com a trabalhabilidade. O autor destaca que o principal fator que causa influência na consistência é o teor de água/material seco, que pode ser calculado pela formula:

$$A\% = \frac{P_{ag}}{P_c + P_m} \times 100 \quad \text{Eq. (05)}$$

A%: teor água/materiais secos

P_{ag}: peso água [g]

P_c: peso cimento [g]

P_m: peso agregado miúdo + graúdo [g]

O autor classifica segundo resultado da equação, pode-se classificar o concreto como:

- Seco ou úmido – resultado está entre 6 a 8%
- Plástico – entre 8 a 11%

- Fluido – entre 11 a 14%

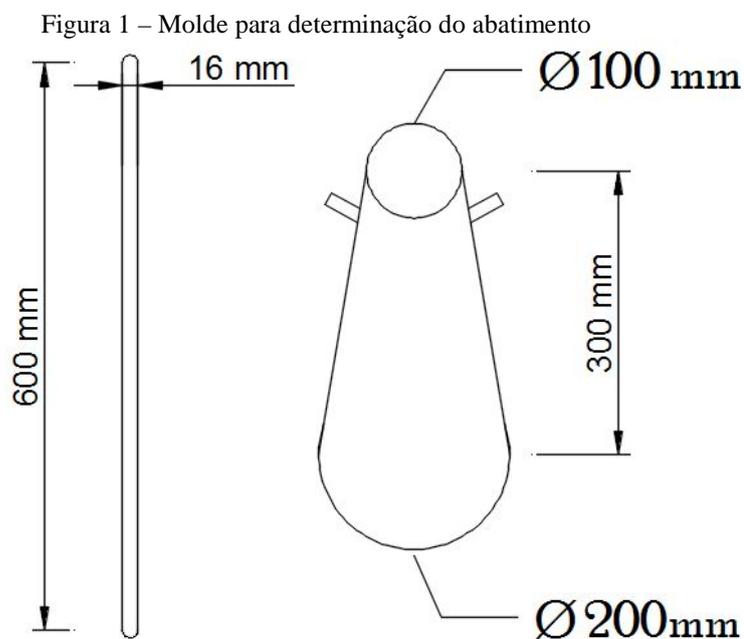
O mesmo o autor comenta: “Um concreto de consistência plástica pode oferecer, segundo grau de sua mobilidade, maior ou menor facilidade para ser moldado e deslizar entre os ferros da armadura, sem que ocorra a separação de seus componentes. ”

O processo para determinação da resistência mais utilizado no Brasil, devido a simplicidade de execução em obras, é o ensaio de abatimento, conhecido como Slump Test.

A medida da trabalhabilidade pode ser realizada através do ensaio de tronco de cone, que é regulamentado pela NBR NM 67, e determina a consistência do concreto fresco. O método pode ser aplicado para concretos plásticos e coesivos que apresentem um assentamento igual ou superior a 10 mm.

O método consiste em preencher o molde de forma cônica com o concreto, o preenchimento deve ser feito em três camadas, para cada camada devem ser desferidos vinte e cinco golpes através de toda sua espessura. Após o preenchimento deve-se retirar o molde cuidadosamente com movimento constante. Com a retirada mede-se a diferença entre a altura do molde.

A figura abaixo ilustra o molde do cone e sua haste de adensamento:



Fonte: ABNT NBR NM 67:1998, adaptado pelo O autor

3.4.3 Segregação

A segregação é a separação dos constituintes do concreto, ocorre antes do início da pega, resultando em uma mistura heterogênea (ALMEIDA, 2002).

Neville (1997), determina duas formas de segregação do concreto. Os agregados maiores se posicionam mais ao fundo que as partículas menores, isto pode ocorrer devido ao uso de pouco cimento na pasta, denominado cimento pobre. A segunda é um excesso de água de amassamento, onde ocorre a segregação da pasta de cimento.

Segundo Almeida (2002), “A segregação pode ocorrer também como resultado de uma vibração exagerada. Um concreto em que isso venha a ocorrer será um concreto mais fraco e sem uniformidade”.

3.4.4 Exsudação

Segundo Neville e Brooks (2011), a exsudação é um dos fenômenos causados pela segregação, aonde os grãos de areia não são capazes de reter toda a água de amassamento, como os grãos são mais pesados que a água eles são forçados pela gravidade a descer para o fundo, formando uma camada de água sobre a pasta de cimento. A água que se acumula na parte superior do concreto pode criar uma camada porosa, fraca e não durável na parte superior, já na parte inferior pode resultar em zonas de baixa aderência e vazios.

O mesmo o autor ressalta:

“Apesar de dependente da quantidade de água da mistura, a tendência à exsudação depende em muito das propriedades do cimento. A exsudação é menor com cimentos mais finos e é afetada por alguns fatores químicos: Ocorre menor exsudação quando o cimento tem alto teor de álcalis, maior teor de C3A ou é adicionado cloreto de cálcio (NEVILLE, BROOKS. 2011).”

3.5 Propriedades do concreto endurecido

O concreto endurecido deve apresentar propriedades compatíveis com função que irá desempenhar, como resistência, durabilidade e impermeabilidade.

3.5.1 Resistência mecânica

Quando se fala em resistência mecânica do concreto endurecido, estamos falando de sua capacidade de resistir a diferentes solicitações e condições de carregamento quando em serviço, para o concreto destaca-se a resistência à compressão, tração, flexão e ao cisalhamento (ARAUJO; RODRIGUES; FREITAS, (2000).

Segundo Petrucci (1968), o concreto é um material que tem uma boa resistência às tensões de compressão, mas em contrapartida sua resistência a tração é dez vezes menos quando comparada a resistência de compressão e cinco vezes menor quando compara a tração causada pela flexão.

Segundo Araújo, Rodrigues & Freitas (2000), os concretos produzidos a base de cimento Portland, o tempo para endurecimento do concreto é muito longo, podendo levar mais de dois anos para atingir sua resistência máxima. Com o passar do tempo o concreto vai aumentando sua resistência aos esforços mecânicos. Após 28 dias de idade, ele já adquiriu cerca de 75 a 90% de toda sua resistência. Normalmente em projetos estruturais, os elementos são dimensionados baseando-se na resistência adquirida pelo concreto passados os 28 dias de sua idade.

São vários os fatores que podem influenciar na resistência do concreto, dentre esses fatores podemos destacar: o tipo de cimento; variabilidade dos agregados; relação entre água e cimento; aditivos e da proporção relativa de todos os materiais, qualidade e operação dos equipamentos de dosagem e mistura, além da eficiência nas operações de ensaio e controle (HELENE; TERZIAN, 2001).

3.5.1.1 Fator água/cimento

A resistência de um concreto dependerá principalmente do seu fator água/cimento, ou seja, quanto menor a relação desse fator, maior será a resistência do concreto. Mas, sempre respeitando o mínimo necessário de água para reagir com todo o cimento e proporcionar condições de trabalhabilidade ao concreto (ARAUJO; RODRIGUES; FREITAS, 2000)

Segundo Neville (1997), a relação água/cimento para qualquer resistência, depende das condições do cimento, como: grau de hidratação, propriedades físicas e químicas, temperatura, teor de ar incorporado do concreto. Também se destaca a importância do teor de cimento do concreto e as propriedades que compõe a interface agregado-pasta de cimento.

Segundo Mehta e Monteiro (2008): “A relação água/cimento resistência no concreto pode facilmente ser explicada como consequência natural do enfraquecimento progressivo da matriz causado pelo aumento da porosidade com o aumento da relação água/cimento.”

3.5.1.2 Calor de hidratação

Segundo Andrade (1997), o calor de hidratação é resultado da reação química que ocorre entre a água e o cimento algumas horas após realizada a mistura, reação química está responsável pela aderência dos materiais e o ganho de resistência adquirida pela estrutura.

Está reação química que ocorre entre a água e o cimento é chamada de reação exotérmica, onde há liberação de calor, ou seja, quanto maior for o volume de concreto produzido, maior será o calor de hidratação liberado, que pode ser absorvido pela própria massa de concreto ou dissipada para a atmosfera.

O mesmo o autor ainda ressalta que o calor de hidratação pode causar problemas durante a cura do concreto, se o calor de hidratação for muito alto o concreto pode começar a perder água por evaporação, o que resulta em poros, diminuindo suas resistências mecânicas.

O calor de hidratação pode ser influenciado por diversos fatores como: o tipo de cimento utilizado, temperatura ambiente do local, exposição ao sol o consumo de cimento, temperatura dos materiais utilizados na confecção do concreto.

3.5.1.3 Porosidade

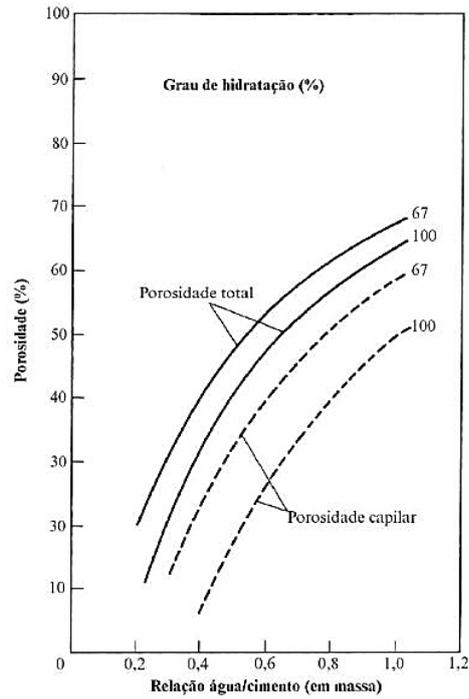
Porosidade é a quando o concreto não é constante, havendo espaço entre suas partículas, ela pode ser obtida através da relação entre o volume de vazios e o volume de sólidos (PETRUCCI, 1968).

Segundo Mehta e Monteiro (2008), o concreto convencional é um material que em sua constituição, apresenta porosidade, uma vez que não é possível preencher todos os vazios do agregado com pasta de cimento.

A porosidade pode afetar os componentes do concreto, afetando sua resistência a compressão. Ela se relaciona com a forma e condição em que acontece a ruptura do concreto, e o seu valor pode ser relacionado com pela relação água/cimento, ar incorporado e o tipo de cimento (MEHTA; MONTEIRO, 2008; NEVILLE 2011).

A figura abaixo demonstra influência da relação água/cimento e grau de hidratação na porosidade capilar e total da pasta de cimento.

Figura 2 – Porosidade capilar



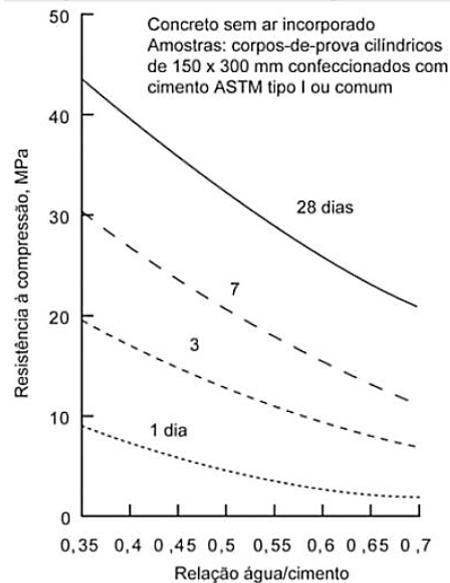
Fonte: (NEVILLE, 1997)

3.5.1.4 Idade

A idade é de extrema importância quando se analisa a relação entre água/cimento e resistência, onde observa-se variações para cada tipo de cimento em diferentes idades. O tipo de cura do concreto também tem influência sobre sua resistência (NEVILLE, 1997).

A figura abaixo mostra a influência da relação água/cimento e idade na resistência do concreto.

Figura 3 – Resistência compressão x Relação água/cimento



Fonte: (MEHTA & MONTEIRO, 2008)

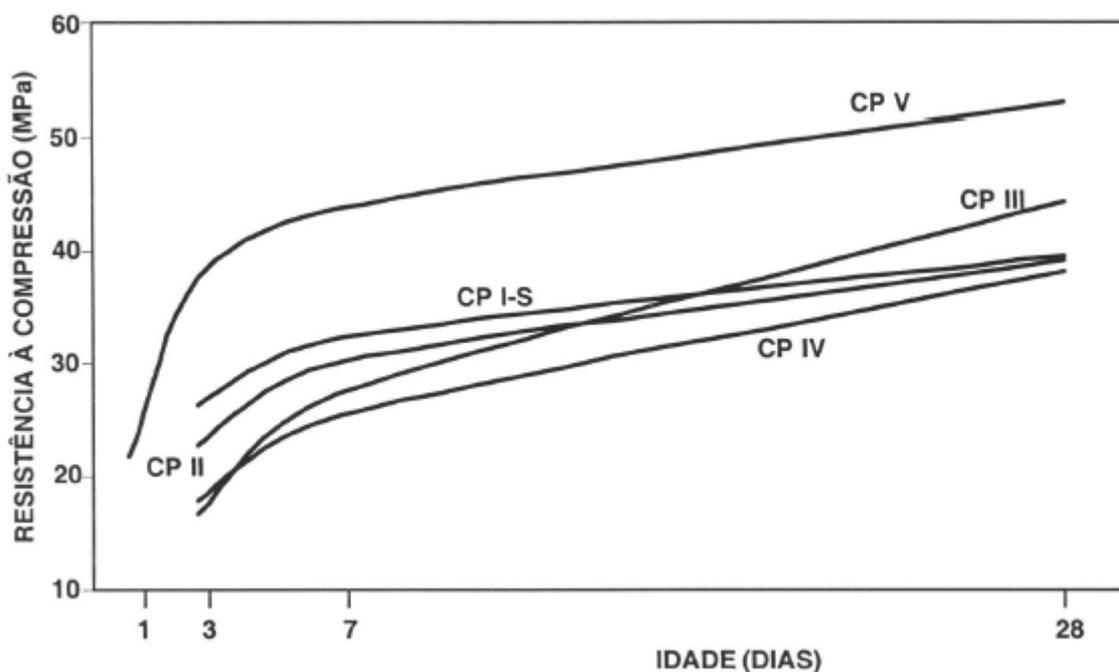
A resistência do concreto é geralmente caracterizada pelo seu valor obtido ao atingir 28 dias. A escolha de se basear a resistência do concreto ao atingir a idade de 28 dias se dá devido a lenta evolução no ganho de resistência do concreto, sendo necessário então adotar uma data onde o cimento já tivesse em um processo avançado de hidratação.

3.5.1.5 Tipos de cimento

Como citado anteriormente, há diferentes tipos de cimento e para cada um deles uma composição diferente, com teores diferentes de gesso, escórias, pozolana e carbonáticos. Para cada um destes tipos tem-se uma reação diferente e um ganho de resistência diferente de acordo com as idades.

A figura abaixo mostra a resistência a compressão para os tipos de cimento, em diferentes idades:

Figura 4 – Ganho de resistência dos cimentos



Fonte: ABCP

3.5.1.6 Forma e dimensões dos agregados.

Segundo Andolfato (2002), os agregados ocupam um grande percentual no concreto, desta forma suas características têm grande influência no resultado final, com relação as propriedades e a economia.

A forma da superfície dos grãos tem grande influência na trabalhabilidade, aderência e resistência do concreto. Os agregados que possuem superfície lisa contribuem com o adensamento e a mistura da pasta e os de superfície áspera aumentam a resistência a tração.

Ainda segundo o autor, a granulometria tem grande influência na resistência do concreto. A composição granulométrica é encontrada através de ensaios de peneiração, o resultado desses ensaios gera uma curva granulométrica.

Quando a curva tem variação, dentro dos limites especificados, os agregados se ajustam diminuindo o volume de vazios entre as partículas. O que gera grande economia de pasta de cimento.

3.5.2 Resistência a compressão

Um das principais características do concreto é sua resistência à compressão, que pode ser determinada através de ensaios de corpos de prova submetidos à compressão simples. Além de fornecer a resistência do concreto a compressão é possível através de relações empíricas determinar outras características físicas (CARVALHO; FILHO, 2016).

No Brasil os corpos de provas são cilíndricos, com diâmetro da base de 15 cm e altura de 30 cm ou 20 cm. A modelagem destes cilindros é especificada pela NBR 5738: Concreto – Procedimento para cura e moldagem e cura de corpos-de-prova e ensaiados conforme NBR 5739: Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.

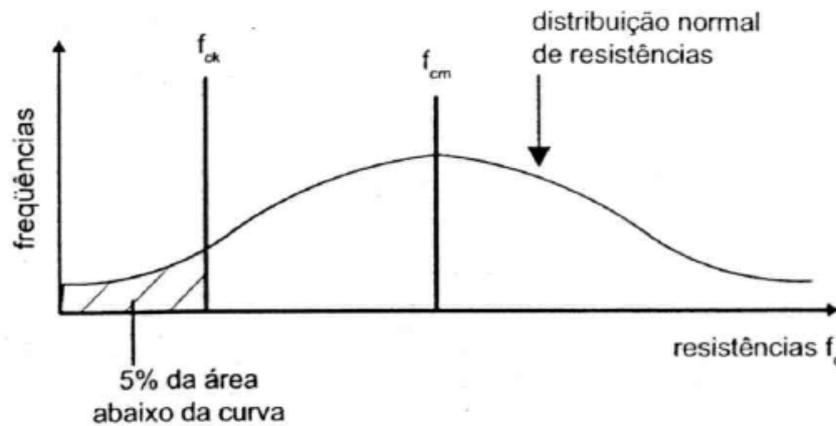
Segundo Carvalho e Filho (2016), para que se possa avaliar a resistência do concreto, é preciso realizar vários ensaios de corpos-de-prova e analisar os valores obtidos, que variam de acordo com a obra e a maneira com que o concreto foi confeccionado.

Os autores comentam que: “Tem sido adotado o conceito de resistência característica, uma medida estatística que leva em conta não só o valor da média aritmética f_{cm} das cargas de ruptura dos ensaios dos corpos de prova, mas também o desvio da série de valores, S_c (CARVALHO; FILHO, 2016)”

Para uma mesma dosagem de concreto observa-se uma variação nos resultados da resistência, que seguem a curva de distribuição normal de Gauss, demonstrada na figura abaixo:

Na curva observa-se dois importantes valores, o f_{cm} , resistência média do concreto a compressão, e resistência característica do concreto à compressão, f_{ck} .

Figura 5 – Distribuição de Gauss para resistência



Fonte: (CARVALHO; FILHO, 2016)

O valor da resistência média é encontrado fazendo a média aritmética de todos os corpos de prova ensaiados, com base neste valor é possível encontrar a resistência característica, por meio da equação:

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,645 \times S_c \quad \text{Eq. (06)}$$

De acordo com a NBR 8953:2015, concreto para fins estruturais, a classificação do concreto pode ser definida com base em dois grupos. O grupo I, enquadra os concretos até a classe C50 e o grupo II aos concretos das classes superiores até o limite de C90. Os valores das classes representam as resistências características à compressão em MPa para as idades de 28 dias.

3.5.3 Resistência a tração

Segundo Carvalho e Filho (2016), o concreto é um material que resiste mal a tração, o que normalmente não se considera. Mas a resistência à tração se relaciona com a capacidade de resistência a esforços cortantes e fissuração, onde é necessário conhecer este valor de resistência. Existem três tipos de ensaio para se obter a resistência à tração: flexotração, compressão diametral e tração direta

3.5.3.1 Ensaio tração direta

Os ensaios de tração direta são de difícil aplicação, devido aos dispositivos que fixam o corpo de prova aplicarem tensões secundárias que devem ser consideradas. Desta forma se torna difícil aplicar uma força sem causa excentricidade (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

3.5.3.2 Ensaio tração na compressão diametral

A determinação da tração na compressão diametral é bem simples, um destes motivos é utilizar o mesmo modelo cilíndrico de corpo de prova dos ensaios de compressão. Os ensaios são realizados conforme NBR 7222:2011, concreto e argamassa – determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Este ensaio é conhecido como o ensaio brasileiro de resistência à tração, por ter sido criado pelo engenheiro e professor L. F. Lobo Carneiro.

3.5.3.3 Ensaio de tração na compressão diametral

Segundo Mehta e Monteiro (2008), a determinação da resistência a flexão é expressa através da análise do modulo de ruptura da peça, que é a resistência máxima suportada antes da ruína.

O ensaio segue as especificações da NBR 12142:2010, onde se emprega o princípio de uma viga simplesmente, com aplicação de cargas de mesma intensidade simetricamente posicionadas em relação ao centro do vão. O corpo de prova para este ensaio deve ser moldado seguindo as diretrizes da NBR 5738:2008.

3.5.4 Modulo de elasticidade

Segundo Carvalho e Filho, o módulo de elasticidade é uma grandeza mecânica que mede a rigidez de um material, o mesmo pode ser definido a partir da relação entre tensões e deformações.

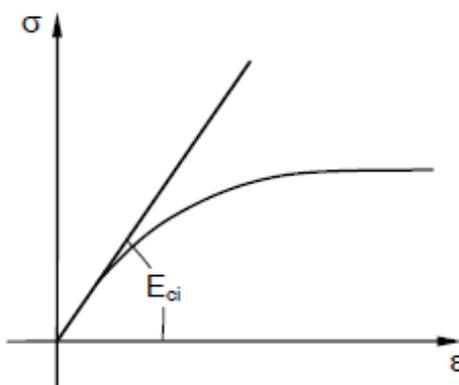
O módulo de elasticidade, está ligado a densidade de um material. O concreto por ser um material heterogêneo e multifásicos, sua densidade deve levar em conta a densidade e o módulo de seus principais componentes, além das características da zona de transição na

interface. No concreto, a relação entre resistência e módulo de elasticidade se relacionam com a porosidade de seus materiais constituintes (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Segundo a lei de Hooke, a relação entre tensão e deformação para determinados intervalos, pode ser considerada linear, ou seja, $\sigma = E \xi$, sendo ξ a deformação específica e E o módulo de elasticidade.

Segundo Pinheiro, et al., (2010), quando analisado o concreto, seu módulo de elasticidade é aplicado somente a um trecho da parte retilínea da curva tensão versus deformação. Desta forma se é obtido o módulo de deformação tangente inicial, E_{ci} .

Figura 6 – Módulo de deformação



Fonte: (PINHEIRO, 2010)

O módulo de deformação tangente inicial pode ser obtido conforme ensaios regulamentos pela NBR 8522:2017.

A NBR 6118:2014, comenta que: Quando os ensaios para determinação do módulo de elasticidade inicial não forem feitos e não houver dados precisos sobre o concreto, tendo como referência sua resistência aos 28 dias, pode-se estimar através das expressões abaixo o seu valor:

$$E_{ci} = 5600 \times \sqrt{f_{ck}} \quad \text{Eq. (07)}$$

O módulo de elasticidade secante, E_{cs} , é utilizado para análise de projeto, quando se diz respeito aos esforços solicitantes e verificação de estados limites de serviço. O valor pode ser obtido através da expressão:

$$E_{cs} = 0,85 \times E_{ci} \quad \text{Eq. (08)}$$

Quando se avalia o comportamento de elementos estruturais de seção transversal constante, pode ser utilizado um módulo de elasticidade único, à tração e a compressão, igual ao módulo de elasticidade secante.

3.6 Aditivos

Aditivos são produtos líquidos ou sólidos que quando adicionados nas quantidades corretas ao concreto modelam algumas de suas características, para adequá-las as condições previstas em projeto pela NBR 11768:2011

Segundo Yazigi (2011), os aditivos quando adicionados de acordo com as recomendações do fabricante, produzem os resultados esperados sem que dano algum as demais propriedades do concreto. Ainda segundo o autor, a massa de aditivo adicionada ao concreto é muito pequena, chegando a 5% em relação à massa de cimento utilizada. Para se obter um resultado confiável e eficiente do aditivo, o mesmo depende de alguns fatores importantes. O primeiro é utilizar as quantidades corretas estabelecidas pelo fabricante do produto, o segundo é observar a mistura do aditivo, como a quantidade é muito pequena em relação a massa total, deve-se garantir uma mistura homogênea para que o resultado seja positivo.

A norma brasileira NBR 11768:2011, classifica os aditivos quanto ao efeito produzido no concreto:

Quadro 4 – Tipos de aditivos e seus efeitos no concreto

Tipo	Sigla	Efeito
Plastificante	P	Aumenta o índice de consistência do concreto, e possibilita redução de 6% na quantidade de água.
Retardador	R	Aditivo que aumenta o tempo entre o início e fim de pega do concreto.
Acelerador	A	Reduz o tempo para o início e o fim da pega, e acelera o ganho de resistência inicial.
Plastificante retardador	PR	Combina os efeitos dos aditivos plastificantes e retardadores.
Incorporador de ar	AIR	Incorpora pequenas bolhas de ar ao concreto.
Superplastificante	SP	Aumenta o índice de consistência do concreto, e possibilita redução de 12% na quantidade de água.

Superplastificante retardador	SPR	Combina efeitos dos aditivos superplastificantes e retardadores.
Superplastificante acelerador	SPA	Combina efeitos dos aditivos superplastificantes e aceleradores.

Fonte: ABNT NBR 11768:2011

Segundo NBR 12655:2015: “Para o uso de aditivos em quantidade menores do que 2g/kg de cimento, exige-se que este seja disperso em parte da água de amassamento.” e “Se o total líquido contido no aditivo exceder 3 dm³/m³ de concreto, seu conteúdo de água deve ser considerado no cálculo da relação água/cimento.”

Os aditivos do tipo A, são os que quimicamente se combinam com cimento durante o processo de hidratação, que por ação catalítica acelera o endurecimento do cimento, tendo geralmente também efeito de redução no tempo para o início da pega. A maioria dos aceleradores tem como o principal elemento o cloreto, que está como um dos mais eficientes. Estes aditivos não são indicados para concreto armado ou protendido uma vez que os cloretos podem corroer o aço. Neste caso existem aceleradores a base de outros compostos como: carbonatos, silicatos, fluo silicatos e hidróxidos, alguns destes são alcalinos e não apresentam problema com a corrosão da armadura (BAUER, 2000; YAZIGI, 2011).

3.7 Dosagem

Segundo Neville (1998), a dosagem pode ser definida como:

“O processo de selecionar os componentes adequados do concreto, determinas as respectivas quantidades relativas com o objetivo de ser obter da maneira mais econômica possível, um concreto com certas características mínimas, especialmente a consistência, a resistência e a durabilidade.”

A dosagem pode ser quantificada em volume ou peso, diversas vezes é utilizada uma indicação de traço mista, o cimento em peso e os agregados em volume. Para qualquer uma das formas de medidas utilizadas, o resultado final sempre terá o cimento como unidade principal, e as demais se referenciando em sua quantidade (PETRUCCI, 1968).

Helene & Terzian (1992) consideram o processo de dosagem do concreto muito abrangente, uma vez que é necessário conhecer suas propriedades físicas e mecânicas no estado

fresco e no estado endurecido. Determinam então que a dosagem é a mistura proporcional dos materiais cimento, água, agregado e se necessário o uso de aditivos, para que tenham as seguintes características:

- I. No estado fresco, possuir trabalhabilidade para que seja possível seu transporte, lançamento e adensamento sem que ocorra segregação.
- II. No estado endurecido, tenha as condições que foram especificadas em projeto como resistência, durabilidade, permeabilidade e outras características compatíveis com a forma e utilização para o qual foi projetado.
- III. Uma vez atendida as propriedades tanto no estado fresco quanto no endurecido a mistura deve ter um custo economicamente viável.

Existem duas formas para realizar a dosagem do concreto, a forma empírica e a racional. Na dosagem empírica o concreto é dosado de forma proporcional, porém arbitrariamente, onde os materiais são adicionados conforme o resultado visível e a trabalhabilidade ali observada. Já na dosagem racional a quantidade a ser utilizada é definida com base nas características de cada material, que é definido por ensaios em laboratório.

Rodrigues (1998), relaciona 4 métodos de dosagem de concreto que são utilizados no Brasil, sendo eles:

1. Método do Instituto de Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul (ITERS), que é atualmente conhecido como CIENTEC – Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul.
2. Método do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S A (IPT).
3. Método do Instituto Nacional de Tecnologia do Rio de Janeiro (INT).
4. Método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP).

Sobral (1980), fez uma análise comparativa entre os métodos de dosagem acima citados, com base na fixação inicial da relação agregado graúdo/miúdo e a determinação do consumo de cimento a partir da relação água/cimento e trabalhabilidade conhecidos, demonstrada no quadro abaixo:

Quadro 5 – Tipos de dosagem relacionadas com uso dos materiais

MÉTODO DE DOSAGEM DO CONCRETO	RELAÇÃO AGREGADO MIÚDO/GRAÚDO	CONSUMO DE CIMENTO
INT – Instituto Nacional de Tecnologia do Rio de Janeiro	Em função de uma composição granulométrica que se adapte às curvas padrões.	Em função da relação água/cimento e da porcentagem água/mistura seca que por sua vez, depende do diâmetro do agregado e do processo de adensamento.
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo	Em função dos módulos de finura dos agregados	Tentativas experimentais, em função da trabalhabilidade desejada.
ITERS – Instituto Tecnológico do Estado do Rio Grande do Sul	Experimentalmente ensaios realizados com aparelho POWERS ou VEBE	Tentativas, tendo em vista a trabalhabilidade desejada.
ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland	Em função das massas específicas aparente secas dos agregados, determinadas em ensaios padronizados.	Com auxílio da rota de igual trabalhabilidade, relacionando o traço à relação água/cimento.

Fonte: O autor

3.7.1 Parâmetros utilizados nos métodos de dosagem

Segundo Sobral (1980), alguns dos parâmetros que são utilizados para determinação das características do concreto são comuns a os métodos de dosagem usados no Brasil. Os parâmetros são:

- a) O cálculo da resistência de dosagem;
- b) Determinação da relação água/cimento em função da resistência à compressão do concreto;
- c) Determinação da relação água/cimento em função da durabilidade do concreto.

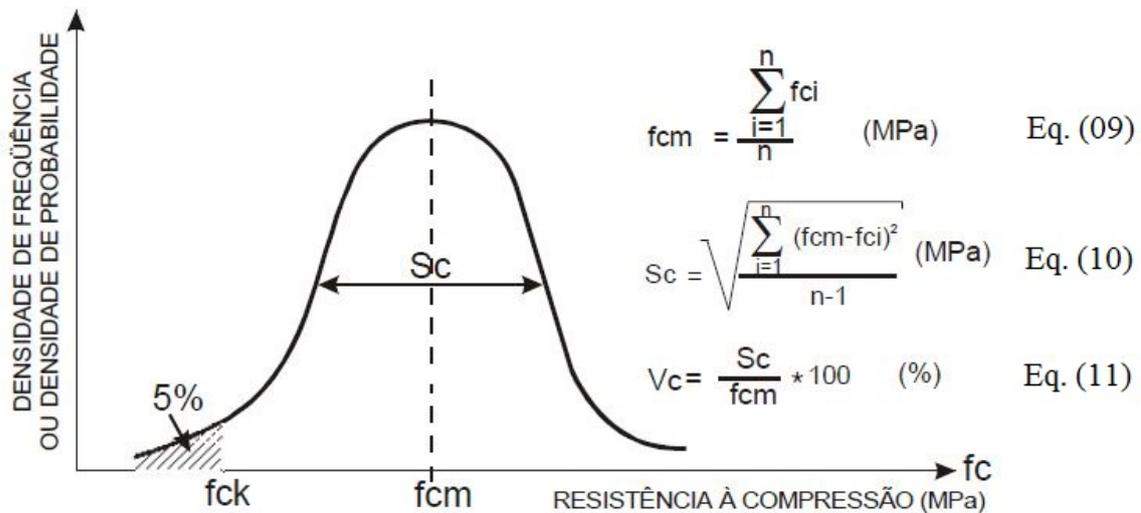
A) CALCULO DA RESISTENCIA DE DOSAGEM.

Como citado anteriormente, a resistência do concreto pode ser analisada através da distribuição de Gauss, que depende do valor da média e do desvio padrão. A resistência

característica a compressão do concreto (f_{ck}) é o valor de resistência que apresenta probabilidade de 5% de não ser alcançado.

A figura abaixo mostra a distribuição de Gauss, as equações utilizadas para o determinar os parâmetros de resistência.

Figura 7– Curva de Gauss usada na dosagem de concreto



Fonte: (HELENE & TERZIAN, 1992)

Onde:

f_{ck} : Resistência característica à compressão do concreto (MPa)

f_{cm} : Resistência à compressão média do concreto obtida a j dias de idade (MPa)

f_{ci} : Resistência à compressão individual de cada um dos exemplares de uma amostra, a j dias de idade (MPa)

S_c : Desvio-padrão do processo de produção e ensaio de resistência do concreto obtido de uma ou mais amostras, a j dias de idade (MPa)

V_c : Coeficiente de variação do processo de produção e ensaio de resistência do concreto obtido de uma ou mais amostras, a j dias de idade (%)

n : Número de exemplares que constituem a amostra

O desvio padrão (S_d), avalia as variações que podem ocorrer durante as etapas de produção do concreto, este valor, em função das condições de preparo do concreto são normatizados pela ABNT, através da NBR 12655:2015 de acordo com os parâmetros transcritos para tabela abaixo:

Tabela 5 – Valores de Sd para cada condição de preparo do concreto

Condição de preparo do concreto	Descrição	Valor de Sd a ser adotado
Condição “A “	Aplicável às classes C10 até C80: O cimento e os agregados são medidos em massa, a água de amassamento é medida em massa ou volume com dispositivo dosador e corrigida em função da umidade dos agregados.	Sd = 4,0 MPa
Condição “B “	Aplicável às classes C10 até C25: o cimento é medido em massa, a água de amassamento é medida em volume mediante dispositivo dosador e os agregados medidos em massa combinada com volume. Aplicável às classes C10 até C20: o cimento é medido em massa, a água de amassamento é medida em volume mediante dispositivo dosador e os agregados medidos em volume. A umidade do agregado miúdo é determinada pelo menos três vezes durante o serviço do mesmo turno de concretagem. O volume de agregado miúdo é corrigido através da curva de inchamento estabelecida especificamente para o material utilizado.	Sd = 5,5 MPa
Condição “C “	Aplicável apenas aos concretos de classes C10 e C15: o cimento é medido em massa, os agregados são medidos em volume, a água de amassamento é medida em volume e a sua quantidade é corrigida em função da estimativa da umidade dos agregados e da determinação da consistência do concreto, conforme disposta na NBR 7273, ou outro método normatizado.	Sd = 7,0 MPa

Fonte: ABNT NBR 12655:2015

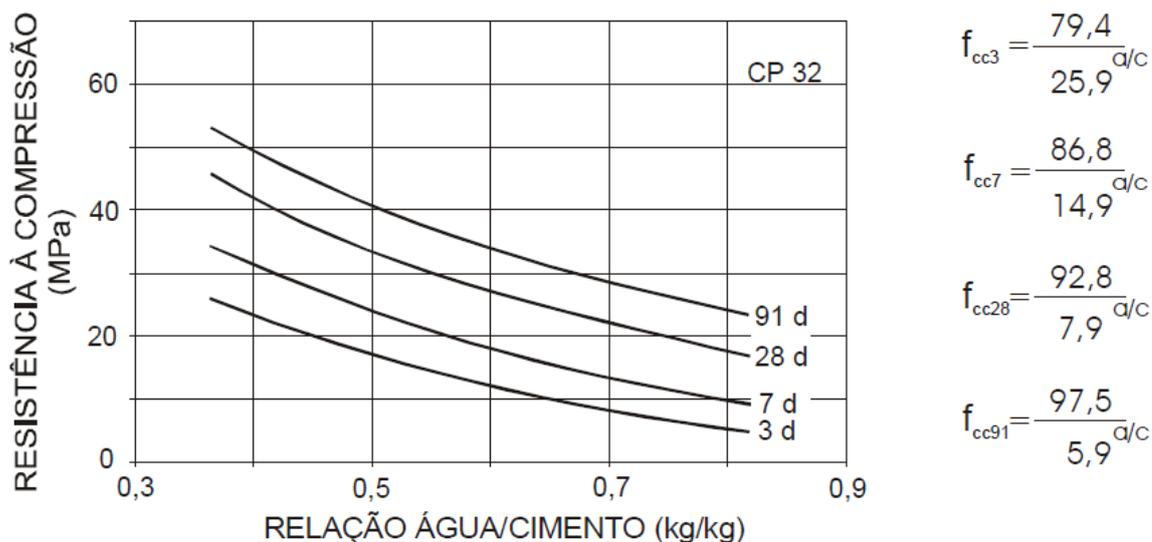
Os valores de Sd deve ser substituído na equação (06) para que se tenha uma estimativa da resistência de dosagem.

B) DETERMINAÇÃO DA RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO EM FUNÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO

Segundo Helene & Terzian (1992) a resistência do concreto é função da relação entre água e cimento. Os autores citam que os valores desta relação devem ser adotados com base em curvas determinadas experimentalmente para os cimentos nacionais, que devem mostrar a

relações entre resistência a compressão e relação água/cimento. A figura abaixo mostra as curvas que relacionam a resistência média a compressão em função da relação água/cimento para os cimentos do tipo CP 32.

Figura 8 – Determinação da relação água/cimento



Fonte: (HELENE & TERZIAN, 1992)

C) DETERMINAÇÃO DA RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO EM FUNÇÃO DA DURABILIDADE DO CONCRETO

Segundo Rodrigues (1998) a durabilidade do concreto é determinada como a capacidade de resistir às ações de deterioração, que pode ser do tempo, químicas de abrasão ou outra ação de deterioração. A durabilidade do concreto, vai depender então à quais ações ele será submetido e a duração desta exposição, de acordo com está exposição se determina valores máximos da relação água/cimento.

A NBR 6118:2014 determina que a agressividade do meio ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas, e independem de outras variações que devem ser previstas no dimensionamento como, ações mecânicas, variações volumétricas e retração hidráulica. Tendo conhecimento das condições de exposição do concreto pode-se determinar a classe de agressividade ambiental de acordo com a tabela abaixo:

Tabela 6 – Classes de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Urbana	
II	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha	Grande
		Industrial	
IV	Muito Forte	Industrial	Elevado
		Respingos de maré	

Fonte: ABNT NBR 6118:2014

Partindo da relação existente entre água/cimento, resistência a compressão e durabilidade do concreto, a NBR 6118:2014 sugere a utilização de uma relação de água/cimento (ac) máximo para as misturas desde que garantidos o consumo mínimo de cimento por metro cúbico estabelecidos pela NBR 12655:2015. A relação pode ser observada na tabela a seguir:

Tabela 7 – Relação água cimento e classe de concreto conforme agressividade

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto	CA	$\geq C 20$	$\geq C 25$	$\geq C 30$	$\geq C 40$
	CP	$\geq C 25$	$\geq C 30$	$\geq C 35$	$\geq C 40$

CA: Corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado

CP: Corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido

Fonte: ABNT NBR 12655:2015

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Métodos Utilizados

Os métodos utilizados para caracterização dos materiais, produção e controle das características do concreto, foram adotados de acordo com os equipamentos disponíveis para uso no Laboratório de solos da Cidade Universitária do UNIS.

Foi possível a determinação de todas as características dos agregados e do cimento, conforme as normas vigentes da ABNT. A dosagem pelo método da ABCP com a condição “A” onde os materiais foram medidos e pesados com auxílio de dosadores e balanças de precisão. Para corrigir a umidade dos materiais foi utilizada a estufa para secagem dos agregados antes da produção do concreto.

4.2 Caracterização dos materiais

Os materiais utilizados no estudo foram adquiridos de distribuidores na cidade de Varginha-MG. Os materiais foram submetidos a ensaios, prescritos em norma pela ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Os ensaios e desenvolvimento do trabalho será foi realizado no Laboratório de Engenharia Civil, do Centro Universitário do Sul de Minas – Unis, situado no campus Cidade Universitária.

Os procedimentos de dosagem foram feitos seguindo os métodos da ABCP.

4.2.1 Caracterização do cimento

O cimento utilizado para confecção dos corpos de prova é do tipo CP IV – 32. A massa específica do cimento foi determinada conforme prescrições da NBR NM 23:2001 – Cimento Portland e outros materiais em pó.

Tabela 8 – Massa específica do cimento

Massa de cimento (g)	Volume (frasco) (cm ³)	Volume (frasco + cimento) (cm ³)	Massa específica (g/cm ³)
70	0,50	23,10	3,097
65	0,50	22,40	2,968

Fonte: O autor

4.2.2 Caracterização do Agregado Miúdo

A) Composição Granulométrica: O ensaio para determinação da composição foi realizado de acordo com NBR 7217. Que consistiu primeiramente na redução da amostra por quarteamento conforme prescrições da NBR NM 27:2001 – Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Após redução da amostra, peneirou-se conforme peneiras ABNT, a massa retida em cada uma delas foi pesada separadamente.

Com os valores das massas retidas em cada peneira, faz-se a soma das porcentagens retidas acumuladas e determina-se o módulo de finura e a dimensão máxima característica.

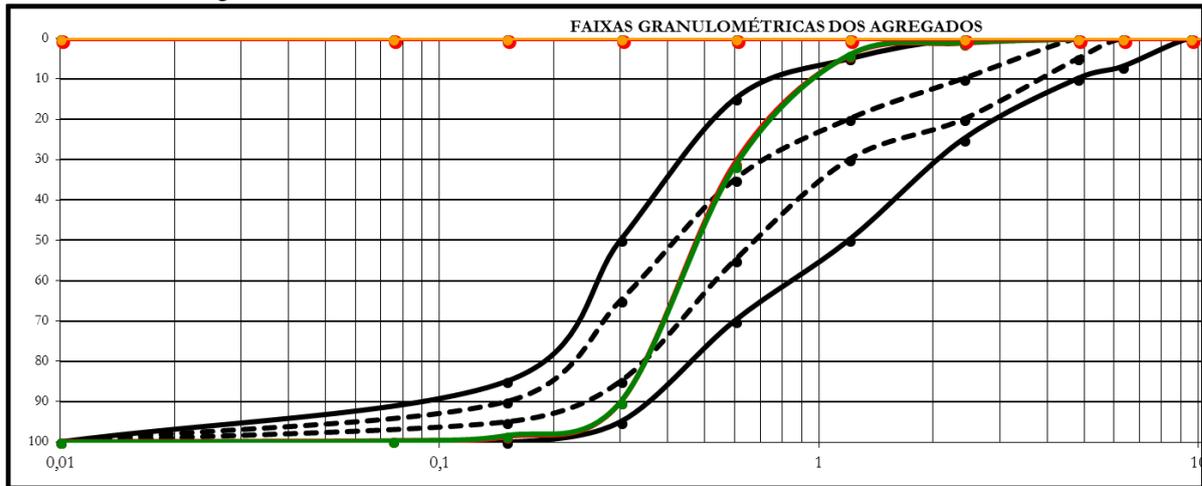
Tabela 9 – Análise granulométrica areia

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS AGREGADOS NBR – 7217						
Peneira (mm)	Brita 0			Brita 0		
	(g)	% Ret	% Acum	(g)	% Ret	% Acum
76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,8	0,94	0,19	0,20	0,81	0,20	0,20
2,4	5,31	1,06	1,26	4,30	0,90	1,00
1,2	15,10	3,02	4,28	15,39	3,10	4,10
0,6	134,00	26,82	31,10	138,05	28,42	32,52
0,3	295,70	59,19	90,29	291,44	57,57	90,09
0,15	42,44	8,49	98,78	40,31	8,35	98,44
0,075	4,89	0,98	99,75	6,59	1,00	99,44
Fundo	1,23	0,25	100	1,65	0,55	99,99
Total	499,61			498,54		
Módulo de finura			2,26	Módulo de finura		2,26
Dimensão Máxima			1,20	Dimensão Máxima		1,20

Fonte: O autor

Com base nos dados coletados e demonstrados na tabela acima foi possível determinar a faixa granulométrica em que se encontra a areia.

Gráfico 1 – Curva granulométrica areia



Fonte: O autor

A curva apresentada em verde demonstra a distribuição da areia, como pode ser observado essa distribuição ficou dentro das curvas de uso para dosagem do concreto.

B) Massa unitária: Determinou-se a massa unitária da areia no estado solto e compactado conforme NBR NM 45 – Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios.

Tabela 10 – Massa unitária areia estado solto

Volume interno da caixa (dm ³)	Peso da caixa vazia (kg)	Peso da areia + recipiente (kg)	Pelo líquido da areia (Kg)	Média do peso líquido (kg)	Densidade média (g/cm ³)
15,00	7,04	25,72	18,68	19,07	1,27
		26,04	19,00		
		26,56	19,52		

Fonte: O autor

Tabela 11 – Massa unitária areia estado compacto

Volume interno da caixa (dm ³)	Peso da caixa vazia (kg)	Peso da areia + recipiente (kg)	Pelo líquido da areia (Kg)	Média do peso líquido (kg)	Densidade média (g/cm ³)
15,00	7,04	27,60	20,56	21,24	1,42
		28,30	21,26		
		28,98	21,91		

Fonte: O autor

C) Massa Específica: Para determinação da massa específica da areia foram utilizadas as diretrizes da NBR NM 52:2003 – Agregado miúdo – determinação da massa específica e

massa específica aparente, na qual foi feita secagem do material e o mesmo foi submerso em água. Após retirado da submersão testou-se através da modelagem do tronco se o agregado já estava na condição de saturado superfície seca. Quando atingido este estado pode-se começar o ensaio para determinação da massa específica.

Primeiro coloca-se 500g de areia dentro do recipiente e completa-se com água até a marca de 500 cm³.

Tabela 12 – Dados coletados para cálculo

Massa areia seca (recipiente + areia) (g)	627,30
Massa recipiente areia (g)	123,50
Massa conjunto (frasco + agregado) (g)	736,08
Massa conjunto (frasco + agregado + água) (g)	1018,53
Massa específica da água (g/cm ³)	1,00

Fonte: O autor

Através dos dados calculados foi possível determinar a massa específica utilizando das formulas abaixo:

$$d = \frac{M}{V - \frac{M2 - M1}{P}} \quad \text{Eq. (18)}$$

d: massa específica do agregado seco [g/cm³]

M: massa agregado seco [g]

V: volume do frasco [cm³]

M1: massa conjunto frasco + agregado [g]

M2: massa conjunto frasco + agregado + água [g]

P: massa específica da água [g/cm³]

Substituindo os valores na equação (18) obtém-se o valor para massa específica da areia de 2,315 g/cm³.

D) Teor de finos: O teor de finos é a porcentagem de material que passa pela peneira ABNT 75µm. A NBR NM 46:2001 – Agregados – determinação do material fino que passa através da peneira 75µm, por lavagem.

Realizou-se a pesagem do material seco, depois sua lavagem foi feita utilizando água até que a cor da água ficasse clara. Após este procedimento a areia foi novamente secada em estufa e pesada, com os dados obtidos determinou-se o teor de finos utilizando a equação (19).

Tabela 13 – Teor de finos agregado miúdo

Massa amostra seca (g)	Massa amostra seca após lavagem (g)	Teor de finos (%)
100	94,74	5,26

Fonte: O autor

$$T = \frac{M1-M2}{M1} \times 100 \quad \text{Eq. (19)}$$

T: teor de umidade (%)

M1: massa amostra seca [g]

M2: massa amostra seca após lavagem [g]

4.2.3 Caracterização Agregado Graúdo

A) Composição granulométrica: A mesma metodologia utilizada para determinação da composição granulométrica do agregado miúdo foi aplicada para o agregado graúdo, seguindo as especificações das normas da ABNT.

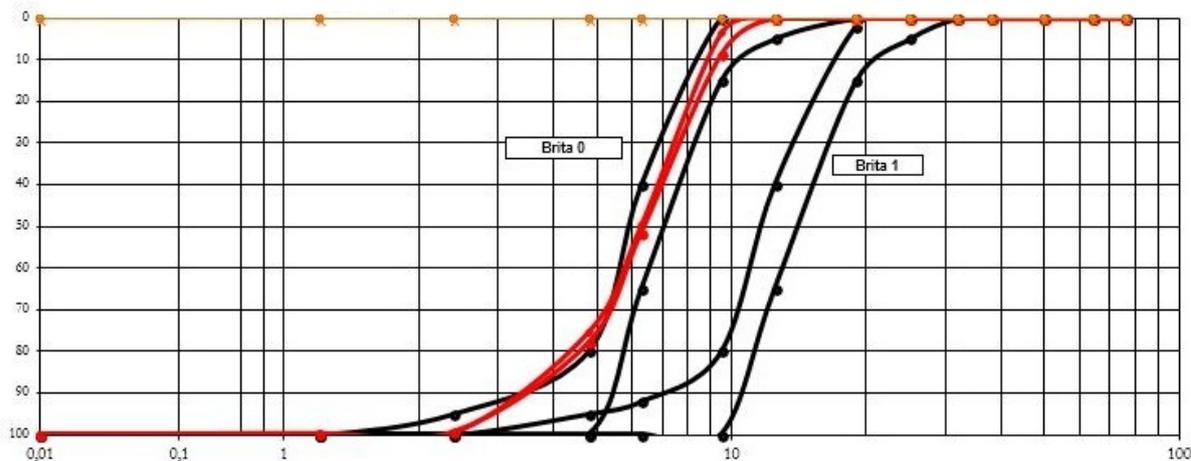
Tabela 14 – Análise granulométrica brita

Peneira (mm)	Brita 0			Brita 0		
	(g)	% Ret	% Acum	(g)	% Ret	% Acum
76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9,5	36,50	3,70	3,70	87,26	8,73	8,733
6,3	461,30	46,1	49,8	427,96	42,81	51,54
4,8	257,10	25,7	75,5	264,57	26,47	78,00
2,4	242,13	24,2	99,7	213,89	21,4	99,40
1,2	1,38	0,1	99,9	3,87	0,39	99,79
0,6	0,11	0,0	99,9	0,20	0,02	99,81
0,3	0,25	0,0	99,9	0,37	0,04	99,84

0,15	0,10	0,0	99,9	0,12	0,01	99,86
0,075	0,25	0,0	99,9	0,57	0,06	99,92
Fundo	0,60	0,1	100	0,88	0,09	99,99
Total	999,82			999,69		
Módulo de finura			5,95	Módulo de finura		5,99
Dimensão Máxima			12,5	Dimensão Máxima		12,5

Fonte: O autor

Gráfico 2 – Curva granulométrica brita



Fonte: O autor

B) Massa unitária: Para determinar a massa unitária solta e compacta da brita, foram seguidas as prescrições da NBR NM 45:2006.

Tabela 15 – Massa unitária brita estado solto

Volume interno da caixa (dm ³)	Peso da caixa vazia (kg)	Peso da areia + recipiente (kg)	Pelo líquido da areia (Kg)	Média do peso líquido (kg)	Densidade média (g/cm ³)
15,00	7,04	28,67	21,63	21,54	1,44
		27,89	20,85		
		29,18	22,14		

Fonte: O autor

Tabela 16 – Massa unitária brita estado compacto

Volume interno da caixa (dm ³)	Peso da caixa vazia (kg)	Peso da areia + recipiente (kg)	Pelo líquido da areia (Kg)	Média do peso líquido (kg)	Densidade média (g/cm ³)
15,00	7,04	31,46	24,42	23,72	1,58
		30,67	23,63		
		30,15	23,11		

Fonte: O autor

C) Massa específica: A massa específica do agregado graúdo foi determinada conforme norma brasileira NBR NM 53 – Agregado graúdo – Massa específica, massa específica aparente e absorção de água.

Tabela 17 – Massa específica da brita

Massa amostra (g)	Massa gaiola submersa	Massa submersa (Amostra + gaiola)	Massa Específica (g/cm ³)
2000,00	223,45	1530,41	2,89

Fonte: O autor

D) Teor de finos: Para determinar o teor de finos do agregado graúdo, foi utilizado as mesmas prescrições normativas da NBR NM 46:2001 e a equação (19).

Tabela 18 – Teor de finos agregado graúdo

Massa amostra seca (g)	Massa amostra seca após lavagem (g)	Teor de finos (%)
2500	2489,12	0,435

Fonte: O autor

E) Umidade superficial: A determinação da umidade superficial foi feita de acordo com a NBR 9939:1987 – Agregados – determinação do teor de umidade total, por secagem, em agregado graúdo. Para realização do ensaio separou-se por quarteamento uma amostra, que foi pesada para determinar sua massa no estado natural, depois colocou-se a amostra na estufa até secagem completa.

Com o valor das massas iniciais e finais foi possível determinar através da equação (20) o teor de umidade do agregado.

Tabela 19 – Teor de umidade agregado graúdo

Massa Amostra Inicial (g)	Massa amostra seca (g)	Teor de umidade total (%)
2000	1989,29	0,5355

Fonte: O autor

$$h = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100 \quad \text{Eq. (20)}$$

h: teor de umidade total [%]

m_i: massa inicial da amostra [g]

m_f: massa final da amostra [g]

4.3 Aditivos

4.3 Aditivo acelerador de pega

O aditivo utilizado é do tipo acelerador de pega, com sua composição a base de silicatos. O fabricante prescreve um consumo aproximado que varia de 3% a 15% sobre a massa de cimento que será utilizada.

Mais informações e características do produto podem ser observadas no Anexo 01.

4.4 Detergente

Segundo Daltin (2014), aditivo tensoativo é um composto que apresenta uma parte com característica apolar ligada a outra com característica polar que faz com que as moléculas de cimento revestidas com este aditivo sofram repulsão, se espalhando. Esta repulsão faz com que a fluidez aumente, reduzindo assim a quantidade de água necessária para se alcançar a trabalhabilidade.

Os aditivos tensoativos são classificados segundo NBR 11768:2011 como incorporadores de ar (AIR). Os incorporadores introduzem pequenas bolhas de ar na massa de concreto reduzindo sua permeabilidade, melhorando sua coesão e reduzem tendência de segregação e exsudação no estado fresco.

4.4 Método de dosagem de concreto da ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

A metodologia de dosagem da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) foi publicada por meio de um Estudo Técnico (ET-67) no ano de 1984, com o título de: “Parâmetros de dosagem de Concreto”, o método apresentado possui características de dosagem experimentais.

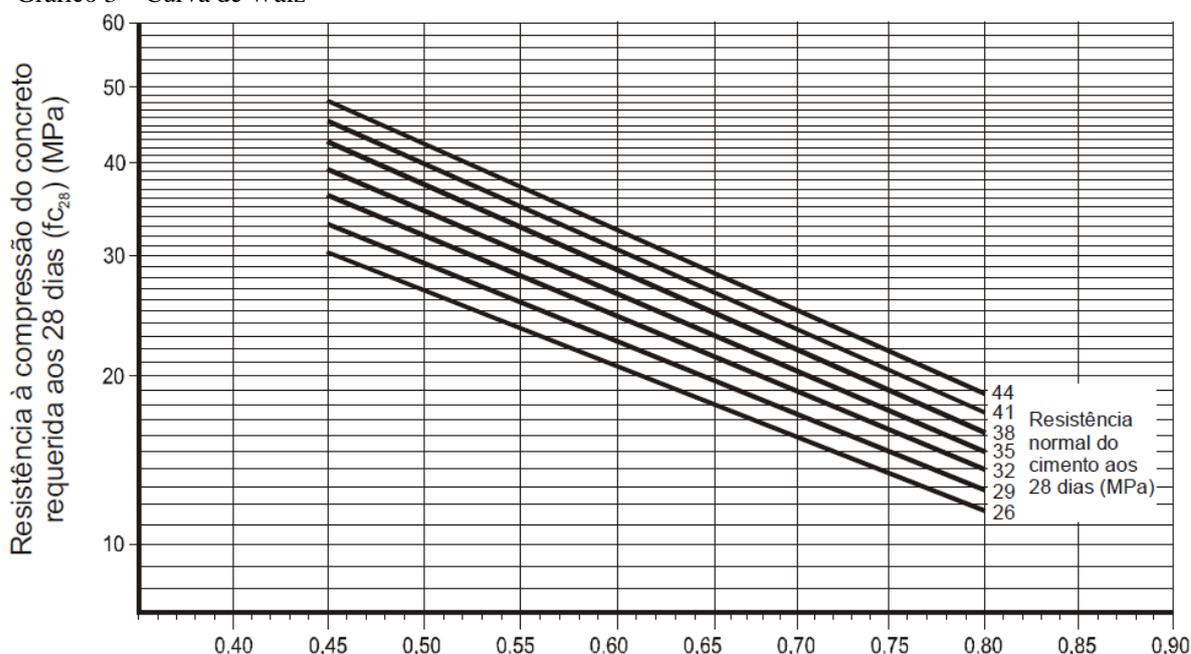
O desenvolvimento do método da ABCP segundo Rodrigues (1998), obedece às seguintes etapas:

1. FIXAÇÃO DA RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO (A/C)

A fixação da relação água/cimento é feita com base no uso da estrutura, sua local de construção, durabilidade e resistência mecânica necessária para atendimento do projeto. É recomendado utilizar os valores das tabelas acima apresentadas de acordo com NBR 6118:2014.

A resistência à compressão do concreto é o principal parâmetro da resistência mecânica a ser considerado na fixação da relação a/c. O valor desta relação é estimado com base na curva de Abrams, que por sua vez, deve ser determinado em função do tipo de cimento. Quando não se dispõe da curva de Abrams e não houver restrições quanto à durabilidade, é possível utilizar a Curva de Walz, mostrada abaixo:

Gráfico 3 – Curva de Walz



Fonte: (RODRIGES, 1998)

2. ESTIMATIVA DO CONSUMO DE ÁGUA DO CIMENTO (CAQ)

A estimativa do consumo de água para a dosagem do concreto é feita com base na consistência da mistura ainda fresca, medida através do abatimento do tronco de cone. Segundo Rodrigues (1998), a determinação do consumo de água depende das características do agregado graúdo, principalmente do seu Diâmetro Máximo Característico.

O autor apresenta uma tabela onde através do resultado desejado para o abatimento é possível determinar uma estimativa inicial de consumo de água por metro cúbico de concreto:

Tabela 20 – Determinação do consumo de água com base no DMC

Abatimento do tronco de cone	Dimensão máxima característica do agregado graúdo				
	9,5 mm	19,0 mm	25,0 mm	32,0 mm	38,0 mm
40 a 60 mm	220 l/m ³	195 l/m ³	190 l/m ³	185 l/m ³	180 l/m ³
60 a 80 mm	225 l/m ³	200 l/m ³	195 l/m ³	190 l/m ³	185 l/m ³
80 a 100 mm	230 l/m ³	200 l/m ³	205 l/m ³	200 l/m ³	190 l/m ³

Fonte: (RODRIGUES, 1998)

O método recomenda a verificação experimental do consumo de água, que pode ser feito através da equação abaixo para se obter uma estimativa do consumo de água por metro cúbico de concreto.

$$Car = Cai \times \left(\frac{STr}{STi} \right)^{0,1} \quad \text{Eq. (12)}$$

Onde:

Car: Consumo de água requerida

Cai: Consumo de água inicial

STr: Abatimento requerido

STi: Abatimento Inicial

3. ESTIMATIVA DO CONSUMO DE CIMENTO (C)

Conhecendo da relação água/cimento e determinando uma estimativa para o consumo de água por metro cúbico de concreto o consumo de cimento pode ser obtido pela equação apresentada abaixo:

$$C = \frac{Cag}{(a/c)} \quad \text{Eq. (13)}$$

C: Consumo de cimento por metro cúbico de concreto (kg/m³)

Cag: Consumo de água por metro cubico de concreto (l/m³)

(a/c): Relação água cimento (kg/kg)

4. ESTIMATIVA DO CONSUMO DE AGREGADOS

No método da ABCP a estimativa do consumo de agregados é feita com base em uma mistura em proporções adequadas de relação agregado graúdo/agregado miúdo, partindo do

princípio de colocar na mistura o máximo volume de agregado compactado seco por metro cúbico de concreto. Isto resulta em uma mistura com menor volume de vazios possível.

A tabela abaixo, desenvolvida pela ABCP através de dados experimentais apresenta os volumes compactados a seco de agregado graúdo, por metro cúbico de concreto, em função do seu Diâmetro Máximo característico e do Módulo de Finura do agregado miúdo.

Tabela 21 – Determinação do volume de agregado graúdo

Módulo de Finura da Areia	Dimensão máxima característica do agregado graúdo				
	9,5 mm	19,0 mm	25,0 mm	32,0 mm	38,0 mm
1,80	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,00	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,20	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,40	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,60	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,80	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,00	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,20	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,40	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,60	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Fonte: (RODRIGUES, 1998)

A estimativa do consumo de agregado graúdo por metro cúbico de concreto é dada pela equação abaixo:

$$C_p = V_{pc} \times M_{Ue} \quad \text{Eq. (14)}$$

C_p : Consumo do agregado graúdo por metro cúbico de concreto [kg/m^3]

V_{pc} : Volume compactado seco do agregado graúdo por m^3 de concreto [m^3]

M_{Ue} : Massa unitária compactada do agregado graúdo por m^3 de concreto [kg/m^3]

Segundo Rodrigues (1998), se na dosagem do concreto houver mais de um tipo de agregado graúdo, é recomendado que se adote uma proporção entre os dois tipos de agregados, para que não ocorra problemas com relação ao volume de vazios. A tabela abaixo desenvolvida pela ABCP apresenta as proporções que deverão ser adotadas:

Tabela 22 – Proporção recomendada pela ABCP quando utilizada combinação de agregados

BRITAS UTILIZADAS	PROPORÇÕES ENTRE BRITAS
Brita 0 – Brita 1	30% Brita 0 e 70% Brita 1
Brita 1 – Brita 2	50% Brita 1 e 50% Brita 2

Brita 2 – Brita 3	50% Brita 2 e 50% Brita 3
Brita 3 – Brita 4	50% Brita 3 e 50% Brita 4

Fonte: (RODRIGUES, 1998)

A estimativa da quantidade de agregado miúdo a ser consumida, é determinada quando são conhecidas as quantidades de cimento, água e agregado graúdo. A equação para sua determinação parte do princípio de que o volume de concreto final é formado pela soma de todos os volumes absolutos dos materiais que o constituírem. Assim, para o valor de um metro cúbico de concreto, o volume de agregado miúdo é dado pela equação abaixo:

$$V_a = 1 - \left(\frac{C}{Y_c} + \frac{C_p}{Y_p} + \frac{C_{ag}}{Y_{ag}} \right) \quad \text{Eq. (15)}$$

V_a : Volume do agregado miúdo por metro cúbico de concreto (m^3)

Y_c, Y_p, Y_{ag} : Massa específica do cimento, agregado graúdo e da água, respectivamente.

O consumo de areia então, poderá ser determinado através da equação (16):

$$C_a = Y_a \times V_a \quad \text{Eq. (16)}$$

C_a : Consumo do agregado miúdo (areia) por metro cúbico de concreto [kg/m^3]

Y_a : Massa específica do agregado miúdo (areia) [kg/m^3]

5. Apresentação do traço de concreto

Para apresentação do traço o mesmo é apresentado com relação ao cimento, sendo unitário seu valor. O traço segue a apresentação conforme equação () abaixo:

$$1,0 : \frac{C_a}{C} : \frac{C_p}{C} : (a/c) \quad \text{Eq. (17)}$$

6. AJUSTES EXPERIMENTAIS

O método da ABCP recomenda que seja feita uma mistura para fins experimentais, para que seja verificada a trabalhabilidade da mistura, e com base no resultado fazer as devidas alterações no traço.

Rodrigues (1998) apresenta alguns tipos de ajustes de acordo com os resultados observados:

- Se o resultado do abatimento for satisfatório, porém a mistura apresentar-se pouco argamassada, deve-se fazer correção do traço aumentando a quantidade de areia e diminuindo a de brita, mantendo assim as relações de agregados e os consumos de água e cimento;
- Se a mistura apresentar excesso de argamassa, deve-se acrescentar brita, as quantidades de água e cimento do traço devem ser corrigidas em função da quantidade;
- Quando a quantidade de água para amassamento não for suficiente, devem ser acrescentadas quantidades de água e cimento, desde que mantido a relação inicial de água/cimento (a/c) e o teor de argamassa, e diminuir a relação agregado total do traço;
- Ao realizar a moldagem dos corpos de provas, se o mesmo depois das primeiras horas apresentar acúmulo de água na parte superior (exsudação) a mistura apresenta uma deficiência de finos;
- Quando a quantidade de água para amassamento for superior ao necessário, deve-se aumentar as quantidades de areia e brita, mantendo constante a relação água e cimento do traço.

A tabela abaixo mostra os valores adotados para os passos citados acima.

Tabela 23 – Dados coletados para realização da dosagem

Dosagem ABCP					
Agregados					
Areia		Brita		Cimento	
μ areia (kg/dm ³)	2,30	DMC (mm)	19	Cimento	
MF areia	2,26	ρ brita-compactada (kg/dm ³)	1,58	CP IV – 32	
		μ brita (kg/dm ³)	2,89	μ cimento (kg/dm ³)	3,03

Fonte: o o autor

Tabela 24 – Parâmetros adotados para produção do concreto

Concreto	
Fck (MPa)	32
Condição (A-B-C)	A
Desvio padrão	4,0
Abatimento (mm)	80

Fc28 (MPa)	38,6
Curva de Abrams (a/c)	0,20
Consumo de água (l/m ³)	200
Consumo de cimento (kg/m ³)	400
Volume de brita	0,77
Consumo de brita	1170,4
Volume de areia	0,26
Consumo de areia	671,06

Fonte: o o autor

Com base em todos os dados apresentados acima chegou-se no consumo total de material para produção de um metro cúbico de concreto e no traço em massa final, que será resumido nas tabelas abaixo:

Tabela 25 – Resumo do consumo de materiais

Consumo total			
Cc	Ca	Cb	Cágua
400,00	671,06	1170,40	200
2441,46			

Fonte: O o autor

Tabela 26 – Apresentação do traço final

Traço em massa final				Teor argamassa (%)
1	1,68	2,93	0,5	0,48

Fonte: O o autor

4.5 Dosagem ABCP

Será produzido um concreto de resistência (fck) de 32 MPa, sob as condições do tipo A, onde todos os materiais serão secos e pesados em laboratórios, gerando um desvio padrão de 4 MPa conforme prescrições da NBR 12655:2015. A trabalhabilidade do concreto será determinada através do ensaio de abatimento no tronco de cone, onde deverá ser encontrado um valor de 80mm.

O método de dosagem que será utilizado para confecção de todos os corpos de prova será o modelo da ABCP como citado anteriormente. A caracterização descrita acima, dos materiais que serão utilizados, consiste no primeiro passo da dosagem.

O próximo passo é fixar a relação água cimento com base na Curva de Abrams (gráfico 03). O valor a ser procurado é o de 38,06 MPa, valor este obtido substituindo a resistência do concreto na equação (06).

Após determinar a relação água cimento encontra-se o consumo de água levando em consideração o valor de abatimento adotado e a dimensão máxima característica (DMC) do agregado graúdo (tabela 05).

O volume de agregado graúdo é determinado de acordo com o módulo de finura da areia e a DMC do agregado graúdo, conforme tabela 06. O volume do agregado miúdo é determinado através da equação (15) substituindo os valores de consumo e massas específicas. Após determinação de todas as quantidades o traço é apresentado conforme equação (17).

4.6 Confeção dos corpos de prova

Os corpos de prova serão moldados conforme a NBR 5738:2003 – Concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova.

Todos os corpos de prova serão moldados em recipientes cilíndricos, com altura igual a 15cm e confeccionado em material que não reaja com concreto. A introdução do concreto no recipiente deve ser feita com auxílio de uma concha, deslocando ela ao redor da borda do molde para que se assegure a distribuição simétrica do concreto no molde.

O próximo passo é nivelar o concreto na borda do molde com auxílio da haste metálica, para que depois seja adensando com uso da mesma. O número de golpes para adensamento deve ser feito conforme a tabela abaixo:

Tabela 27 – Numero de camadas para moldagem dos corpos-de-prova

Tipo de corpo-de-prova	Dimensão básica (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	9	225
Prismático	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450	3	--	--

Fonte: ABNT NBR 5738:2003

Concluída a modelagem os corpos de prova devem ser deixados ao ar livre em superfície plana sem ocorrência de vibrações por 24 horas, depois devem ser retirados do molde e colocados em uma câmara úmida para evitar a perda de água durante cura.

4.7 Ensaio de compressão

Os ensaios de compressão são feitos conforme as prescrições da NBR 5739:1994 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Nesta norma são fixadas as exigências do aparelho no qual se realizara os ensaios, bem como o posicionamento correto dos corpos de prova e o intervalo entre a aplicação das cargas.

O rompimento dos corpos de prova deve ser feito de acordo com a tabela abaixo, respeitando as idades e tolerâncias. O início da contagem da idade do concreto se dá quando o cimento é posto em contato com a água.

Tabela 28 – Dias e tolerâncias permitidas para rompimento

Idade do ensaio	Tolerância permitida
24 h	± 30 min ou 2,1%
3 d	± 2 h ou 2,8%
7 d	± 6 h ou 3,6%
28 d	± 20 h ou 3,0%
60 d	± 36 h ou 2,5%
90 d	± 2 d ou 2,2%

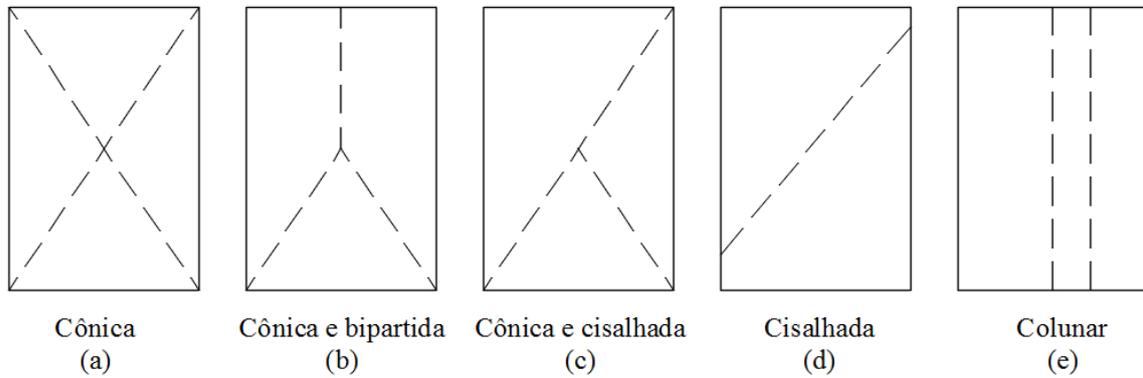
Fonte: ABNT NBR 5739:1994

As cargas dos ensaios devem ser aplicadas de forma contínua, sem choques, com velocidade de carregamento de 0,3 MPa/s a 0,8 MPa/s. A resistência pode ser determinada dividindo-se a carga de ruptura pela área de seção transversal do corpo de prova, o resultado obtido deve ser expresso com aproximação de 0,1 MPa.

A apresentação dos resultados obtidos deve conter segundo NBR 5739:1994 as seguintes informações:

- Número de identificação do corpo-de-prova;
- Data da modelagem;
- Idade do corpo-de-prova;
- Data do ensaio;
- Resistência à compressão, expressa com aproximação de 0,1 MPa;
- Tipo de ruptura do corpo-de-prova.

Figura 9 – Tipos de ruptura



Fonte: ABNT NBR 5739:1994

A resistência a compressão é determinada através do ensaio na prensa hidráulica, onde é aplicada uma força axial de forma contínua nos corpos de prova, até que ocorra o seu rompimento. A força aplicada pela prensa é medida em toneladas força, e para determinação da sua tensão é necessário conhecer a área de aplicação da força e substituir na equação abaixo:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \text{Eq. (21)}$$

σ : tensão [MPa]

F: força aplicada [tf]

A: área [cm²]

5. RESULTADOS

Os dados foram analisados com auxílio do software EXCEL para montagem de tabelas e gráficos que facilitam a apresentação dos resultados obtidos. Através dos gráficos pode-se observar o comportamento da resistência do concreto em diferentes idades.

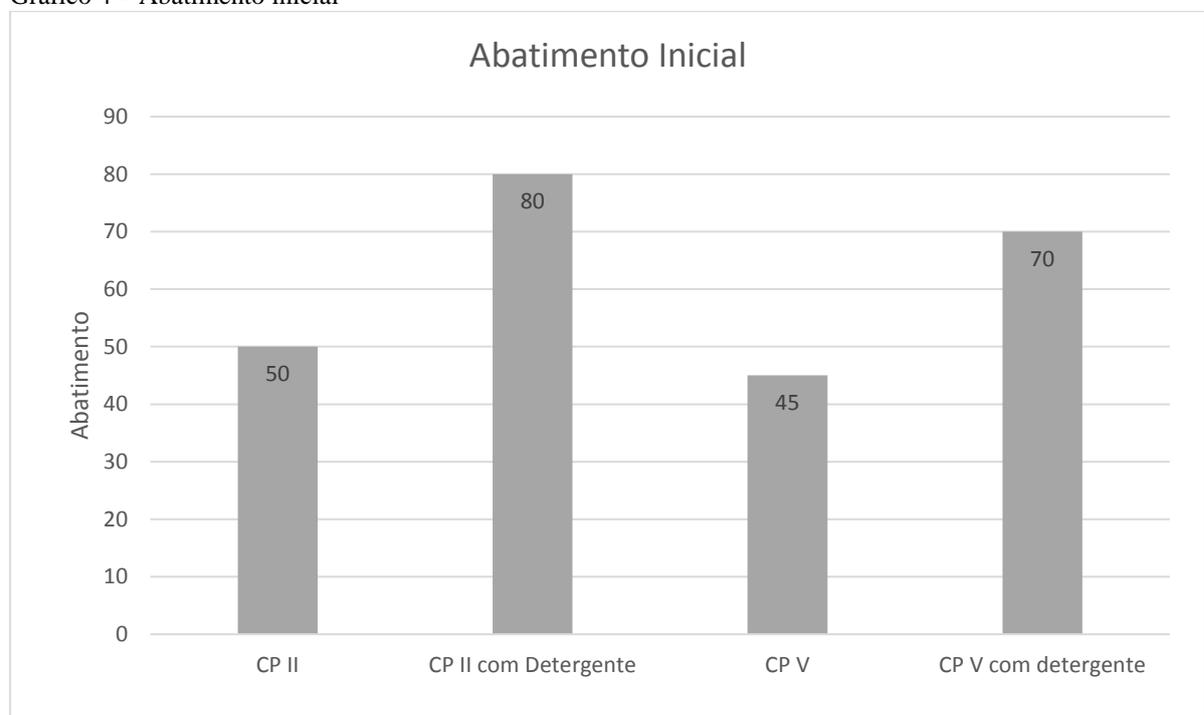
5.1 Abatimento inicial

O traço determinado para produção do concreto tem uma relação água cimento baixa, resultado assim em um concreto mais seco, com baixo abatimento inicial, o que torna difícil sua homogeneização e aplicação.

Uma solução encontrada foi o uso do detergente como aditivo incorporador de ar, para aumento da trabalhabilidade sem alterar a relação água cimento inicialmente determinada.

O gráfico 4 abaixo mostra os valores obtidos no abatimento inicial de cada concreto produzido antes das correções necessárias.

Gráfico 4 – Abatimento inicial



Fonte: O o autor

O uso do detergente como aditivo incorporador de ar aumentou a fluência do concreto, aumenta consideravelmente seu abatimento quando comparado com os concretos produzidos sem o seu uso.

5.2 Resistência à compressão do concreto

Após realizado o estudo de dosagem determinou-se um traço para produção dos corpos de prova com e sem aditivo. O traço em massa encontrado foi: 1: 1,68: 2,93: 0,5.

A forma utilizada para determinação da resistência foi a moldagem de corpos-de-prova padronizados conforme tabelas e valores descritos ao longo do trabalho e nas normas brasileiras assim como os ensaios a serem realizados.

Foram produzidos 72 corpos de prova, 36 produzidos com cimento CP II – 32 e 36 produzidos com cimento CPV – ARI. Os 36 corpos de provas foram divididos em 4 tipos: normal sem nenhum tipo de aditivo, com detergente, com aditivo acelerador de pega e com aditivo acelerador de pega e detergente.

Os corpos de prova foram rompidos nas idades de cura de 1 dia, 14 dias e 28 dias.

Figura 10 – Corpos de prova



Fonte: O o autor

5.2.1 Resistência à compressão dos concretos produzidos sem aditivo

Neste concreto, a resistência na dosagem foi de 39,08 MPa. Considerando esta resistência os resultados dos ensaios são analisados abaixo. As tabelas 29, 30 e 31, mostram os dados que foram coletados no rompimento do concreto nas diferentes idades

Tabela 29 – Resistência concreto sem aditivo para 1 dia de cura

Cimento CII						
Idade	Amostra	Ø (cm)	h (cm)	A (cm ²)	F (tf)	fck (MPa)
1 dia	01	10,00	20,00	78,54	4,59	5,73
	02	10,00	20,00	78,54	3,26	4,07
	03	10,00	20,00	78,54	3,52	4,40
Cimento CPV						
Idade	Amostra	Ø (cm)	h (cm)	A (cm ²)	F (tf)	fck (MPa)
1 dia	01	10,00	20,00	78,54	12,23	15,28
	02	10,00	20,00	78,54	11,26	14,06
	03	10,00	20,00	78,54	13,26	16,56

Fonte: O o autor

Tabela 30 – Resistência concreto sem aditivo para 14 dias de cura

Cimento CII						
Idade	Amostra	Ø (cm)	h (cm)	A (cm ²)	F (tf)	fck (MPa)
14 dias	01	10,00	20,00	78,54	14,75	18,42
	02	10,00	20,00	78,54	15,23	19,02
	03	10,30	20,00	83,32	11,96	14,08
Cimento CPV						
Idade	Amostra	Ø (cm)	h (cm)	A (cm ²)	F (tf)	fck (MPa)
14 dias	01	10,00	20,00	78,54	18,34	22,91
	02	10,00	20,00	78,54	16,22	20,26
	03	10,00	20,00	78,54	19,15	23,92

Fonte: O o autor

Tabela 31 – Resistência concreto sem aditivo para 28 dias de cura

Cimento CII						
Idade	Amostra	Ø (cm)	h (cm)	A (cm ²)	F (tf)	fck (MPa)
28 dias	01	10,00	20,00	78,54	24,81	30,99
	02	10,00	20,00	78,54	24,34	30,40
	03	10,00	20,00	78,54	25,43	31,76
Cimento CPV						
Idade	Amostra	Ø (cm)	h (cm)	A (cm ²)	F (tf)	fck (MPa)
28 dias	01	10,00	20,00	78,54	37,21	46,48

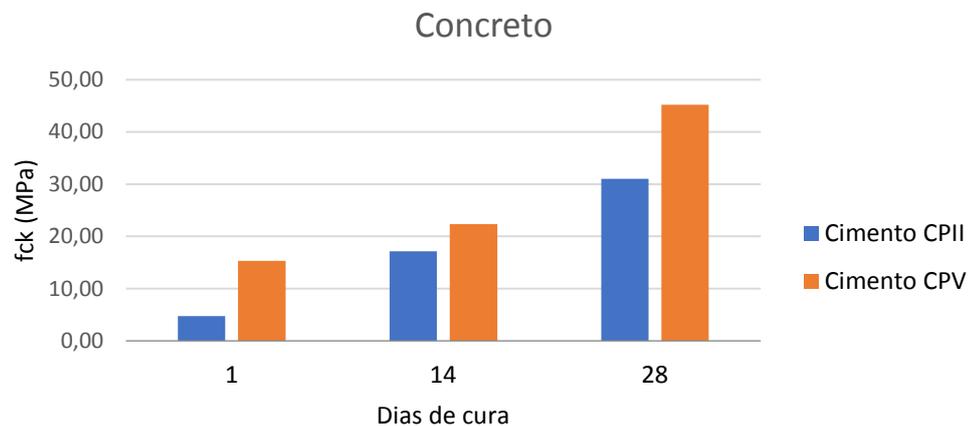
02	10,00	20,00	78,54	36,56	45,67
03	10,00	20,00	78,54	34,77	43,43

Fonte: O o autor

As resistências apresentadas pelas tabelas ficaram bem perto da resistência de dosagem calculada e como já era esperado pela análise da tabela de resistência da ABCP (Tabela 1, pg 23). O concreto produzido com cimento CPV-ARI atingiu uma resistência já no primeiro dia maior que 14MPa

O gráfico abaixo faz a comparação entre as resistências obtidas pelos concretos nas diferentes idades.

Gráfico 5 – Comparação da resistência dos concretos sem aditivo



Fonte: O o autor

5.2.2 Resistência à compressão dos corpos de prova com uso de aditivo acelerador de pega

Os corpos de prova foram produzidos utilizando dos mesmo materiais e traço dos concretos normais, porém foi adicionado o aditivo acelerador de pega na proporção de 5% da massa de cimento, quantidade mínima recomendada pelo fabricante do produto. Os resultados obtidos são demonstrados nas tabelas 32, 33 e 34:

Tabela 32 – Resistência concreto com aditivo acelerador de pega, 1 dia de cura

Cimento CII + Aditivo						
Idade	Amostra	Ø (cm)	h (cm)	A (cm ²)	F (tf)	fck (MPa)
1 dia	01	10,00	20,00	78,54	3,58	4,47
	02	10,00	20,00	78,54	3,96	4,95
	03	10,00	20,00	78,54	3,15	3,93

Cimento CPV + Aditivo						
Idade	Amostra	Ø (cm)	h (cm)	A (cm ²)	F (tf)	fck (MPa)
1 dia	01	10,00	20,00	78,54	10,69	13,35
	02	10,00	20,00	78,54	11,06	13,81
	03	10,00	20,00	78,54	10,78	13,46

Fonte: O o autor

Tabela 33 – Resistência concreto com aditivo acelerador de pega, 14 dias de cura

Cimento CII + Aditivo						
Idade	Amostra	Ø (cm)	h (cm)	A (cm ²)	F (tf)	fck (MPa)
14 dias	01	9,97	20,00	78,07	10,75	13,51
	02	9,89	20,00	76,82	11,40	14,56
	03	10,20	20,00	81,71	10,99	13,19

Cimento CPV + Aditivo						
Idade	Amostra	Ø (cm)	h (cm)	A (cm ²)	F (tf)	fck (MPa)
14 dias	01	10,00	20,00	78,54	16,11	20,12
	02	10,00	20,00	78,54	14,29	17,85
	03	10,00	20,00	78,54	15,21	19,00

Fonte: O autor

Tabela 34 – Resistência concreto com aditivo acelerador de pega, 28 dias de cura

Cimento CII + Aditivo						
Idade	Amostra	Ø (cm)	h (cm)	A (cm ²)	F (tf)	fck (MPa)
28 dias	01	10,00	20,00	78,54	16,45	20,55
	02	10,00	20,00	78,54	15,89	19,85
	03	10,00	20,00	78,54	14,88	18,59

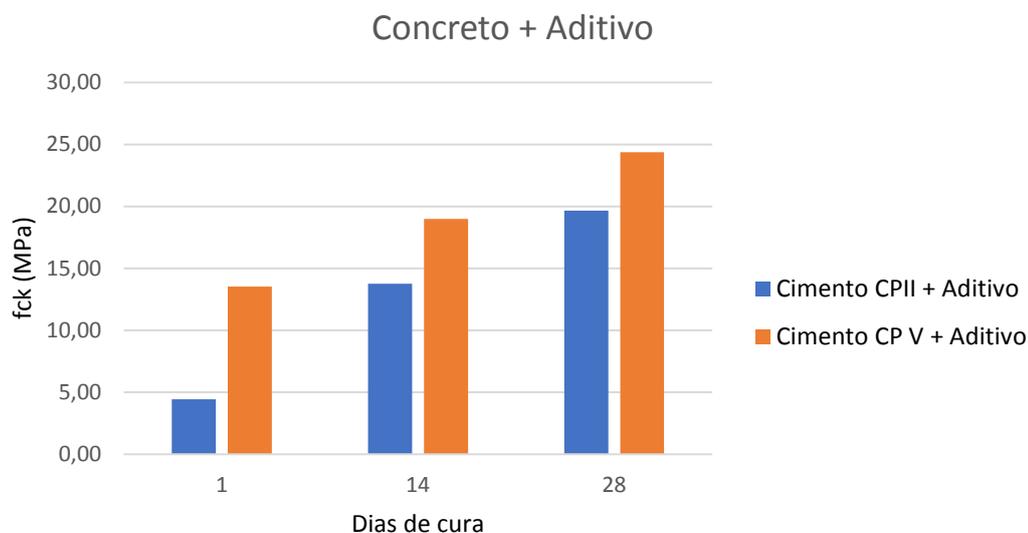
Cimento CPV + Aditivo						
Idade	Amostra	Ø (cm)	h (cm)	A (cm ²)	F (tf)	fck (MPa)
28 dias	01	10,00	20,00	78,54	18,59	23,22
	02	10,00	20,00	78,54	20,12	25,13
	03	10,00	20,00	78,54	19,86	24,81

Fonte: O autor

O uso do aditivo acelerou a pega do concreto, que durante a modelagem dos corpos de prova, começou a perder um pouco a sua trabalhabilidade, o que dificultou a modelagem dos corpos de prova e seu adensamento, ficando vazios em alguns corpos de prova. A resistência obtida no ensaio quando comparada ao concreto normal pode-se observar uma redução significativa na resistência do concreto, principalmente nas amostras rompidas aos 28 dias produzidas com cimento CPV – ARI.

O gráfico abaixo faz a comparação das resistências dos corpos de prova produzidos com aditivo acelerador de pega

Gráfico 6 – Comparação da resistência dos concretos produzidos com aditivo



Fonte: O autor

5.2.3 Resistência à compressão dos corpos de prova com uso de detergente

Para produção dos corpos de prova com uso de detergente foi utilizado o mesmo traço e adicionando uma quantidade de detergente equivalente à 1% da massa de cimento do traço.

As tabelas 35, 36 e 37, mostram a resistência a compressão dos corpos de prova.

Tabela 35 – Resistência do concreto produzido com uso de detergente, 1 dia de cura

Cimento CII + Detergente						
Idade	Amostra	Ø (cm)	h (cm)	A (cm ²)	F (tf)	fck (MPa)
1 dia	01	10,00	20,00	78,54	2,89	3,61
	02	10,00	20,00	78,54	2,58	3,22
	03	10,00	20,00	78,54	3,12	3,90
Cimento CPV + Detergente						
Idade	Amostra	Ø (cm)	h (cm)	A (cm ²)	F (tf)	fck (MPa)
1 dia	01	10,00	20,00	78,54	8,59	10,73
	02	10,00	20,00	78,54	8,12	10,14
	03	10,00	20,00	78,54	7,94	9,92

Fonte: O autor

Tabela 36 – Resistência do concreto produzido com uso de detergente, 14 dias de cura

Cimento CII + Detergente						
Idade	Amostra	Ø (cm)	h (cm)	A (cm ²)	F (tf)	fck (MPa)
14 dias	01	10,20	20,00	81,71	10,09	12,11
	02	10,03	20,00	79,01	10,85	13,47
	03	10,00	20,00	78,54	10,49	13,10

Cimento CPV + Detergente						
Idade	Amostra	Ø (cm)	h (cm)	A (cm ²)	F (tf)	fck (MPa)
14 dias	01	10,00	20,00	78,54	14,09	17,60
	02	10,00	20,00	78,54	14,25	17,80
	03	10,00	20,00	78,54	13,97	17,45

Fonte: O autor

Tabela 37 – Resistência do concreto produzido com uso de detergente, 28 dias de cura

Cimento CII + Detergente						
Idade	Amostra	Ø (cm)	h (cm)	A (cm ²)	F (tf)	fck (MPa)
28 dias	01	10,00	20,00	78,54	14,95	18,67
	02	10,00	20,00	78,54	14,85	18,55
	03	10,00	20,00	78,54	14,09	17,60

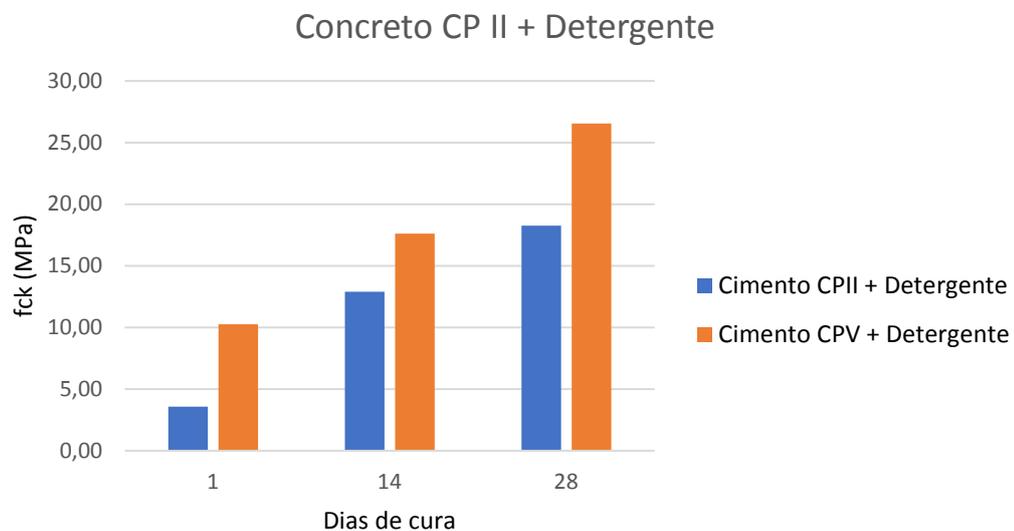
Cimento CPV + Detergente						
Idade	Amostra	Ø (cm)	h (cm)	A (cm ²)	F (tf)	fck (MPa)
28 dias	01	10,00	20,00	78,54	21,55	26,92
	02	10,00	20,00	78,54	19,89	24,84
	03	10,00	20,00	78,54	22,30	27,85

Fonte: O autor

Os corpos de prova produzidos com o uso de detergente apresentaram um ganho de trabalhabilidade, aumentando o abatimento inicial da mistura, porém quando analisada a resistência pode-se observar que houve uma queda considerável quando comparado a resistência do concreto normal e também como produzido com aditivo acelerador de pega.

O gráfico abaixo 7 abaixo, compara a resistência dos concretos produzidos:

Gráfico 7 – Comparação dos concretos produzidos com detergente



Fonte: O autor

5.2.4 Resistência à compressão dos corpos de prova com uso de aditivo e detergente

Os concretos produzidos com ambos os aditivos, acelerador de pega e detergente como incorporador de ar, foram dosados com as mesmas proporções sobre a massa de cimento, 5% para aditivo acelerador de pega e 1% para o detergente.

As tabelas 38, 39 e 40, mostram a resistência obtida no ensaio.

Tabela 38 – Resistência concreto produzido com aditivos, 1 dia cura

Cimento CPII + Detergente + Aditivo						
Idade	Amostra	Ø (cm)	h (cm)	A (cm ²)	F (tf)	fck (MPa)
1 dia	01	10,00	20,00	78,54	2,85	3,56
	02	10,00	20,00	78,54	2,44	3,05
	03	10,00	20,00	78,54	2,37	2,96
Cimento CPV + Detergente + Aditivo						
Idade	Amostra	Ø (cm)	h (cm)	A (cm ²)	F (tf)	fck (MPa)
1 dia	01	10,00	20,00	78,54	7,74	9,67
	02	10,00	20,00	78,54	7,26	9,07
	03	10,00	20,00	78,54	6,89	8,61

Fonte: O autor

Tabela 39 – Resistência concreto produzido com aditivos, 14 dias de cura

Cimento CPII + Detergente + Aditivo						
Idade	Amostra	Ø (cm)	h (cm)	A (cm ²)	F (tf)	fck (MPa)
14 dias	01	10,00	20,00	78,54	8,33	10,40
	02	10,00	20,00	78,54	8,30	10,37
	03	10,00	20,00	78,54	7,31	9,13
Cimento CPV + Detergente + Aditivo						
Idade	Amostra	Ø (cm)	h (cm)	A (cm ²)	F (tf)	fck (MPa)
14 dias	01	10,00	20,00	78,54	10,32	12,89
	02	10,00	20,00	78,54	10,49	13,10
	03	10,00	20,00	78,54	10,77	13,45

Fonte: O autor

Tabela 40 – Resistência concreto produzido com aditivos, 28 dias de cura

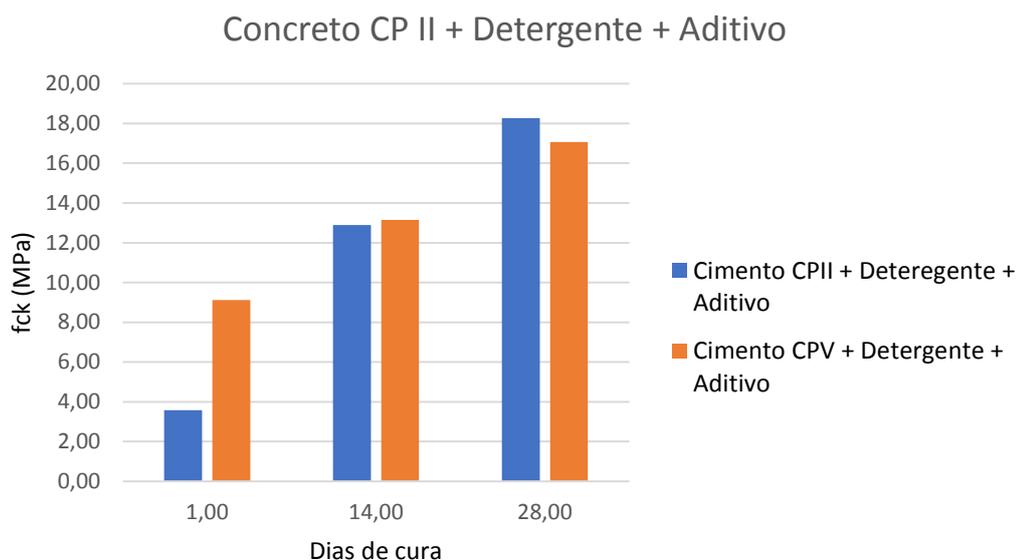
Cimento CPII + Detergente + Aditivo						
Idade	Amostra	Ø (cm)	h (cm)	A (cm ²)	F (tf)	fck (MPa)
28 dias	01	10,00	20,00	78,54	12,57	15,70
	02	10,00	20,00	78,54	12,12	15,14
	03	10,00	20,00	78,54	12,42	15,51
Cimento CPV + Detergente + Aditivo						
Idade	Amostra	Ø (cm)	h (cm)	A (cm ²)	F (tf)	fck (MPa)
28 dias	01	10,00	20,00	78,54	13,76	17,19

02	10,00	20,00	78,54	13,96	17,44
03	10,00	20,00	78,54	13,25	16,55

Fonte: O autor

Como pode ser observado a resistência de ambos os concretos foram menores quando comparados com o uso separado de aditivos e a dosagem normal sem aditivo.

Gráfico 8 – Comparação da resistência dos concretos produzidos com aditivos



Fonte: O autor

5.3 Avaliação da influência dos aditivos no concreto

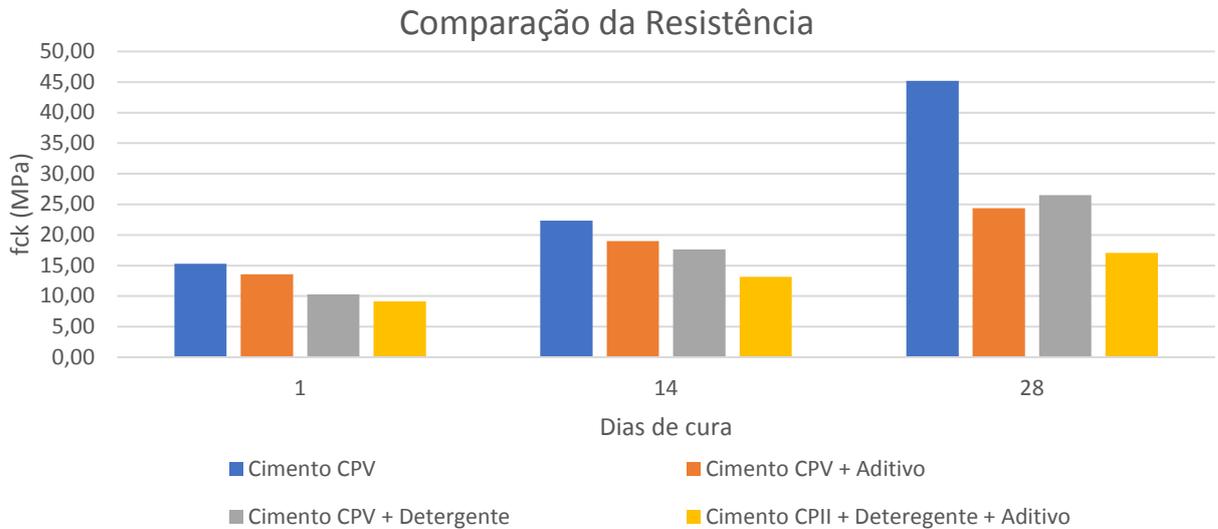
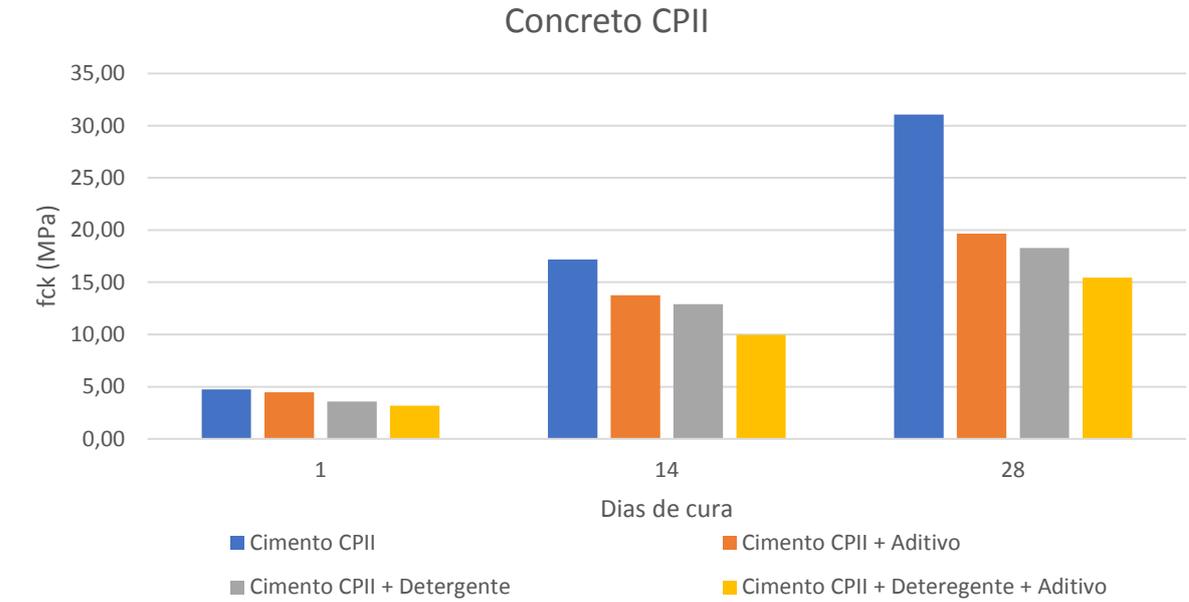
O aditivo acelerador de pega foi eficiente quando analisamos seu ganho na aceleração do período de pega, mas os concretos que tiveram sua utilização apresentaram uma resistência menor do que a do concreto produzido sem seu uso.

O detergente, usado como incorporador de ar, aumentou a trabalhabilidade do concreto, aumentando significativamente o abatimento inicial, não sendo necessário fazer a correção do traço como nos casos dos concretos produzidos sem o seu uso. O uso do detergente assim como o do aditivo acelerador de pega reduziu a resistência de cálculo final do concreto.

Os concretos produzidos com ambos os aditivos não tiveram um bom desempenho quando comparados aos concretos que apenas incorporaram um deles ao seu traço.

A comparação de todos os corpos de provas produzidos com cimento CP II e CP V pode ser observada nos gráficos 9 e 10 abaixo:

Gráfico 9 – Comparação entre a resistência dos corpos de prova



Fonte: O autor

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo possibilitou através de ensaios entender o comportamento da resistência do concreto produzido com dois tipos de cimento em diferentes idades e com a incorporação de dois tipos de aditivos em sua produção: aditivo acelerador de pega e detergente como aditivo incorporador de ar.

O uso dos aditivos quando utilizados separadamente foram satisfatórios, uma vez que quando utilizado o acelerador de pega o concreto começou a cura rapidamente dificultando a modelagem dos corpos de prova e quando utilizado o detergente o concreto produzido, que inicialmente apresentava um abatimento inicial baixo, devido sua relação água cimento, passou a apresentar uma maior trabalhabilidade quando usado o aditivo incorporador de ar, modificando assim o abatimento inicial para o mesmo traço.

Em ambos os casos houve uma redução na resistência do concreto quando utilizado algum dos aditivos ou os dois em conjunto. Esta redução é considerável quando comparada a resistência de cálculo de 32,0 MPa não tornando viável seu uso nesta dosagem para concretos estruturais.

Para utilização dos aditivos de forma separada ou combinada deve-se realizar testes produzindo o concreto com concentrações diferentes e analisar se é possível utilizar os aditivos sem causar perda na resistência de projeto, ou dosar o concreto considerando a redução da sua resistência.

REFERENCIAS

ALMEIDA, L. C. **Concreto – notas de aula**. Campinas: UNICAMP, 2002. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~almeida/au405/Concreto.pdf>>. Acesso: 12 Abril 2018.

ANDRADE, W. P. **Furnas laboratório de concreto: concretos massa, estrutural, projetado e compactado com rolo – ensaios e propriedades**. PINI, São Paulo, 1997.

ANDOLFATO, R. P. **Controle tecnológico básico do concreto**. Universidade Estadual Paulista – UNESP. Ilha Solteira – SP. 2002. Disponível em: <<http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariacivil/nepae/control-tecnologico-basico-do-concreto.pdf>>. Acesso em: 15 Maio 2018.

ARAÚO, R.C.L.; RODRIGUES, L.H.V.; FREITAS, E.G.A **Materiais de concreto**. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMANETO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. São Paulo. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS: **NBR 5732: Cimento Portland comum**. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS: **NBR 5733 Cimento Portland com alta resistência inicial**. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS: **NBR 5735: Cimento Portland de alto forno**. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS: **NBR 5736: Cimento Portland pozolânico**. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS: **NBR 7211: Agregados para concreto – especificação**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **NBR 7217: Agregados – Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 1987.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **NBR 11768: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – requisitos.** Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **NBR 16606: Cimento Portland – Determinação da pasta de consistência normal.** Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **NBR NM 52: Agregado miúdo – determinação da massa específica e massa específica aparente.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **NBR NM 67: Concreto – determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, 1998.

BATTAGIN, Arnaldo Forti. **História do cimento.** 2008. Disponível em: <<https://cimento.org/historia-do-cimento/>>. Acesso em 19 Abril 2018.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de construção.** 5ª Edição, Rio de Janeiro: LTC, 2000.

BROOKS, J.J; NEVILLE, Adam M. **Tecnologia do concreto.** 2ª edição, Porto Alegre: BOOKMAN, 2011.

CARVALHO, R.C; FILHO, J.R.F. **Calculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado segundo NBR 6118:2014.** 4ª edição, São Carlos: EdUFSCar, 2016.

DALTIN, D. **Tensoativos:** Tensoativos e comportamento dos tensoativos em solução. Disponível em: <<http://www.usp.br/massa/2014/qfl2453/pdf/Tensoativos-livrodeDecioDaltin-Capitulo1.pdf>>. Acesso em: Out 2018.

HAGEMANN, S.E. **Apostila de materiais de construção básicos**. Pelotas: IFSul, 2011. Disponível em: <http://tics.ifsul.edu.br/matriz/conteudo/disciplinas/_pdf/apostila_mcb.pdf>. Acesso: 12 Abril 2018.

KULAIF, Yara. **Análise dos mercados de matérias-primas minerais: estudo de caso da indústria de pedras britadas do Estado de São Paulo**. São Paulo, 2001.

HELENE, Paulo; TERZIAN, Paulo. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: PINI, 1992.

KLOSS, Cesar Luiz. **Materiais para construção civil**. 2ª edição, Curitiba: Centro Federal de Educação Tecnológica, 1996.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 3ª edição, São Paulo: IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto, 2008.

NEVILLE, Adam Mathew. **Propriedades do concreto**. PINI, São Paulo, 1998.

PETRUCCI, Eládio G. **Concreto de cimento Portland**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1968.

RODRIGUES, Publio Penna Firme. **Parâmetros de Dosagem do Concreto**. 3ª Ed. São Paulo: IBRACON - Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998.

SERNA, H. A. de La. REZENDE, M. M. **Agregados para a construção civil**. Departamento nacional de produção mineral, 2013. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/8-1-2013-agregados-minerais>>. Acesso em: 18 Abril 2018.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTIA DO CIMENTO. **Consumo mensal cimento 2017**. Disponível em: <<http://snic.org.br/assets/pdf/numeros/1522239942.pdf>>. Acesso em: 20 Abril 2018

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTIA DO CIMENTO. **Relatório anual 2013**. Disponível em: <http://snic.org.br/assets/pdf/relatorio_anual/rel_anual_2013.pdf>. Acesso em: 20 Abril 2018

SOBRAL, Hernani Sávio. **Dosagem Experimental dos Concretos**. 3ª Ed. São Paulo: IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto, 1980.

VALVERDE, Fernando M. **Agregados para construção civil**. São Paulo. Departamento nacional de produção mineral. Disponível em:< <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes-economia-mineral/arquivos/agregados-para-contrucao-civil.pdf>> Acesso em: 11 Abril 2018.

YAZIGI, W. **A técnica de edificar**. 11ª Edição, São Paulo: PINI, 2011.

ANEXO

Anexo 01 – Características do aditivo acelerador de pega

APÊNDICE

Figura 11 – Corpos de prova produzidos com uso de detergente



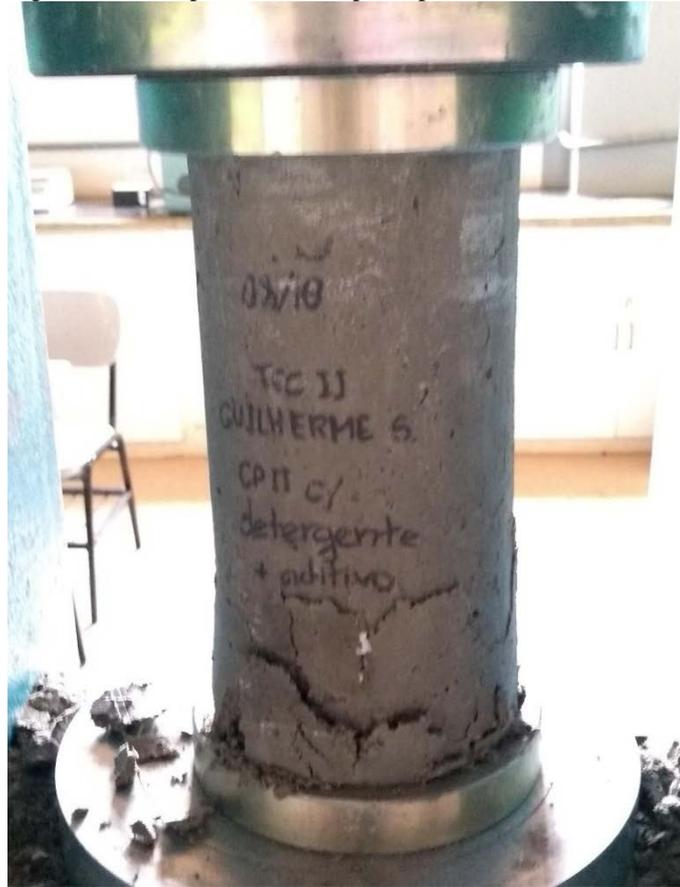
Fonte: O autor.

Figura 12 – Corpos de prova rompidos produzidos com detergente e aditivo acelerador de pega



Fonte: O autor.

Figura 13 – Rompimento do corpo de prova



Fonte: O autor.

Figura 14 – Rompimento corpo de prova sem uso de aditivo



Fonte: O autor.

Figura 15 – Rompimento corpo de prova cimento CPV produzido com aditivo acelerador de pega



Fonte: O autor.