



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL



LETÍCIA SILVEIRA VALERIANO

Estudo da Variabilidade da Resistência à Compressão e da Consistência de
Concreto Usinado utilizando CII 40

Uberlândia

2021

LETICIA SILVEIRA VALERIANO

Estudo da Variabilidade da Resistência à Compressão e da Consistência de
Concreto Usinado utilizando CII 40

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Civil da Universidade
Federal de Uberlândia como requisito parcial
para obtenção do título de bacharel em

Área de concentração: Engenharia Civil

Orientador: Leila Aparecida de Castro Motta

Uberlândia

2021

Estudo da Variabilidade da Resistência à Compressão e da Consistência de
Concreto Usinado utilizando CII 40

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Civil da Universidade
Federal de Uberlândia como requisito parcial
para obtenção do título de bacharel em

Área de concentração: Engenharia Civil

Uberlândia, 01 de outubro de 2021

Banca Examinadora:

Ismara Simão Curi Arantes – Prof. Me. (UFU)

Lauren Karoline de Sousa Gonçalves – Prof. Dra. (UFU)

Leila Aparecida de Castro Motta – Prof. Dra. (UFU)

Dedico este trabalho a Deus, por Ele me sustentar, me fortalecer e nunca me desamparar, aos meus pais, por todo apoio e ao Vithor pelo carinho, compreensão e por sonhar esse sonho comigo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a professora Leila por todo o apoio, incentivo e orientação ao longo dessa trajetória, mesmo com inúmeros obstáculos durante esse último ano da graduação, sempre esteve ao meu lado para fazermos o melhor.

Aos colegas Wellerson Thiago, Giulia Curi, Gabriel Spini, Victor Fim, João Paulo, Dayanne e todos que fizeram parte, por me apoiar dentro e fora da sala de aula, pelas noites mal dormidas e por transformar todos os momentos em únicos, os levarei para a vida.

Aos colegas de trabalho da FECIV, ao professor Carlos Eugenio por me receberem com tanto carinho, e sempre me apoiarem durante todo o estágio.

À todos os professores que contribuíram de alguma forma na minha graduação, todos foram e são essenciais nas trajetórias pessoal e profissional.

À empresa Welmix Concreto, em especial a Camila, que possibilitou e auxiliou durante todo o tempo essa pesquisa.

Agradeço a universidade por me proporcionar tantos momentos vividos, e tão sonhada e almejada graduação em Engenharia Civil.

“Seu grandioso poder que atua em nós é capaz de
realizar infinitamente mais do que poderíamos
pedir ou imaginar.”

(Efésios 3:20)

RESUMO

O concreto usinado ganhou grande espaço, devido ao maior controle e qualidade da mistura, e também à racionalização da sua produção. Sendo que é produzido em grande escala, o que resulta na economia de custos, podendo ser igual ou superior se comparado ao concreto produzido em obra. No estado fresco, o concreto deve apresentar trabalhabilidade, para que possa ser transportado, lançado e adensado adequadamente. Já no estado endurecido, deverá atender às características especificadas em projeto, e a resistência à compressão é a mais utilizada como parâmetro de especificação, denominada de f_{ck} do concreto. O controle tecnológico em Usinas de Concreto se torna primordial, devido a inúmeras variáveis que podem interferir no estado fresco e endurecido do concreto. Com o objetivo de avaliar o desempenho do concreto usinado, o presente trabalho estuda a variabilidade da resistência à compressão e da consistência do Concreto Usinado. Sendo assim, foram retiradas amostras de concreto dos caminhões-betoneiras das classes de resistência C20, C25, C30, C35, C40 e as classes de consistência S100 e S220, para ensaios no estado fresco e endurecido, com o uso do cimento CII E 40 e CII F 40. No estado fresco, foram realizados ensaios para verificação da consistência do concreto, por meio do abatimento de tronco de cone. Para o estado endurecido, as amostras foram ensaiadas aos 28 dias, para determinação da resistência à compressão do concreto. Sendo assim, a resistência a compressão, a influência do fator água/cimento na resistência e na consistência, a influência do tipo de cimento e a relação das classes de consistências foram analisadas. Como resultado, a relação água/cimento influencia significativamente na resistência à compressão e no abatimento do concreto. Já o tipo de cimento não interfere de forma acentuada na resistência à compressão. A resistência à compressão e o fator água/cimento apresentam elevada dispersão nos resultados, evidenciando uma falha no processo de produção.

Palavras-chave: Cimento Portland Composto. Concreto usinado. Resistência à compressão. Consistência. Relação água/cimento.

ABSTRACT

Machined concrete gained great space, due to greater control and quality of the mixture, and also to the rationalization of its production. Since it is produced on a large scale, which results in cost savings, which can be equal to or greater than that of concrete produced on site. The fresh concrete, must have workability, so that it can be transported, cast and compacted, rightly. In the hardened state, it must meet the characteristics specified in the project, and the compressive strength is the most used as a specification parameter, denominated ccs of concrete. Technological control in industry concrete becomes paramount, due to variables that can interfere with the fresh and hardened state of the concrete. In order to evaluate the performance of machined concrete, this project studies the variety of compressive strength and consistency of machined concrete. Therefore, sample of concrete was withdrawn from concrete mixer trucks, of resistance classes C20, C25, C30, C35, C40 and consistency classes S100 and S220, for tests in the fresh and hardened state, using cement CII E 40 and CII F 40. In the fresh state, tests were carried out to verify the consistency of the concrete, by means of the slumping of the cone trunk. For the hardened state, as tested at 28 days, to determine the compressive strength of concrete. Thus, the compressive strength, the influence of the water-cement ratio of strength and consistency, the influence of the type of cement and the consistency classes comparison were analyzed. As a result, the water/cement ratio influence on the compressive strength and slump of concrete. The type of cement, on the other hand, does not significantly interfere with the compressive strength. Compressive strength and the water/cement ratio present a high dispersion in the results, evidencing a failure in the production process.

Keywords: Portland-composite cement. Machined concrete. Compressive strength. Consistency. Water/cement ratio.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Evolução média de resistência à compressão dos distintos tipos de cimento portland.....	21
Figura 2 -	Relação entre o Slump e a Temperatura do concreto.....	29
Figura 3 -	Relação entre a quantidade de Água e a Temperatura do concreto.	29
Figura 4 -	Relação entre a resistência do concreto e sua relação água/cimento.....	32
Figura 5 -	Efeitos da altas temperaturas do concreto na compressão em diferentes idades.....	34
Figura 6 -	Influência da cura úmida na resistência do concreto com relação água/ cimento igual a 0,50.....	39
Figura 7 -	Central dosadora de concreto Tow Go.....	40
Figura 8 -	Curva da distribuição normal; mostradas as porcentagens de corpos de prova em intervalos de um desvio padrão.....	42
Figura 9 -	Local de armazenamento do cimento (Silo).....	46
Figura 10 -	Diferenciação da Brita 0 e 1.....	47
Figura 11 -	Armazenamento dos agregados miúdos.....	48
Figura 12 -	Cabine de comando.....	49
Figura 13 -	Caminhão-Betoneira.....	50
Figura 14 -	Esteira.....	50
Figura 15 -	Dosador de aditivo.....	51
Figura 16 -	Balança de cimento.....	51
Figura 17 -	Local de descarga dos materiais.....	52
Figura 18 -	Forma cilíndrica.....	53
Figura 19 -	Corpos de prova desformados.....	54
Figura 20 -	Identificação dos corpos de prova.....	54
Figura 21 -	Cura dos corpos de prova.....	55
Figura 22 -	Retifica.....	55
Figura 23 -	Corpo de prova retificado.....	56
Figura 24 -	Aparelhos para o ensaio de consistência.....	56
Figura 25 -	Ensaio de abatimento do tronco de cone.....	57
Figura 26 -	Prensa semiautomática.....	58

Figura 27 -	Neoprene utilizado no ensaio.....	58
Figura 28 -	Ensaio de resistência à compressão.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Composição dos Cimentos Portland Comuns e Composto.....	19
Tabela 2 -	Classes de resistência de concretos estruturais.....	26
Tabela 3 -	Classes de consistência.....	26
Tabela 4 -	Principais fatores que influenciam a resistência à compressão potencial do concreto medida no ensaio de controle.....	31
Tabela 5 -	Amostragem.....	42
Tabela 6 -	Avaliação do desvio-padrão do processo.....	44
Tabela 7 -	Dados de dosagem.....	52
Tabela 8 -	Análise dos resultados.....	63
Tabela 9 -	Análise do fator água/cimento.....	69
Tabela 10 -	Resultados de resistência de acordo com o fator água/cimento.....	70
Tabela 11 -	a/c médio dos resultados de resistência, em função do cimento.....	75
Tabela 12 -	ANOVA - Análise das classes de consistência do fck 20.....	81
Tabela 13 -	ANOVA - Análise das classes de consistência do fck 30.....	81
Tabela 14 -	ANOVA - Análise do tipo do cimento para o fck 20 S100.....	81
Tabela 15 -	ANOVA - Análise do tipo do cimento para o fck 20 S220.....	82
Tabela 16 -	ANOVA - Análise do tipo do cimento para o fck 25 S100.....	82
Tabela 17 -	ANOVA - Análise do tipo do cimento para o fck 30 S100.....	82
Tabela 18 -	ANOVA - Análise do tipo do cimento para o fck 35 S100.....	82
Tabela 19 -	ANOVA - Análise do tipo do cimento para o fck 40 S100.....	82
Tabela 20 -	ANOVA - Influência da relação a/c na resistência do concreto fck 20 S100.....	83
Tabela 21 -	ANOVA - Influência da relação a/c na resistência do concreto fck 20 S20.....	83
Tabela 22 -	ANOVA - Influência da relação a/c na resistência do concreto fck 25 S100.....	84
Tabela 23 -	ANOVA - Influência da relação a/c na resistência do concreto fck 30 S100.....	84
Tabela 24 -	ANOVA - Influência da relação a/c na resistência do concreto fck 30 S220.....	84

Tabela 25 -	ANOVA - Influência da relação a/c na resistência do concreto fck 35 S100.....	84
Tabela 26 -	ANOVA - Influência da relação a/c na resistência do concreto fck 40 S100.....	84

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/C	Água/cimento
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	Standard Specification for Ready Mixed Concrete
CDC	Concreto Dosado em Central
CP	Cimento Portland
FCK	Resistência Característica à Compressão do Concreto
FCM	Resistência Característica média à Compressão do Concreto
MPa	Mega Pascal
NBR	Norma Brasileira
Tf	Tonelada-força
UFU	Universidade Federal de Uberlândia

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	Concreto.....	16
2.2	Caracterização dos Materiais Constituintes do Concreto de cimento Portland...17	
2.2.1	Cimento Portland	17
2.2.2	Agregados	21
2.2.2.1	<i>Agregados miúdos</i>	22
2.2.2.2	<i>Agregados graúdos</i>	23
2.2.3	Aditivos e Adições.....	23
2.2.4	Água de amassamento	24
2.3	Tipos de Concreto	25
2.4	Concreto no Estado Fresco	27
2.4.1	Trabalhabilidade	27
2.5	Concreto no Estado Endurecido.....	30
2.5.1	Resistência do Concreto	31
2.5.2	Deformações do Concreto	34
2.5.3	Permeabilidade	34
2.5.4	Durabilidade	35
2.6	Produção dos concretos	35
2.6.1	Recebimento e armazenamento dos materiais	36
2.6.2	Proporcionamento, Mistura e Transporte	36
2.6.3	Lançamento, Adensamento e Cura	38
2.7	Centrais Dosadoras.....	39
2.8	Controle Tecnológico do concreto em usinas dosadoras.....	41
2.8.1	Amostragem.....	41
2.8.2	Análise estatística	42
2.8.3	Análise da consistência.....	44
3	MATERIAIS E MÉTODOS	45
3.1	Metodologia	45
3.2	Materiais empregados	46
3.2.1	Cimento.....	46
3.2.2	Agregados graúdos	47

3.2.3	Agregados miúdos	47
3.2.4	Aditivo	48
3.2.5	Água de amassamento	48
3.3	Dosagem e mistura do concreto em caminhão betoneira	48
3.3.1	Traços utilizados	52
3.3.2	Procedimento de moldagem, cura e recapeamento das amostras	53
3.3.3	Ensaio realizado no estado fresco e endurecido	56
3.3.3.1	<i>Ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone</i>	56
3.3.3.2	<i>Ensaio de resistência à compressão</i>	57
4	RESULTADOS E ANÁLISE	59
4.1	Resistência à Compressão	59
4.2	Fator Água/Cimento (a/c)	65
4.3	Comparação entre os Cimentos CII E 40 e CII F 40	71
4.4	Comparação entre as classes S100 e S220 do <i>fck</i> 20 e <i>fck</i> 30	75
4.5	Relação da consistência do concreto com o fator água/cimento	77
4.6	Análise da variância	80
4.6.1	Classe de consistência.....	80
4.6.2	Influência do cimento na resistência.....	81
4.6.3	Influência da relação água/cimento na resistência do concreto	83
5	CONCLUSÃO	85
	REFERÊNCIAS	86
	APÊNDICE A - DADOS E RESULTADOS DOS ENSAIOS S100	90
	APÊNDICE B - DADOS E RESULTADOS DOS ENSAIOS S220	96
	ANEXO A – ANÁLISE DO CIMENTO CII E 40	98
	ANEXO B – ANÁLISE DO CIMENTO CII F 40	99
	ANEXO C – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA BRITA 0	100
	ANEXO D – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA BRITA 1	101
	ANEXO E – DENSIDADE REAL DOS AGREGADOS	102
	ANEXO F – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA AREIA MÉDIA	103
	ANEXO G – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA AREIA FINA	104
	ANEXO I – CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DA PRENSA	105

1 INTRODUÇÃO

Desde a época dos romanos se utiliza um material semelhante ao concreto como material de construção. Com a chegada do cimento Portland, sendo hoje um dos materiais mais consumidos no mundo, o concreto ocupou um lugar de destaque dentre os materiais utilizados na construção civil (CONCRETO USINADO, 2020). A importância deste material está ligada a alguns fatores como a versatilidade (estado fresco – moldável), a disponibilidade, a durabilidade, o custo, o bom desempenho estrutural e a sua alta resistência a água. Devido aos estudos das propriedades mecânicas do concreto ao longo dos anos e a sua acentuada utilização no mercado mundial nas últimas décadas, as técnicas de produção e os métodos de dosagem do concreto apresentaram avanços e estão sendo aprimorados dia-a-dia.

O estudo da racionalização da produção acarretou na concepção do concreto usinado, ou seja, do Concreto Dosado em Central (CDC). O Concreto Dosado em Central é produzido em grande escala (industrializado), o que resulta na redução de custos, sendo o desempenho e a qualidade conservados, podendo ser igual ou superior se comparado ao concreto produzido em obra (MAPA DA OBRA, 2020). O CDC é misturado em equipamento fixo ou em caminhão-betoneira (mistura durante a dosagem e transporte). A ABNT NBR 7212:2012 instrui a execução e o controle da produção do CDC e a ABNT NBR 8953:2015 classifica o concreto conforme a resistência à compressão axial, consistência e massa específica.

O concreto é um material composto pela mistura homogênea de cimento, agregados graúdos e miúdos e água, podendo ter aditivos e precisa atender alguns requisitos primordiais nas usinas. No estado fresco, o concreto deve apresentar trabalhabilidade (consistência e coesão), para que possa ser transportado, lançado e adensado adequadamente em cada situação específica. Já no estado endurecido, deverá atender às características especificadas em projeto, e a resistência à compressão é a mais utilizada como parâmetro de especificação, denominada de f_{ck} do concreto. Mas também se deve levar em conta a durabilidade, deformabilidade e permeabilidade, visando sempre seguir as especificações de projeto. Deve-se observar a qualidade dos materiais disponíveis a serem utilizados e o armazenamento dos insumos, já que têm uma grande influência em todo o processo e nas propriedades do concreto propriamente dito. Com isso, as usinas buscam a combinação com o menor consumo de materiais que tenha o desempenho mínimo imposto em normas.

O controle de qualidade em Usinas de Concreto se torna primordial, devido a inúmeras variáveis que podem interferir no estado fresco e endurecido do concreto. Para verificar o desempenho do concreto, alguns ensaios são padronizados em norma, como o abatimento do

concreto (ABNT NBR NM 67:1998) para medição da consistência da mistura (estado fresco) e o ensaio de resistência à compressão axial (ABNT NBR 5739:2018), sendo o último o mais realizado dos ensaios por conta da sua facilidade de execução e por ser um índice geral aceito universalmente. A certificação da qualidade do concreto é diferente, pois é um material com prazo de aplicação reduzido e sua certificação é garantida na carta de valores, sendo esses resultados de ensaios no estado endurecido. O desempenho das Centrais é estudado de acordo com a variabilidade desses ensaios, o controle da produção, os materiais utilizados durante todo o processo de fabricação e o transporte do material. Assim a eficiência do CDC pode ser controlada, e comparada com os limites impostos nas normas vigentes. Além de que com essas análises é possível indicar uma tendência de novos resultados e corrigir falhas do processo de produção.

Segundo Leal (2015), alguns construtores têm apontado uma insatisfação do concreto fornecido no mercado, já que em algumas obras no país, os valores característicos mínimos de resistência à compressão não têm sido atingidos, o que traz inúmeros transtornos e atrasos nas obras. De tal modo que impacta diretamente no custo da obra e diminui a confiabilidade do concreto usinado no mercado. Desse modo, visando garantir um concreto de melhor qualidade, corrigir possíveis falhas e otimizar a produção, justifica-se este trabalho.

Nesse sentido, este trabalho propõe um estudo de variabilidade em uma empresa de concreto usinado em Uberlândia, para verificação do desempenho e da qualidade do concreto no seu estado fresco e endurecido. O estudo de variabilidade é realizado a partir dos dados dos ensaios de resistência à compressão axial dos corpos de prova aos 28 dias e do abatimento do tronco de cone de cada amostragem para analisar se há variações significativas entre as amostras ensaiadas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Concreto

A existência do concreto na construção civil tem pouco mais de 100 anos. Sendo que, é o mais recente dos materiais de construção de estruturas e já é o material industrial mais consumido no mundo. No entanto, devido a versatilidade (estado fresco – moldável), a disponibilidade, a durabilidade, o custo, o bom desempenho estrutural e a sua alta resistência a água e ao fogo se tornou o material fundamental nas construções. O consumo anual no mundo

é estimado em 11 bilhões de toneladas de concreto ao ano, muito maior que a 40 anos atrás (NEVILLE, 2016; MEHTA E MONTEIRO, 2008).

O concreto é um material composto, formado por um meio aglomerante, onde contém partículas aglutinadas ou fragmentos de agregado. Sendo definido como a mistura de cimento hidráulico, agregados pétreos e água, mas frequentemente é adicionado, no concreto moderno, aditivos e adições minerais (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Inicialmente com a mistura do Cimento Portland e água forma-se uma pasta e sua fluidez varia com a quantidade de água adicionada. Assim, ao adicionar as partículas de agregados, a pasta as envolve, e nas primeiras horas se torna um material com trabalhabilidade, o que possibilita ser moldado em diferentes formas geométricas. Após algumas horas, a mistura endurece, devido a reação química do cimento com a água, e adquire resistência mecânica, o que torna o concreto um material de excelente desempenho estrutural (HELENE E ANDRADE, 2010).

Assim, resulta em composto com baixa permeabilidade, com resistência aos esforços e durabilidade mediante aos agentes agressivos. A alta resistência à compressão é a principal propriedade do concreto, sendo que a resistência fornece uma ideia geral da “qualidade” do concreto e está diretamente ligada a segurança estrutural. A relação água/cimento (a/c) está correlacionada com a resistência à compressão, o que possibilita alcançar sua resistência máxima (HELENE E TERZIAN, 1992).

2.2 Caracterização dos Materiais Constituintes do Concreto de cimento Portland

A ABNT NBR 12655:2015 define concreto de Cimento Portland como,

Material formado pela mistura homogênea de cimento, agregados miúdo e graúdo, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos, pigmentos, metacaulim, sílica ativa e outros materiais pozolânicos), que desenvolvem suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (cimento e água).

2.2.1 Cimento Portland

O cimento Portland é um aglomerante hidráulico, constituído de clínquer, principal componente, e de adições minerais que definem os diferentes tipos de cimento. A matéria prima do clínquer é o calcário e argila. O processo de fabricação do clínquer consiste na britagem da rocha calcária, na moagem e na mistura com a argila moída. Posteriormente, é aquecido até

formação do clínquer, que será resfriado e moído. O clínquer é um ligante hidráulico, devido a reação química provocada pelo contato com a água, ele se torna pastoso, e logo endurece, ganhando alta resistência, durabilidade e resiste à água. Sendo essa característica o seu atributo mais importante. Para a fabricação de diversos tipos de cimento, na moagem do clínquer são adicionadas outras matérias primas, como o gesso, as escórias de alto-forno, os materiais pozolânicos e os carbonáticos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2002).

De acordo com a ABCP (2002), o gesso quando adicionado ao clínquer moído controla o início do endurecimento do cimento quando é misturado com água, ou seja, controla o tempo de pega. Já que o clínquer quando em contato com a água endurece quase que instantaneamente, o que inviabilizaria o seu uso. As escórias de alto-forno também têm propriedade de ligante hidráulico, o que as assemelha ao clínquer e ao adicioná-las ao clínquer na moagem, produz um cimento com maior durabilidade e maior resistência final. Já os materiais pozolânicos são de rochas vulcânicas ou de matérias orgânicas fossilizadas encontradas na natureza, que tem características aglomerantes, quando pulverizados em partículas muito finas na presença do clínquer. Os materiais carbonáticos são rochas moídas, compostas por carbonato de cálcio (fíler calcário) que melhora a trabalhabilidade dos concretos e argamassas. Assim, as matérias-primas acrescentam qualidade aos cimentos e a adição do gesso, mesmo em pequena proporção, ao clínquer é essencial em todos os tipos de cimento Portland (ABCP, 2002).

No Brasil são produzidos vários tipos de cimento Portland, que se diferenciam entre si devido a sua composição. As especificações brasileiras vigentes para o cimento, de acordo com a ABNT NBR 16697:2018 contempla os seguintes tipos de cimento:

- CIMENTO PORTLAND COMUM:
 - CPI – Cimento Portland Comum;
 - CPI-S – Cimento Portland Comum com Adição.
- CIMENTO PORTLAND COMPOSTO:
 - CPII-E – Cimento Portland Composto com Escória;
 - CPII-Z – Cimento Portland Composto com Pozolana;
 - CPII-F – Cimento Portland Composto com Fíler.
- CIMENTO PORTLAND DE ALTO FORNO: CP III.
- CIMENTO PORTLAND POZOLÂNICO: CP IV.
- CIMENTO PORTLAND DE ALTA RESISTÊNCIA INICIAL: CP V-ARI.
- CIMENTO PORTLAND RESISTENTE AOS SULFATOS: (RS).

- CIMENTO PORTLAND DE BAIXO CALOR DE HIDRATAÇÃO: (BC).
- CIMENTO PORTLAND BRANCO: (CPB).

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (2002), 75% da produção industrial brasileira são dos cimentos compostos. A Tabela 1 descreve a composição de todos os cimentos Portland.

Tabela 1 - Composição dos Cimentos Portland

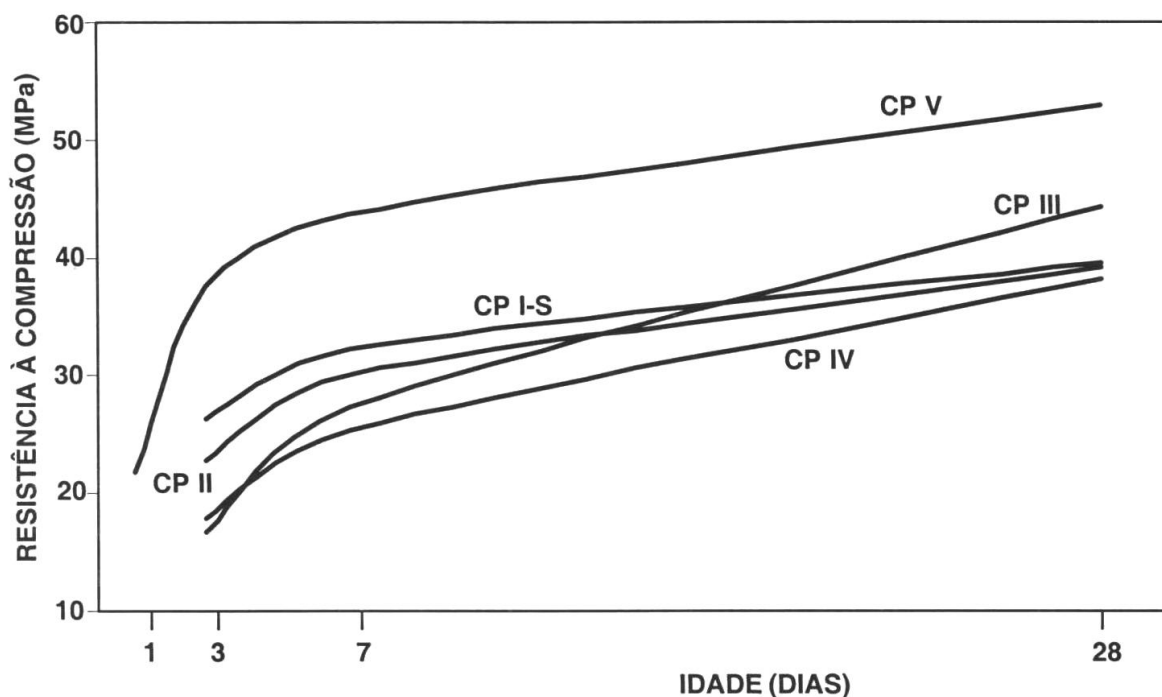
Designação normalizada	Sigla	Classe de resistência	Sufixo	Clínquer + sulfatos de cálcio	Escória granulada de alto-forno	Material pozolânico	Material carbonático
Cimento Portland comum	CP I	25, 32 ou 40	RS ou BC	95 - 100	0 - 5		
	CP I-S			90 - 94	0	0	6 - 10
Cimento Portland composto com escória granulada de alto-forno	CP II-E			51 - 94	6 - 34	0	0 - 15
Cimento Portland composto com material pozolânico	CP II-Z			71 - 94	0	6 - 14	0 - 15
Cimento Portland composto com	CP II-F			75 - 89	0	0	11 - 25

material carbonático								
Cimento Portland de alto forno	CP III			25 - 65	35 - 75	0	0 - 10	
Cimento Portland pozolânico	CP IV			45 - 85	0	15 - 50	0 - 10	
Cimento Portland de alta resistência inicial	CP V ^a	ARI		90-100	0	0	0 - 10	
Cimento Portland branco	Estrutural	CPB	25, 32 ou 40		75-100	-	-	0 - 25
	Não estrutural		-	-	50-74	-	-	26 - 50
^a No caso de cimento Portland de alta resistência a sulfatos (CP V-ARI RS), podem ser adicionadas escórias granuladas de alto-forno ou materiais pozolânicos.								

Fonte: ABNT NBR 16697 (2018)

Além da composição, o cimento Portland é classificado de acordo com a sua resistência. As classes de resistência têm como condição os valores mínimos de resistência à compressão aos 28 dias, ensaio normatizado pela ABNT NBR 7215:1996. As classes são indicadas pelos números 25, 32 e 40. A Figura 1 mostra a evolução da resistência à compressão dos cimentos mais utilizados na construção civil. O fator que está diretamente ligado a resistência é a finura do cimento, pois é um fator que aumenta a rapidez da reação de hidratação. O aumento da finura do cimento intensifica a resistência das primeiras idades, diminui a exsudação, aumenta a permeabilidade, a trabalhabilidade e a coesão do concreto. Contudo, ocorre uma maior retração, devido a maior liberação de calor, ocasionando fissuras. Além, de elevar o custo devido a moagem mais fina do cimento (MEHTA e MONTEIRO, 2008; HELENE E TERZIAN, 1992).

Figura 1 – Evolução média de resistência à compressão dos distintos tipos de cimento portland



Fonte: ABCP (2002)

2.2.2 Agregados

Os agregados ocupam cerca de 60 a 80% do volume do concreto, sendo de grande importância a sua qualidade, já que podem limitar a resistência do concreto. O papel do agregado é determinante no custo (custo inferior com relação ao cimento) e na trabalhabilidade das misturas, mas costumava a ser visto como um material inerte. Mas as propriedades físicas, térmicas e químicas podem influenciar no desempenho estrutural do concreto. O uso de agregados no concreto traz maior estabilidade de volume e maior durabilidade, se comparado a pasta de cimento e afetam o comportamento no estado fresco e endurecido (NEVILLE, 2016; MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Os agregados são classificados de acordo com a dimensão das partículas, massa específica e origem. Os materiais granulares, como a areia, o pedregulho e a pedra britada são exemplos de agregados. Quanto às dimensões, os agregados são classificados em miúdos e graúdos. Os agregados graúdos são partículas maiores que 4,75 mm e os miúdos são menores que 4,75 mm e maiores que 75 µm. Com relação à origem são classificados em naturais e artificiais. Os agregados minerais naturais provenientes de jazidas naturais compõem cerca de 90% dos agregados consumidos na construção civil. Já os agregados artificiais são os materiais termicamente processados, como argila, folhelho expandido, escoria de alto-forno e cinzas

volantes, por exemplo. Alguns materiais provenientes de demolição, e rejeitos urbanos também são utilizados como agregados em alguns casos. A classificação quanto a massa específica é em leves, normais e pesados. Os leves têm massa unitária dos agregados menor que 1120 kg/m^3 , os pesados maiores que 2080 kg/m^3 e os normais estão entre as faixas dos leves e dos pesados (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

A caracterização dos agregados pode ser feita por meio dos seus parâmetros físicos. Entre eles, está a granulometria, o módulo de finura, a massa específica, massa unitária, dimensão máxima característica, coeficiente de inchamento, umidade crítica, apreciação petrográfica, e entre outras, que afetam diretamente na quantidade de pasta de cimento (PETRUCCI, 1998).

A composição granulométrica é a proporção relativa que se encontram os grãos de determinado agregado, geralmente expressa em porcentagem, tendo influência na compacidade e resistência do concreto. A granulometria ótima (granulometria contínua) é quando para uma mesma consistência e mesma relação água/cimento, a um consumo inferior de cimento, pois não apresenta ausência nem excesso de qualquer dimensão de partículas. Quanto maior a dimensão máxima do agregado menor será a área superficial que será envolvida pela pasta de cimento. Sendo que a área superficial do agregado está ligada ao módulo de finura, pois quanto maior o módulo de finura mais graúdo é o agregado (ABCP, 2000c).

As funções dos agregados no concreto são reduzir os custos e as variações de volume (mantendo o mesmo abatimento), e resistir aos esforços solicitantes, ao desgaste e a ação de intempéries (PETRUCCI, 1998).

2.2.2.1 Agregados miúdos

Os agregados miúdos têm uma elevada área específica, influenciando diretamente na plasticidade do concreto. A alteração do teor de miúdos, provoca mudanças no consumo de água e cimento que incide diretamente no custo do concreto. As areias mais finas têm áreas específicas maiores, o que aumenta a quantidade de água de molhagem. Entretanto, por serem mais finas, o teor de areia para uma mesma compacidade será menor. Desse modo, quanto maior consumo de areia maior será o de cimento, pois a pasta de cimento é o agente lubrificante entre as partículas de areia (ABCP, 2000c).

2.2.2.2 Agregados graúdos

A forma e a textura do agregado graúdo interferem na compactidade e na resistência do concreto. As partículas arredondadas e lisas favorecem a plasticidade do concreto, e reduz o consumo de água como também os agregados com maiores dimensões máximas características. A explicação disso é a diminuição da área específica do agregado graúdo, que requer menor quantidade pasta para cobrir e lubrificar seus grãos. Entretanto, a dimensão máxima característica não pode ser maior que 38 mm, pois acarretará perda de resistência devido a menor área de aderência entre a pasta e o agregado (ABCP, 2000c).

2.2.3 Aditivos e Adições

Os aditivos e as adições são materiais adicionados no concreto, com objetivo de modificar as características do concreto e da argamassa, no estado fresco ou endurecido, como impermeabilidade, redução do calor de hidratação, aumento da durabilidade, maior plasticidade, aumento da resistência inicial etc. (PETRUCCI, 1998). A norma “*American Society for Testing and Materials*” (Sociedade Americana para Testes e Materiais), ASTM Internacional C125 - 21, os define como qualquer material que não seja água, agregados, cimento ou fibras adicionados a mistura antes ou durante a dosagem. O crescente uso dos aditivos se dá devido às vantagens físicas e econômicas no concreto, o que possibilita o uso dos variados componentes na mistura (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

O aditivo é definido de acordo com ABNT NBR 11768:2011 como produto adicionado ao concreto em quantidades máximas de 5% da massa de cimento. Sendo composto por substâncias orgânicas e inorgânicas, podendo ser utilizados nos estados líquido, pastoso ou sólido. A ABNT NBR 11768:2011 classifica os aditivos em redutor de água/plastificante, alta redução de água/superplastificante tipo I e tipo II, incorporador de ar, acelerador de pega, acelerador de resistência e retardador de pega. Entretanto, a eficiência do aditivo pode variar de acordo com as propriedades e proporções dos materiais constituintes do concreto, em especial as do cimento (NEVILLE, 2016; ABNT NBR 11768, 2011).

Dentre os variados tipos de aditivos, os mais utilizados são o aditivo redutor de água e o plastificante. As principais características deste composto são a redução de água na mistura sem que haja modificação na consistência do concreto no estado fresco e o aumento do abatimento e da fluidez sem adição de água na mistura. Assim, com a relação a/c reduzida é

possível aumentar a resistência do concreto sem modificar a consistência do concreto (PINHEIRO, 2019).

De acordo com a ABNT NBR 12655:2015, deve seguir a recomendação do fabricante não podendo exceder a dosagem máxima. A utilização do aditivo varia de acordo com a quantidade, se for em quantidades menores que 2 g/kg de cimento o aditivo precisa ser disperso em parte da água de amassamento. Entretanto, se exceder 3 dm³/m³ de concreto deve-se considerar a água do aditivo como parte da água de amassamento.

Além da redução de custos de preparação e lançamento, o uso de aditivos pode compensar os defeitos dos constituintes do concreto. Desse modo, as adições proporcionam ao concreto propriedades até então inexistentes, já os aditivos modificam brevemente as propriedades da mistura (ABCP, 2002).

As adições são produtos mineiras incorporados ao concreto com teores maiores que variam entre 20% a 70% em relação a massa de cimento, como materiais silicosos finamente moídos, de fontes naturais ou subprodutos industriais. Os benefícios pelo uso de adições minerais estão na redução dos custos, no ganho da trabalhabilidade, e na melhora da resistência do concreto às fissuras térmicas, à expansão (reação álcali-agregado) e ao ataque por sulfato (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

2.2.4 *Água de amassamento*

A água de amassamento é a água necessária para hidratar o cimento, e produzir uma mistura com trabalhabilidade. Sendo que a água está envolvida em toda a vida útil do concreto, e influencia em vários aspectos como na resistência, na pega, na exsudação, na retração por secagem, na fluência, no ingresso de sais, na ruptura brusca de concretos de relação água/cimento muito baixa, na colmatação autógena, no manchamento superficial, no ataque químico ao concreto, na corrosão de armaduras, no gelo e degelo, na carbonatação, na reação álcali-agregado, nas propriedades térmicas, na resistividade elétrica, na cavitação, na erosão entre outros. A água aceita para o amassamento do concreto em geral é a água potável, com exceções, sendo que quantidades excessivas de constituintes inorgânicos e a presença de substâncias orgânicas indesejáveis são prejudiciais ao concreto (NEVILLE, 2016). A ABNT NBR 15900-1:2009 descreve os requisitos para a água ser considerada adequada para a utilização no concreto, ou seja, para ser utilizada como água de amassamento.

A hidratação do cimento ocorre por conta dos compostos anidros presente no Cimento Portland, que em contato com água reagem, formando produtos hidratados, ou seja, a

transformação de compostos anidros mais solúveis em compostos hidratados menos solúveis (PETRUCCI, 1998). Contudo, esses compostos não se hidratam com a mesma velocidade. As características de enrijecimento e pega da pasta são determinadas pela hidratação dos aluminatos que é bem mais rápida se comparada com os silicatos. A hidratação dos silicatos, que constitui 75% do cimento Portland, tem função sobretudo nas características de endurecimento do concreto. A mistura de cimento com água (pasta de cimento) trabalha como uma mistura adesiva e lubrificante para os grãos dos agregados (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

O teor de umidade dos agregados, principalmente dos miúdos, deve ser levado em consideração na água de amassamento, para que não ocorra a alteração do a/c. Os agregados podem absorver a água, mas também podem acrescentá-la, pois, o teor de umidade pode ultrapassar os 10%.

O excesso de água no concreto afeta diretamente a resistência do concreto, por conta da maior formação de vazios, mas também na durabilidade e vida útil da estrutura. Entretanto, a hidratação completa do cimento Portland ocorre em relação água/cimento maior que 0,38 em massa, pois em valores menores o volume disponível é insuficiente para acomodar todos os produtos de hidratação. Desse modo, a quantidade de água utilizada no processo de dosagem deve ser estabelecida com cautela. A quantidade ideal de água para determinada consistência está sujeita a diversos fatores como a forma, a textura, a granulometria e a dimensão máxima do agregado, o teor de ar incorporado, o uso de aditivos plastificantes ou redutores de água, e a temperatura do concreto. A temperatura altera a quantidade de água de amassamento, pois a 50 °C a quantidade de água necessária pode dobrar se comparado a 30 °C (NEVILLE, 2016).

2.3 Tipos de Concreto

A ABNT NBR 8953:2015 classifica o concreto segundo a massa específica seca, a classe de resistência à compressão e classe de consistência.

De acordo com a massa específica o concreto é classificado em concreto de densidade normal, leve e pesado. O concreto normal é constituído por areia natural e pedregulhos ou agregados britados, com massa específica seca entre 2000 kg/m³ e 2800 kg/m³ e é mais usado para fins estruturais. O concreto de densidade leve é composto por agregados naturais ou processados termicamente, com massa específica seca inferior a 2000 kg/m³ e é utilizado quando se faz necessário uma relação mais alta entre resistência e peso. Já o concreto pesado ou denso é formado por agregados de alta densidade, para uso em blindagem contra radiação e

tem a massa específica seca superior a 2800 kg/m^3 (MEHTA E MONTEIRO, 2008; ABNT NBR 8953:2015).

As classes de resistência classificam o concreto conforme com o f_{ck} , determinado por ensaio de corpos de provas moldados (ABNT NBR 5738:2015) e rompidos (ABNT NBR 5739:2018), como mostra a Tabela 2. Os concretos com classe de resistência inferior a 20 não são considerados estruturais de acordo com a ABNT NBR 8953: 2015.

Tabela 2 - Classes de resistência de concretos estruturais

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

Fonte: ABNT NBR 8953 (2015)

A consistência do concreto é fator classificatório, pois de acordo com o abatimento do concreto são estabelecidas as classes e as aplicações comuns do concreto, conforme Tabela 3. Para concretos autoadensáveis a ABNT NBR 15823-1:2017 determina a classe especial de consistência.

Tabela 3 – Classes de consistência

Classe	Abatimento mm	Aplicações típicas
S10	$10 \leq A < 50$	Concreto extrusado, vibroprensado ou centrifugado
S50	$50 \leq A < 100$	Alguns tipos de pavimentos e de elementos de fundações
S100	$100 \leq A < 160$	Elementos estruturais, com lançamento convencional do concreto
S160	$160 \leq A < 220$	Elementos estruturais com lançamento bombeado do concreto

S220	≥ 220	Elementos estruturais esbeltos ou com alta densidade de armaduras
<p>NOTA 1 De comum acordo entre as partes, podem ser criadas classes especiais de consistência, explicitando a respectiva faixa de variação do abatimento.</p> <p>NOTA 2 Os exemplos desta Tabela são ilustrativos e não abrangem todos os tipos de aplicações.</p>		

Fonte: ABNT NBR 8953 (2015)

Há inúmeros tipos de concreto com termos apropriados, não sendo possível listar todos, pois variam conforme a composição e propriedades especiais, como, concreto armado com fibra e concreto de cimento expansivo (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

2.4 Concreto no Estado Fresco

O concreto denominado fresco é quando o concreto completamente misturado se encontra no estado fluido ou plástico, sendo possível adensá-lo por uma ação dinâmica qualquer. O período do estado fresco é muito curto, já que após a adição de água à mistura, o concreto na maioria das vezes permanece de uma a cinco horas plástico (HELENE E ANDRADE, 2010). No concreto, o ar se encontra em forma de bolhas ou em espaços interligados, a predominância de uma dessas formas determina a plasticidade da mistura. A relação teor de água/mistura seca para o concreto fresco é mais importante do que a relação água/cimento, ou seja, o percentual de massa de água com relação à massa de cimento mais agregado (mistura seca) é primordial para a dosagem (ABCP, 2000b).

2.4.1 *Trabalhabilidade*

A trabalhabilidade do concreto é a característica mais importante do estado fresco, e é influenciada por vários fatores intrínsecos ao concreto, como o tamanho, a forma e a textura das partículas dos agregados, relação água e cimento, consumo de cimento, teor de argamassa. A condição de execução da obra influencia na trabalhabilidade, devido ao tipo de transporte, adensamento, lançamento, características da forma, dimensões das peças, disposição das armaduras, entre outros. O concreto é considerado trabalhável pela capacidade de ser moldável,

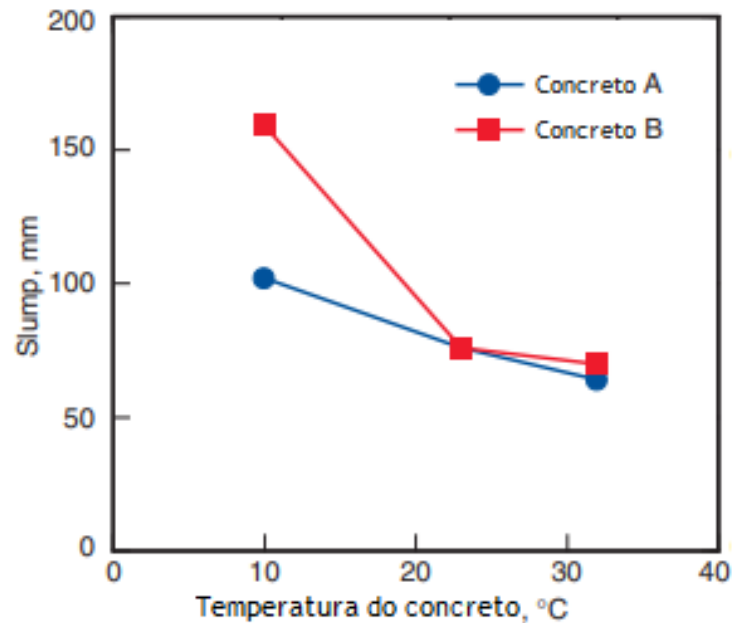
adensável e envolver completamente as armaduras, sem segregar ou exsudar (HELENE E ANDRADE, 2010; ABCP, 2000b).

A consistência é o elemento físico mais importante da trabalhabilidade, pois traduz a mobilidade da massa (fluidez) e a coesão entre os elementos da mistura fresca. Sendo traduzido pelo esforço necessário para adensar o concreto e a pela facilidade da redução de vazios, garantindo a estabilidade, uniformidade e o bom rendimento da execução. A consistência do concreto pode ser expressa por meio do ensaio de abatimento do tronco de cone (ABNT NBR NM 67:1998), sendo de fácil execução (MEHTA E MONTEIRO, 2008; ABCP, 2000b).

As características da consistência são determinadas pelo teor de água no concreto, tipo e finura do cimento, granulometria e forma do grão do agregado, aditivos, tempo, temperatura e umidade relativa do ar. Concretos mais fluido na maioria das vezes são mais trabalháveis que os secos, mas a mesma consistência pode ter diferentes trabalhabilidades. O teor de água no concreto deve ser analisado com cautela, pois a mistura muito seca traz um adensamento inadequado, um acabamento ruim, podendo aumentar o custo do concreto por conta do consumo de energia (esforço) excessivo. Já o concreto muito fluido pode segregar e exsudar, o que aumenta os custos, diminui a durabilidade e a resistência, e a qualidade do concreto. Entretanto, um pequeno excesso de água é menos prejudicial que a carência de água na mistura (MEHTA E MONTEIRO, 2008; ABCP, 2000b).

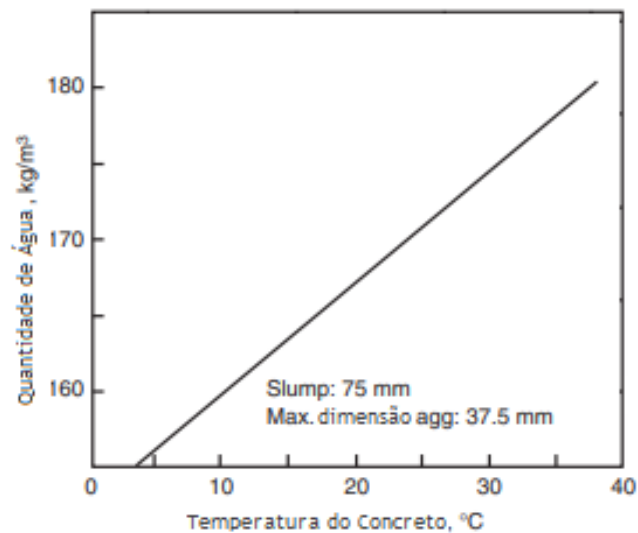
Em altas temperaturas a hidratação do cimento ocorre de forma acelerada, assim reduz o tempo de início e fim de pega e conseqüentemente a trabalhabilidade do concreto. Na Figura 2, é possível observar a queda do abatimento em concretos com consistências diferentes, devido ao aumento de temperatura do concreto. Este aumento pode ocorrer devido a diversos fatores dentre eles as temperaturas dos materiais e do ambiente e a umidade dos agregados. A quantidade de cada material interfere na sua contribuição para o aumento de temperatura, os agregados e água tem maior influência neste aumento de temperatura. A água devido ao seu calor específico elevado e os agregados devido à grande quantidade de material na mistura. Já o cimento tem um efeito mínimo na temperatura do concreto, devido ao baixo calor específico. Mas a sua temperatura pode estar elevada devido ao tempo entre a moagem do clínquer e o uso do material. Com a elevação da temperatura, para um mesmo abatimento, faz-se necessário o aumento no consumo de água de amassamento conforme mostra a Figura 3. Com essas variações aumenta o potencial de fissuração por retração plástica (KOSMATKA; KERKHOFF; PANARESE, 2002).

Figura 2 - Relação entre o Slump e a Temperatura do concreto



Fonte: adaptado de KOSMATKA; KERKHOFF; PANARESE (2002)

Figura 3 - Relação entre a quantidade de água e a temperatura do concreto



Fonte: adaptado de KOSMATKA; KERKHOFF; PANARESE (2002)

A coesão entre os elementos da mistura traduz a resistência à exsudação e à segregação do concreto. A segregação é compreendida pela separação dos constituintes da mistura, impedindo a uniformidade do concreto. As principais causas da segregação são a diferença entre o tamanho dos grãos do agregado e as massas específicas dos constituintes da mistura. Entretanto, o grau de segregação pode ser controlado pela escolha adequada da granulometria

dos agregados e pelo cuidado em todo o processo de produção até o adensamento. A segregação pode acontecer de duas formas, sendo a primeira pela separação dos grãos maiores do agregado dos demais, devido a tendência de se deslocar mais rapidamente, e se depositarem no fundo; a segunda pelo excesso de água em misturas muito plásticas, onde o cimento e água se separam. A vibração intensa do concreto e o lançamento do concreto em alturas consideráveis também podem acarretar a segregação da mistura, o que resultará em um concreto com resistência baixa e sem uniformidade (ABCP, 2000b; NEVILLE, 2016).

A segregação pode ocorrer em forma de exsudação, que consiste na migração da água da mistura para a superfície do concreto, após ter sido lançado e adensado. A água é o componente mais leve, o que impossibilita os constituintes sólidos fixarem toda a água de amassamento em um estado disperso e sob a força da gravidade os sólidos em suspensão tendem a sedimentar. A exsudação pode causar elevada porosidade, baixa durabilidade, enfraquecimento da aderência pasta-agregado, aumento da permeabilidade, fissuras por retração plástica e redução da resistência. Entretanto, a exsudação em alguns pontos pode ser benéfica, pois em concretos muito fluidos há tendência para exsudar e caso não ocorra perturbações na estrutura do concreto, essa camada evapora e reduz a relação água/cimento, o que aumentará a resistência (ABCP, 2000b; MEHTA E MONTEIRO, 2008; NEVILLE, 2016).

2.5 Concreto no Estado Endurecido

O cimento quando é adicionado água se torna plástico, sendo denominado o tempo da adição de água até o início das reações com os compostos de cimento, como início de pega. O início de pega é caracterizado pela elevação da temperatura e o começo do enrijecimento da mistura. Sendo o fim de pega onde o concreto deixa de ser deformável e se torna rígido. A velocidade de hidratação é maior no início e reduz lentamente, durante a transição dos estados (PETRUCCI, 1998; ABCP, 2000a).

No processo de endurecimento, algumas propriedades são essenciais como a resistência à compressão, à tração e à tração na flexão, a aderência, a durabilidade, a impermeabilidade, aparência e resistência a abrasão. Sendo que com a redução da relação água/cimento todas essas propriedades, exceto aparência, são aprimoradas. A qualidade do concreto depende diretamente da qualidade da pasta, que é determinada pela relação água/cimento, tipo de cimento e execução da obra. Além disso, os agregados têm grande importância no desempenho do concreto endurecido, pois constituem cerca de 60% a 80% do volume, e o restante é dividido em 7% a 15% de cimento e 16% a 21% de água (PETRUCCI, 1998; ABCP, 2000a).

2.5.1 Resistência do Concreto

A resistência do concreto é considerada a principal propriedade para projetistas e engenheiros, quando se fala de controle de qualidade. Sendo função principalmente da resistência da pasta de cimento endurecida, do agregado e da ligação pasta-agregado. Entretanto, os fatores de adensamento, as condições de cura, os tipos de aditivos, as adições, as condições de umidade e a geometria do corpo-de-prova, o tipo de tensão e a velocidade de carregamento podem interferir na resistência do concreto. A Tabela 4 mostra os principais fatores que influenciam a resistência à compressão do concreto.

Tabela 4 – Principais fatores que influenciam a resistência à compressão potencial do concreto medida no ensaio de controle

Causas de variação	Efeito máximo no resultado
A- Materiais . variabilidade da resistência do cimento . variabilidade da quantidade total de água . variabilidade dos agregados (principalmente miúdos)	±12% ±15% ±8%
B- Mão-de-obra . variabilidade do tempo e procedimento de mistura	- 30%
C- Equipamento . ausência de aferição de balanças . mistura inicial, sobre e subcarregamento, correias etc.	- 15% - 10%
D- Procedimento de ensaio . coleta imprecisa . adensamento inadequado . cura (efeito considerado a 28 dias ou mais) . remate inadequado dos topos . ruptura (velocidade de carregamento)	- 10% - 50% ±10% - 30% para concavidade - 50% para convexidade ±5%

Fonte: HELENE E TERZIAN (1993)

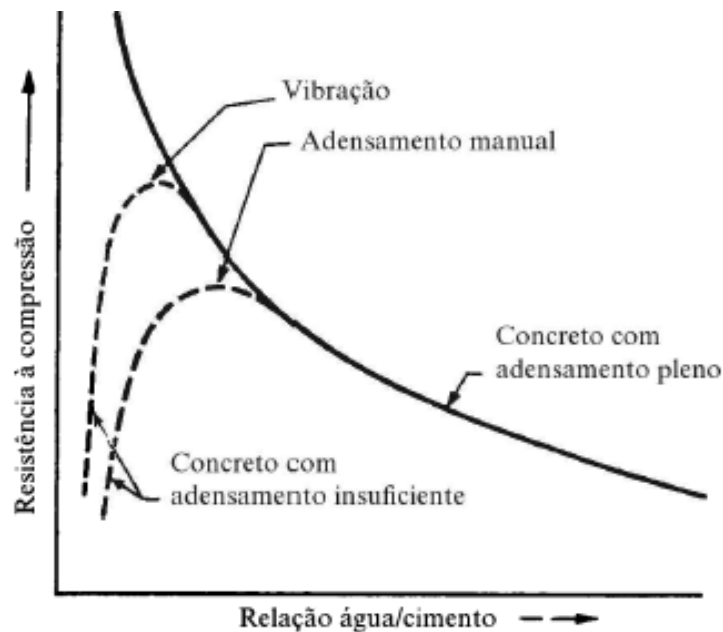
A capacidade de determinado material resistir à tensão sem romper é definida como a resistência. No entanto, o concreto contém fissuras finas internas sem ser submetido a tensões. Assim, a resistência é caracterizada pela tensão máxima suportada pelo concreto. Nos ensaios de tração a fratura é definida como a ruptura do corpo de prova, e nos ensaios à compressão pode ser considerado rompido sem que haja fraturas, mas os corpos de prova não suportam cargas de maior tensão (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

A resistência da pasta de cimento é fator principal na resistência à compressão, devido à resistência depender da relação água/cimento. A porosidade e o grau de hidratação são influenciados pela relação água/cimento, pois quanto maior a/c, menor a resistência, em concretos sem aditivos. A Lei de Abrams avalia a resistência em função do a/c, como mostrado na equação 1.

$$R = \frac{A}{B^X} \quad (1)$$

Onde R é igual a resistência do concreto, x o fator a/c e A e B constantes empíricas. Porém, a porosidade da pasta de cimento endurecida é determinada pela relação água/cimento e pelo grau de adensamento que afeta o volume de vazios. Assim a Figura 4, ilustra a variação da resistência à compressão do concreto com a relação água/cimento, demonstrando a influência do adensamento nestes fatores (NEVILLE, 2016).

Figura 4 - Relação entre a resistência do concreto e sua relação água/cimento



Fonte: MEHTA E MONTEIRO (2008)

O agregado pode afetar na resistência do concreto, pois a resistência do agregado deve ser compatível com a do concreto. A resistência do agregado é maior que a resistência do concreto, com exceção do agregado leve. Desse modo, o uso de agregados pode aumentar a resistência do concreto tanto à compressão como à tração, principalmente nos concretos de alta

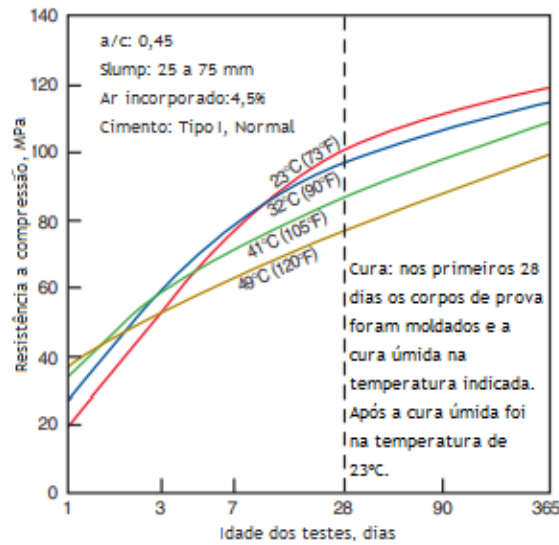
resistência. Porém, as características físicas dos agregados podem alterar o a/c, afetando a resistência do concreto.

A aderência pasta-agregado é um fator que influencia na qualidade do concreto. A aderência depende da textura superficial dos grãos e da composição química dos agregados. As partículas que tendem para cúbicas e a superfície mais rugosa melhora a aderência da pasta ao agregado, conseqüentemente a resistência mecânica. O que acontece também com a diminuição da dimensão máxima característica do agregado graúdo. Assim, a resistência à compressão e à flexão aumentam com o aumento da rugosidade da superfície dos grãos. A maioria dos agregados são considerados inertes à pasta, mas os agregados de origem basáltica tendem a aumentar a aderência, devido ao aumento do teor de sílica na composição do agregado.

A resistência à compressão é normatizada pela ABNT NBR 5738:2015 e ABNT NBR 5739:2018, onde corpos de prova cilíndricos são submetidos a tensões crescentes e uniformes, produzindo esforços de compressão distribuídos em toda a seção transversal. A tensão de ruptura é a carga máxima durante o ensaio dividido pela área do diâmetro médio do corpo de prova. Já a resistência à tração, é determinada pela aplicação de tensão ao longo da geratriz de um cilindro ou pelo ensaio de tração por flexão. O concreto é pouco resistente à tração, comparando com a resistência à compressão. Porém, em alguns elementos estruturais o concreto é submetido a esforços de tração, como em vigas e lajes. A relação entre as tensões de ruptura à compressão e à tração do concreto varia de acordo com a resistência do concreto, conforme a resistência aumenta a relação aumenta. Em casos de f_{ck} menor ou igual a 18 MPa a resistência a tração (f_{tk}) corresponde a 10% do f_{ck} . Já para f_{ck} maior que 18 MPa o f_{tk} é igual a 6% do f_{ck} mais 0,7 MPa (ABCP, 2000a).

As altas temperaturas do concreto no estado endurecido, além de provocar fissuras podem alterar a sua resistência à compressão. A Figura 5 ilustra que inicialmente os concretos em temperatura mais alta apresentam maior resistência inicial, nas idades posteriores ocorrem uma queda do crescimento da resistência à compressão se comparado aos mantidos em temperaturas mais baixas. Caso ocorresse um aumento na quantidade de água de amassamento para manter o abatimento (altas temperaturas ocasionam queda no abatimento), a redução do crescimento da resistência seria maior que o indicado na Figura 5 (KOSMATKA, KERKHOFF, PANARESE, 2002).

Figura 5 – Efeitos das altas temperaturas do concreto na compressão em diferentes idades



Fonte: adaptado KLIEGER (1958)

2.5.2 Deformações do Concreto

A deformação do concreto ocorre por meio de tensões, mas pode ocorrer sem tensão aplicada por conta de variações na temperatura do ambiente e na umidade. As deformações no concreto podem ser elásticas e inelásticas no carregamento e de retração devido a secagem ou resfriamento, causando fissuras (NEVILLE, 2016; MEHTA E MONTEIRO; 2008).

De acordo com a ABCP (2000a), as deformações são variações de volume do concreto, sendo provocadas por diferentes causas, dentre elas as higrométricas (variação no teor de água), as químicas (reações), as térmicas (temperatura) e as mecânicas (ação de carga).

As deformações se diferenciam de concreto para concreto pois o consumo de cimento, a relação água/cimento e os materiais utilizados, ou seja, a sua composição irá indicar as mudanças de volume que poderão ocorrer na estrutura exposta (PETRUCCI, 1998).

2.5.3 Permeabilidade

A permeabilidade está relacionada ao fluxo de um fluido através de qualquer meio poroso. Quanto ao concreto, a água é indiretamente responsável pela permeabilidade, já que no processo de hidratação do cimento a água tem um papel fundamental e ainda traz trabalhabilidade para a mistura. Sendo que tanto a pasta de cimento quanto os agregados têm poros, e o concreto como um todo contém vazios advindos da mistura (ar aprisionado).

No estado endurecido, grande parte da água é perdida por meio da evaporação para o ambiente ou consumida pelas reações de hidratação do cimento, deixando assim poros vazios ou não saturados, denominados poros capilares (MEHTA E MONTEIRO, 2008). Se esses poros que antes estavam preenchidos por água forem maiores que o volume produzido pela hidratação, terá um concreto mais poroso, sendo assim mais permeável. A resistência e durabilidade está relacionada diretamente com o volume de poros vazios, pois para uma maior resistência, a hidratação do cimento deve ser elevada ocasionando uma menor permeabilidade.

A alta permeabilidade reduz a resistência e a durabilidade, pois estão mais passíveis à carbonatação e agentes agressivos. Concretos com a relação a/c elevada tendem a possuir alta permeabilidade devido ao alto consumo de água de amassamento (NEVILLE, 2016).

2.5.4 Durabilidade

Segundo a ABCP (2000a), a durabilidade do concreto endurecido deve ser por longos anos. O concreto deve desempenhar suas funções mantendo sua resistência durante toda a sua vida útil, ou seja, se o concreto suportar todo o processo de degradação ao qual será exposto, ele é considerado durável. A durabilidade não quer dizer que o concreto resistirá a todas as ações e que terá uma vida infinita (NEVILLE, 2016).

A baixa durabilidade do concreto pode estar relacionada a causas externas ou ambientais, ou ainda internas próprias do concreto. A degradação do concreto ocorre normalmente por meio de ações mecânicas, físicas e químicas, sendo decorrentes do intemperismo, das temperaturas elevadas, da abrasão, de gases e líquidos agressivos. O dano causado por esses agentes irá variar de acordo com a qualidade do concreto. As principais causas internas são a permeabilidade, a reação álcali-agregado e as variações térmicas de volume. Os concretos com baixa permeabilidade tendem a ter vida útil mais prolongada (ABCP, 2000a).

2.6 Produção dos concretos

Para a produção de um concreto com qualidade a seleção e o proporcionamento dos materiais são operações iniciais primordiais na sua elaboração, para que o concreto possa atingir as especificações de resistência e durabilidade. No entanto, a execução do concreto conta com várias etapas de produção sendo estas o recebimento, o armazenamento e a caracterização dos

materiais, a dosagem, a mistura, o transporte, o lançamento, adensamento e a cura (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

De acordo com a ABNT NBR 12655:2015 o concreto pode ser dosado na obra, em central dosadora, e em caminhão betoneira. Sendo que a empresa de serviços de concretagem é responsável pela dosagem, mas na maioria das vezes mistura e transporta o concreto até o local de entrega. A ABNT NBR 7212:2012 regulamenta a produção do concreto dosado em central e determina os requisitos para execução do concreto, desde o armazenamento dos materiais até o lançamento do concreto.

2.6.1 *Recebimento e armazenamento dos materiais*

De acordo com a ABNT NBR 12655:2015 a caracterização dos materiais componentes do concreto é a requisito básico de preparo do concreto. De forma que os constituintes do concreto não tenham substâncias danosas em quantidades que comprometem a durabilidade e causam corrosão da armadura. Deve ser observado as exigências das Normas Brasileiras específicas dos agregados, do cimento, da água e dos aditivos afim de ter o controle tecnológico dos materiais e satisfazer as exigências da ABNT NBR 12655:2015, para o concreto no estado fresco e endurecido.

O armazenamento dos materiais componentes do concreto é especificado pela ABNT NBR 12655:2015, onde descreve que os materiais devem ficar armazenados em locais ou recipientes apropriados, separados fisicamente e identificados, para que não ocorra contaminação, alteração ou mistura de materiais com características e origens diferentes.

2.6.2 *Proporcionamento, Mistura e Transporte*

O proporcionamento ou dosagem é a medição dos materiais para o preparo do concreto, para um requerido volume e determinar a combinação dos componentes mais econômica, que atenda as exigências mínimas de desempenho. De acordo com a ABNT NBR 12655:2015 o cimento e os agregados devem ser medidos em massa, já para a água de amassamento pode ser utilizado um dosador para medição em volume ou pela sua massa corrigindo-a de acordo com a umidade dos agregados. O aditivo líquido pode ser medido em massa ou volume, ao contrário dos agregados que o inchamento da areia úmida pode interferir nas medições. Entretanto, os agregados podem ser medidos por volume, nos concretos da classe C20 e os não estruturais, se

o concreto for preparado no próprio canteiro de obras seguindo as recomendações da ABNT NBR 12655:2015. Nas usinas de concreto, o proporcionamento ocorre em massa e geralmente é automático ou semiautomático, tendo em vista o desvio máximo tolerado. O cimento deve ser dosado separadamente dos demais componentes. Para o concreto, a unidade de medida do seu volume é o metro cúbico no estado fresco adensado (MEHTA E MONTEIRO, 2008; ABNT NBR 12655, 2015).

Nas centrais, a calibragem dos dosadores volumétricos de água e aditivos deve ser feita regularmente, podendo ter variação de no máximo 2%. As balanças devem ser calibradas a cada três ou seis meses, para aquelas com células de carga o intervalo máximo entre as calibrações é até seis meses e para as com transmissão mecânica até três meses (ABNT NBR 7212, 2012).

A mistura do concreto ocorre após a pesagem criteriosa de cada material, onde devem ser misturados a fim de obter uma massa homogênea e uniforme. Esta etapa deve ser executada com equipamento apropriado. O tempo de mistura varia conforme o tipo de betoneira, sendo que a quantidade de rotações da betoneira e a sua velocidade é fator principal para medição da qualidade da mistura (NEVILLE, 2016).

Os equipamentos utilizados para a mistura são betoneira estacionária, caminhão betoneira ou centrais misturadoras. No Brasil, o caminhão betoneira é o mais utilizado, pois a mistura e o transporte ocorrem simultaneamente, permitindo um investimento menor, pois durante o deslocamento e ocorre a mistura, reduzindo o prazo, evitando atrasos. Na mistura no caminhão, os materiais são dosados na central dosadora e desde o início do carregamento até a descarga os componentes são misturados pelo caminhão betoneira. Contudo, a qualidade da mistura no caminhão betoneira é inferior ao misturado em centrais misturadoras, e a capacidade do caminhão-betoneira é reduzida para 63%. Assim, para aumentar a capacidade do caminhão, parte do concreto é misturada na central e a mistura completa é feita em trânsito, mas esse método é raramente utilizado (NEVILLE, 2016; MEHTA E MONTEIRO, 2008).

O concreto após a mistura total precisa ser transportado até o local de aplicação o mais breve possível, sem que ocorra a segregação. De acordo com a ABNT NBR 7212:2012, o transporte necessita ser executado com veículos que tenham ou não dispositivo de agitação, mas de modo que não ocorra a perda de material. No concreto produzido na obra, normalmente são utilizadas padiolas, carrinhos de mão, caçambas, guias, esteiras entre outros equipamentos. Já o CDC, pode ser transportado por caminhão betoneira ou caminhão agitador. Durante os 30 primeiros minutos após a adição de água na mistura, há uma perda desprezível de consistência, e até os primeiros 90 minutos a perda do abatimento não interfere incisivamente no lançamento e adensamento. A principal finalidade é garantir que o concreto não segregue, independente de

qual método e equipamento é utilizado para transportar e lançar o concreto (NEVILLE, 2016; ABCP, 2000a).

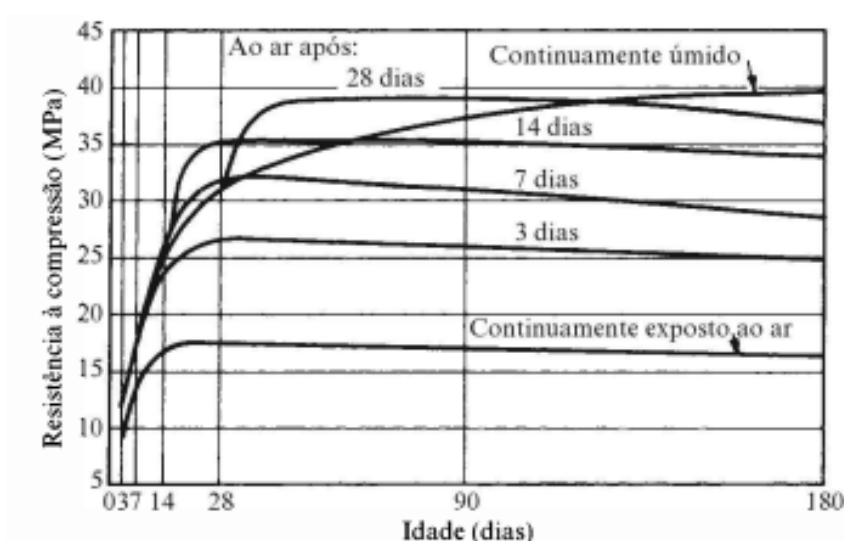
2.6.3 *Lançamento, Adensamento e Cura*

O lançamento e o adensamento devem ocorrer antes do início da pega, para que não ocorra a formação de “junta-fria”. O lançamento deve iniciar-se em até 30 min da entrada do caminhão betoneira na obra, e finalizados em até 150 min a partir da primeira adição de água. Caso seja utilizado veículo sem equipamento de agitação, os trabalhos devem ser finalizados em até 60 min a partir da primeira adição de água (ABNT NBR 7212:2012).

Os equipamentos mais usados no lançamento são as esteiras rolantes, as bicas dos caminhões, as tremonhas e as bombas estacionárias e lanças. Sendo que se deve evitar lançar o concreto de grandes alturas e lançá-lo o mais próximo de sua posição final, para que não ocorra a segregação dos constituintes. O adensamento pode ser manual por socamento com uma haste, por exemplo, ou por métodos mecânicos como os vibradores. A eficiência do adensamento reflete diretamente na resistência do concreto, os concretos adensados com vibradores tendem a ter resistência maior que os adensados manualmente, pois quanto menor a quantidade de vazios maior a resistência do concreto. Dessa forma é imprescindível o adensamento para obtenção de um concreto de qualidade (ABCP, 2000a).

O processo de cura do concreto tem por finalidade evitar que a água de hidratação do cimento evapore durante os estágios iniciais de endurecimento, pois, as reações dos anidros em contato com água não ocorrem na mesma velocidade e cessam na ausência de algum componente. Assim, tem-se necessário manter o concreto saturado para que ocorra a máxima hidratação do cimento, e só cesse na ausência de anidros. Além da perda de umidade, a cura controla a temperatura do concreto até que ele atinja a resistência requerida. A ausência da cura gera retração plástica, aumento da permeabilidade e redução da resistência a abrasão. Na Figura 6 é ilustrada a relação da cura com a resistência, e mostra a influência do tempo de cura na resistência à compressão do concreto. Assim, quanto maior o tempo de cura maior será a resistência do concreto com o passar do tempo. Os métodos mais usuais de cura se dão por cura úmida e cura por membrana (MEHTA E MONTEIRO, 2008; NEVILLE, 2016).

Figura 6 - Influência da cura úmida na resistência do concreto com relação a/c igual a 0,50



Fonte: Neville (2016)

2.7 Centrais Dosadoras

A ABNT NBR 7212:2012 define concreto dosado em central como,

Concreto dosado, misturado em equipamento estacionário ou em caminhão betoneira, transportado por caminhão betoneira ou outro tipo de equipamento, dotado ou não de agitação, para entregar antes do início de pega do concreto em local e tempo determinados, para que se processem as operações subsequentes à entrega, necessárias à obtenção de um concreto endurecido com as propriedades pretendidas.

O concreto dosado em central racionaliza o processo construtivo e o canteiro de obras, e auxilia no controle de custos de todo o material lançado na obra. O CDC é o mais empregado no Brasil, nos Estados Unidos e em alguns países da América Latina devido a sua versatilidade, custo e qualidade. Em canteiros muito congestionados ou em construções de rodovia é indicado o concreto usinado devido às melhores condições de controle e fabricação. O controle do concreto dosado em central é rigoroso pois a usina trabalha quase em condições industriais, facilitando o controle de qualidade do concreto no estado fresco. Além da dosagem dos materiais constituintes do concreto, o transporte também é de responsabilidade da usina, mas o lançamento e o adensamento são de responsabilidade da obra. O emprego do concreto usinado é bastante variado, pois tanto em obras de grande quanto de pequeno porte é vantajoso utilizar CDC (NEVILLE, 2016; SANTELMO, 2018).

A manutenção da trabalhabilidade é a principal dificuldade do CDC. A temperatura elevada e a mistura prolongada do concreto são fatores que intensificam o processo de enrijecimento do concreto (NEVILLI, 2016). De acordo com a ABNT NBR 7212:2012 o tempo

máximo para o lançamento e adensamento é de 150 min após a adição de água, assim durante esse intervalo o concreto deve manter sua plasticidade sem modificar suas propriedades físicas e químicas.

As centrais de concreto é um conjunto de instalações compostas por silo de cimento, reservatórios de água e aditivo, balanças de cimento e agregados, hidrômetros, compressores, escritório, cabine de comando, maquinário entre outros. A central é responsável pelo recebimento, estocagem e dosagem dos materiais constituintes do concreto, mistura e transporte. Existem diferentes tipos de centrais dosadoras no mercado, as principais diferenças entre elas são: a forma de pesar os agregados, podendo ser Tow Go (Figura 7) ou caixa de agregados, e a automatização ou não do carregamento no caminhão. A diferença da Tow Go com a caixa de agregados, é que a balança Tow Go pesa a quantidade de agregados para uma carga por vez, sendo que na caixa de agregados é depositado os agregados e depois a quantidade de cada um deles é direcionada para o caminhão. A quantidade mínima de entrega por viagem é de 3 m³, sendo que os pedidos devem ser múltiplos de 0,5 m³ (ABNT NBR 7212, 2012; PORTAL DO CONCRETO, 2008).

Figura 7- Central dosadora de concreto Tow Go



Fonte: Autora

2.8 Controle Tecnológico do concreto em usinas dosadoras

O controle tecnológico é um conjunto de métodos, que aferem a qualidade da produção e auxilia o fabricante a produzir um concreto econômico de acordo com as especificações. Sendo o controle de produção obrigatório, desde o controle de qualidade da matéria-prima até as características finais do concreto. Todas as ações de controle visam controlar os fatores que influenciam na resistência à compressão. Para a qualificação do concreto é necessário atender os quesitos de trabalhabilidade, resistência, durabilidade e estética, que podem ser aferidos durante o processo de dosagem. As análises são realizadas nos materiais constituintes do concreto, nos ensaios de abatimento e resistência à compressão e no controle estatístico dos resultados obtidos (HELENE E TERZIAN, 1992; PETRUCCI, 1998; NEVILLE, 2016).

A certificação da qualidade do concreto é diferente, pois é um material com prazo de aplicação reduzido e sua certificação é garantida na carta de valores. O sistema de controle de produção mais utilizado e aceito no Brasil, é baseado na carta de controle, pois acompanha a uniformidade e a eficiência do concreto. O controle estatístico relaciona a variabilidade do processo de produção com os ensaios no concreto, ou seja, compara os resultados obtidos com os valores pré-estabelecidos e demonstram o desvio entre eles. (PETRUCCI, 1998; HELENE E TERZIAN, 1992). A ABNT NBR 7212:2012 regulamenta os critérios do controle do processo de dosagem da central e análise dos processos, sendo dividido em amostragem e análise estatística. A ABNT NBR 12655:2015 inclui o ensaio de consistência no controle de recebimento e aceitação e devem ser realizados em todas as viagens.

2.8.1 Amostragem

A amostragem ocorre aleatoriamente dentre as betonadas, sendo que cada amostra é formada por dois corpos de prova da mesma betonada (ABNT NBR NM 33:1998) para cada idade de ensaio, que serão moldados e curados conforme ABNT NBR 5738:2015 e ensaiados conforme ABNT NBR 5739:2018. A resistência considerada por amostragem é a maior dos dois exemplares ensaiados, pois a diferença entre as resistências de dois corpos de prova irmãos se deve a possíveis falhas durante o processo de ensaio e controle. A ABNT NBR 7212:2012 recomenda a frequência de amostragem para a condição de operação inicial e contínua, e que os exemplares podem ser retirados de qualquer família de concreto (Tabela 5).

Tabela 5 – Amostragem

Condição	Frequência de amostragem
Operação inicial da central de concreto (até serem obtidos, ao menos, 32 resultados)	Uma amostra a cada 20 m ³ e, no mínimo, duas amostras por dia de operação
Operação contínua (após serem obtidos, ao menos, 32 resultados)	uma amostra a cada 50 m ³ e, no mínimo, uma amostra por dia de operação

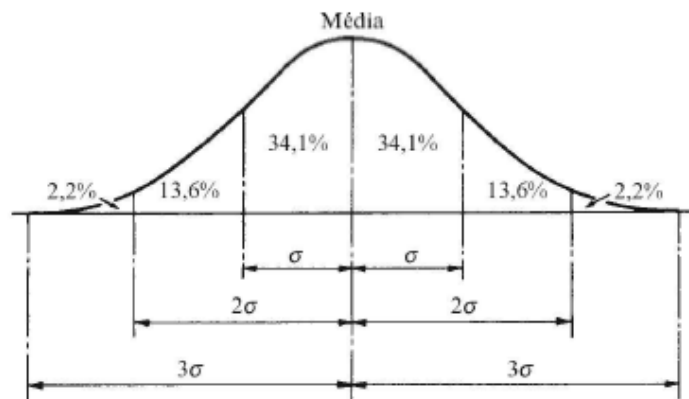
Fonte: ABNT NBR 7212 (2012)

A ABNT NBR NM 33:1998 descreve que a moldagem deve ser feita sem ultrapassar 15 min após a retirada da amostra composta. Sendo que a coleta das amostras deve ser realizada enquanto o caminhão betoneira descarrega os primeiros 15% de concreto. A ABNT NBR 5738:2015 especifica que os moldes cilíndricos devem ter de altura o dobro do valor diâmetro, sendo o diâmetro de 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm ou 45 cm.

2.8.2 Análise estatística

Os resultados obtidos dos ensaios devem ser analisados estatisticamente devido a variação nos resultados, utilizando conceitos probabilísticos. Para a análise estatística deve se considerar a dispersão variável dos resultados que é avaliada de acordo com o desvio-padrão. A distribuição normal ou de Gauss (Figura 8) é a distribuição que os resultados de resistência obedecem, caso sejam produzidos em condições usuais e constantes, e o mais próximo da realidade.

Figura 8 - Curva da distribuição normal; mostradas as porcentagens de resultados de corpos de prova em intervalos de um desvio padrão



Fonte: Neville (2016)

Os parâmetros estatísticos da distribuição são a média (μ) e o desvio padrão (σ). O ponto central de simetria da distribuição normal é determinado pela média dos valores obtidos, sendo o gráfico em formato curvo. A largura da distribuição é determinada pelo desvio-padrão, ou seja, quanto menor o valor do desvio-padrão mais acentuada será a concentração de valores próximos à média tendo um maior pico de frequência. Mas a curva se refere a população infinita de corpos de provas, sendo que a quantidade utilizada é limitada. Dessa forma, a área sob a curva entre as ordenadas, determina a probabilidade da resistência de um corpo de prova aleatório estar dentre os valores limites. Portanto, faz-se necessário o uso da distribuição gaussiana, pois considerando a dispersão dos resultados e determinando um nível de confiança, normalmente 95%, foi adotado a resistência características do concreto à compressão (f_{ck}). De acordo com o f_{ck} é possível qualificar o concreto (NEVILLE, 2016; HELENE e TERZIAN, 1992).

Assim, a ABNT NBR 6118:2007 afirma que os valores característicos de resistência têm 5% de probabilidade de não ser atingido, sendo que com o valor da resistência característica ($f_{ck, ref}$) e com o desvio padrão da dosagem (S_d), obtém este valor de resistência à compressão referência de dosagem, prevista para idade de j dias, (f_r/f_{c_j}) (Equação 2).

$$f_r/f_{c_j} = f_{ck, ref} + 1,65S_d \quad (2)$$

O cálculo do desvio-padrão (S_n) é feito a partir dos resultados obtidos (f'_i), e da média dos resultados (f_{cm}) (Equação 3), de acordo com a ABNT NBR 7212:2012.

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f'_i - f_{cm})^2}{n-1}} \quad (3)$$

onde,

n é o número de exemplares da amostra.

Recomenda-se que o desvio-padrão dever ser calculado com no mínimo 16 exemplares, quando analisado uma única classe de resistência de uma determinada família de concreto, no mínimo 24 exemplares, quando analisado uma família de concreto específica e suas classes de resistência, e 32 exemplares no mínimo quando são analisadas diversas famílias de concreto e suas classes de resistência. A avaliação do desvio-padrão é dividida em níveis, sendo nível 1 considerado uma produção excelente, nível 2 uma produção boa, nível 3 uma produção razoável

e o nível 4 que é inaceitável (Tabela 6). O desvio-padrão é o parâmetro mais importante do controle de qualidade da produção, pois o custo do m³ de concreto está relacionado a ele (ABNT NBR 7212, 2012; HELENE E TERZIAN, 1992).

Tabela 6 – Avaliação do desvio-padrão do processo

Local de preparo do concreto	Desvio-padrão MPa			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Central	$S_n < 3,0$	$3,0 < S_n < 4,0$	$4,0 < S_n < 5,0$	$S_n > 5,0$

Fonte: ABNT NBR 7212 (2012)

O coeficiente de variação é a dispersão dos resultados em porcentagem, pode ser calculado por $(\sigma/\mu) \times 100$ e é adimensional. Sendo em alguns casos, para melhor compreensão dos resultados a dispersão expressa em valor percentual (NEVILLE, 2016).

O parâmetro de controle de qualidade utilizado para a resistência à compressão do concreto tem por finalidade a obtenção de um valor potencial, único e característico para a resistência do concreto de determinado volume, para compará-lo com os valores de projeto referenciais, utilizados para dimensionamento da estrutura (HELENE e TERZIAN, 1992).

A ABNT NBR 7212:2012 recomenda ajustes de dosagens de acordo com as variações do desvio-padrão, da resistência média da central ou de determinada família de concreto observadas no processo. A análise por classe de resistência é satisfatória quando em determinado período o valor de resistência média dos exemplares (f_{cm}) for igual ou maior que o valor da resistência referência de dosagem (f_r/f_{c_j}) (obtido pela equação 2). De forma análoga, a análise da resistência transposta por família ou da central é considerada satisfatória, onde em determinado período a resistência média dos resultados é maior que a resistência referência.

2.8.3 Análise da consistência

O ensaio de abatimento de tronco de cone (Slump Test) é utilizado como índice de consistência (mobilidade) ou fluidez do concreto fresco, normatizado pela ABNT NBR NM 67:1998. A ABNT NBR 12655:2015 descreve que em casos de concretos usinados se faz necessário o ensaio de consistência em todos os caminhões betoneiras, para aceitação do concreto. Ao receber o concreto em obra é especificado em seu pedido o valor requerido do

abatimento. Caso o valor do abatimento não esteja dentro do intervalo estabelecido o concreto deve ser rejeitado, pois não atenderá aos requisitos mínimos previstos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Metodologia

Para atingir os objetivos propostos neste trabalho, fez-se necessário implementar o método de programa experimental, em laboratório, para analisar a variabilidade da resistência à compressão e da consistência do concreto usinado misturado em caminhão-betoneira.

A central dosadora disponibilizou somente o seu laboratório de controle tecnológico e os equipamentos necessários para os ensaios. De acordo com o cronograma da usina, foram retiradas amostras de concreto dos caminhões-betoneiras das classes de resistência e consistência requerida, sendo os traços definidos pela empresa. Os concretos analisados são os estruturais, sendo as classes de resistência C20, C25, C30, C35, C40 e as classes de consistência S100 e S220. Todavia, somente as classes C20 e C30 que foram analisadas na S220, devido à baixa demanda da central para os demais concretos. Foram analisados 288 corpos de prova no total, sendo 144 cargas estudadas.

No estado fresco, foram realizados ensaios para verificação da consistência do concreto de cada caminhão-betoneira estudado. Para o estado endurecido, foram utilizados corpos de prova cilíndricos de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, sendo as amostras ensaiadas aos 28 dias, para determinação da resistência à compressão do concreto. Em todos os ensaios realizados a normas atuais foram seguidas.

O programa experimental foi dividido em etapas, sendo:

- Programação de coleta;
- Dosagem do concreto;
- Ensaio de abatimento do concreto;
- Moldagem, cura dos corpos de prova;
- Ensaio de resistência à compressão aos 28 dias;
- Análise dos resultados obtidos no estado fresco e endurecido.

3.2 Materiais empregados

O controle tecnológico da empresa forneceu certificados e laudos, referente as características físicas e químicas dos materiais constituintes do concreto, realizados por empresas qualificadas. Os Anexos A, B, C, D, E, F, G, H e I, constam os certificados e laudos em questão.

3.2.1 Cimento

O cimento utilizado na dosagem do concreto foi o CII F 40 a granel da CRH BRASIL, armazenado em silo (Figura 9). Entretanto, a empresa cimentícia deixou de fornecê-lo a partir do dia 01 de setembro de 2020, sendo utilizado a partir de então o CII E 40 a granel do mesmo fornecedor. Excepcionalmente no dia 13 e 14 de agosto de 2020 foi utilizado o CII E 40, para teste de adaptação. Nos Anexos A e B constam os resultados dos ensaios de caracterização dos cimentos, realizados pelo fabricante, do CII E 40 e do CII F 40, respectivamente.

Figura 9 – Local de armazenamento do cimento (Silo)



Fonte: Autora

3.2.2 Agregados graúdos

A Brita 0 e 1 utilizadas são fornecidas diretamente do britador regional, em Uberlândia. A proporção de brita 0 e 1 é fixada pela Central Dosadora em 70% Brita 1 e 30% Brita 0 em todas as classes e consistências estudadas. No Anexo C e o D constam a Análise Granulométrica, da brita 0 e 1, respectivamente e o Anexo E a densidade real dos agregados graúdos e miúdos. A Figura 10 mostra a diferença da granulometria dos agregados graúdos, sendo a brita 0 a da esquerda e a da direita a brita 1.

Figura 10 – Diferenciação da Brita 0 e 1



Fonte: Autora

3.2.3 Agregados miúdos

A areia lavada média e fina utilizadas são oriundas da região de Uberaba. A proporção utilizada na dosagem varia para cada classe. O Anexo F e G apresentam a análise granulométrica da areia média e fina, respectivamente e o Anexo E a densidade real destas. A estocagem do material é exibida na Figura 11, onde ao fundo está a areia fina e na lateral a direita a areia média.

Figura 11 – Armazenamento dos agregados miúdos



Fonte: Autora

3.2.4 *Aditivo*

O aditivo utilizado na dosagem é o polifuncional Tec-Mult 829 SPX da CGP (Grace Brasil Ltda) tendo ação plastificante e redutora de água de amassamento, além de que mesmo em altas temperaturas mantém prolongadamente o abatimento do concreto. O teor de aditivo é fixado para cada classe de consistência. O teor ideal de aditivo para cada consistência foi obtido por meio do ensaio Cone de Kantro realizado pelo controle tecnológico da usina.

3.2.5 *Água de amassamento*

A água utilizada na dosagem provém do poço artesiano localizado na central, por ser água de fontes subterrâneas a ABNT NBR 15900-1:2009 orienta realizar ensaios. Diariamente são realizados ensaios para caracterizar a qualidade da água.

3.3 Dosagem e mistura do concreto em caminhão betoneira

A central dosadora utiliza o método Tow Go (Figura 7) para pesagem dos agregados, onde o operador da pá carregadeira, adiciona na balança de agregados a quantidade de cada material em quilos conforme ABNT NBR 7212:2012. A quantidade é conferida pelo operador de balança, por meio do leitor da cabine de comando (Figura 12). A mistura e transporte são

realizados pelo caminhão-betoneira (Figura 13). A descarga do material no caminhão ocorre por uma esteira (Figura 14), sendo que o cimento, o aditivo e a água possuem seu compartimento separado e a quantidade é liberada pelo operador da cabine. Para o aditivo é utilizada uma dosadora externa (Figura 15), em litros. O cimento é estocado no silo, e o compartimento com células de carga para pesagem do cimento, em quilos, é encontrado logo abaixo do silo (Figura 16). A água é inserida no concreto por meio de uma mangueira que fica logo abaixo do silo (Figura 17), medida em litros.

A mistura inicia-se enquanto é feito o carregamento dos materiais constituintes continua durante todo o transporte do concreto, sendo que o balão do caminhão-betoneira deve continuar em constante movimentação, para manter o concreto homogêneo. A ordem do carregamento dos materiais ocorre primeiramente pela brita e a areia, com um percentual de água, sendo em seguida adicionado o cimento e por fim o aditivo com o restante da água. A ABNT NBR 7212:2012 não estabelece uma ordem de carregamento, apenas orienta que deve-se seguir as especificações do equipamento e a experiência do operador, para que ocorra uma mistura completa e homogênea.

Diariamente é feito pela empresa o ensaio para a determinação do teor de umidade da areia, e assim as quantidades de areia média e fina são corrigidas no momento do carregamento de acordo com a umidade. A água de amassamento também é corrigida para cada traço.

Figura 12 – Cabine de comando



Fonte: Autora

Figura 13 – Caminhão-Betoneira



Fonte: Autora

Figura 14 – Esteira



Fonte: Autora

Figura 15 – Dosador de aditivo



Fonte: Autora

Figura 16 – Balança do cimento



Fonte: Autora

Figura 17 – Local de descarga dos materiais



Fonte: Autora

3.3.1 Traços utilizados

Os traços foram definidos pela usina de concreto por meio de um estudo de dosagem, variando de acordo com a resistência à compressão (f_{ck}) e a consistência (abatimento). A Tabela 7, descreve o teor de argamassa, o teor de aditivo e a relação água/cimento de cada traço. Não houve alteração no traço, com a troca do cimento. O controle tecnológico da empresa forneceu a pesagem de cada carga estudada, porém devido a confidencialidade esses dados não podem ser divulgados.

Tabela 7 – Dados de dosagem

FCK (MPa)	ABATIMENTO (mm)	TEOR DE ARGAMASSA (α)	TEOR DE ADITIVO (%)	a/c	PROPORÇÃO DE AREIA MÉDIA E FINA	CONSUMO DE CIMENTO (kg/m ³)
20	100+/-20	0,54	0,5	0,7	70% e 30%	X
20	220+/-20	0,56	0,7	0,6	70% e 30%	X+90
25	100+/-20	0,55	0,5	0,6	80% e 20%	X+30
30	100+/-20	0,55	0,5	0,6	80% e 20%	X+58
30	220+/-20	0,62	0,7	0,5	80% e 20%	X+140
35	100+/-20	0,53	0,6	0,45	75% e 25%	X+110
40	100+/-20	0,55	0,5	0,5	70% e 30%	X+110

Fonte: Autora

3.3.2 Procedimento de moldagem, cura e recapeamento das amostras

A coleta das amostras ocorreu na usina dosadora, utilizando os materiais e equipamentos dispostos na central. A ABNT NBR NM 33:1998 orienta que a retirada das amostras deve acontecer após a descarga de 15% do volume total, porém, como a coleta ocorreu dentro da usina dosadora, não foi possível seguir essa recomendação. Assim a amostra foi coletada após a mistura homogênea dos materiais no caminhão-betoneira e moldados em local protegido de intempéries.

Para o procedimento de moldagem foram utilizados moldes cilíndricos com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura (Figura 18). Cada amostra foi composta por dois corpos de prova e a moldagem foi executada conforme a ABNT NBR 5738:2015. Os moldes, antes da moldagem, estavam selados com uma camada fina de desmoldante não-reagente com o cimento. Devido ao tipo e a dimensão do molde utilizado, foi introduzido o concreto no molde (utilizando uma concha de seção U) em duas camadas iguais (para concretos com abatimento inferior a 160 cm), sendo feito o adensamento em cada uma das camadas com 12 golpes (utilizando uma haste). De acordo com ABNT NBR 5738:2015, os concretos com abatimento acima de 160 cm o número de camadas é reduzido pela metade. Assim para os concretos S220, o número de camadas reduziu para uma camada com 12 golpes.

Figura 18 – Forma cilíndrica



Fonte: Autora

A cura inicial ocorreu nas primeiras 24 horas, sendo que durante esse período os moldes não foram perturbados e estavam em local protegido de intempéries (com um tampo de madeira). Após a cura inicial, os corpos de prova foram desformados e identificados com a data da moldagem e o número do pedido, conforme a Figura 19 e a Figura 20.

Figura 19 - Corpos de prova desformados



Fonte: Autora

Figura 20 - Identificação dos corpos de prova



Fonte: Autora

Os corpos de prova foram armazenados em tanques com água (Figura 21) para o processo de cura úmida submersa até o ensaio de compressão que ocorreu 28 dias após a moldagem. A ABNT NBR 5738:2015 recomenda evitar o empilhamento, mas por conta do grande volume da pesquisa e o pequeno espaço para cura foram colocados um sobre o outro, o par.

Figura 21 - Cura dos corpos de prova



Fonte: Autora

Para a execução do ensaio é importante retificar as bases e os topos do corpo de prova. Do momento em que são retirados do tanque até o ensaio deve-se impedir a secagem da superfície. Desse modo, o procedimento de retificação foi bastante rápido. A usina dispõe de uma retífica, conforme a Figura 22. Todos os corpos de prova foram retificados antes do ensaio, tanto o topo como a base (Figura 23).

Figura 22 - Retifica



Fonte: Autora

Figura 23 - Corpo de prova retificado



Fonte: Autora

3.3.3 *Ensaio realizado no estado fresco e endurecido*

3.3.3.1 Ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone

O ensaio de consistência é realizado no estado fresco, sendo o primeiro procedimento a ser realizado no concreto. A central possui a aparelhagem para execução do ensaio, sendo esta um tronco de cone, uma haste, um funil, uma concha em seção U e uma placa base, conforme Figura 24.

Figura 24 - Aparelhos para o ensaio de consistência



Fonte: Autora

Para realização do ensaio foi necessário umedecer o tronco de cone e a base, e a base colocada sobre uma superfície plana e rígida. O concreto foi introduzido em 3 camadas, sendo cada uma delas compactadas com 25 golpes, e a última camada teve concreto sobressaindo para o rasamento da superfície. O tronco de cone deve ser retirado cuidadosamente no tempo de 5 s a 10 s, sem torção lateral e em movimento pra cima, conforme ABNT NBR NM 67:1998. Para a medição do abatimento, utilizou-se uma trena medindo a diferença entre a altura do tronco de cone e a altura do concreto, como ilustra a Figura 25. Todos os carregamentos analisados foram efetuados o ensaio do tronco de cone antes da moldagem dos corpos de prova, de acordo com as recomendações da ABNT NBR NM 67:1998, sendo os resultados expressos em mm.

Figura 25 - Ensaio de abatimento do tronco de cone



Fonte: Autora

3.3.3.2 Ensaio de resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão foi executado no laboratório da usina em uma prensa semiautomática (Figura 26), onde todos os corpos de prova foram rompidos. No Anexo H consta o certificado de calibração da prensa que é efetuado a cada 3 meses. Previamente, os corpos de prova passaram por uma cura úmida submersa por 28 dias, após foram retificados e

preparados para o rompimento. Para o ensaio foram utilizados Neoprene na base e no topo do corpo de prova, que eram colocados dentro de uma base (Figura 27).

Figura 26 - Prensa semiautomática



Fonte: Autora

Figura 27 - Neoprene utilizado no ensaio



Fonte: Autora

A prensa utilizada apresenta os resultados em tonelada-força (Tf). O rompimento do corpo de prova foi executado conforme a ABNT NBR 5739:2018 (Figura 28), sendo o cálculo da resistência efetuado com uso do Excel, e expresso em MPa. O tipo de ruptura não foi analisado.

Figura 28 - Ensaio de resistência à compressão



Fonte: Autora

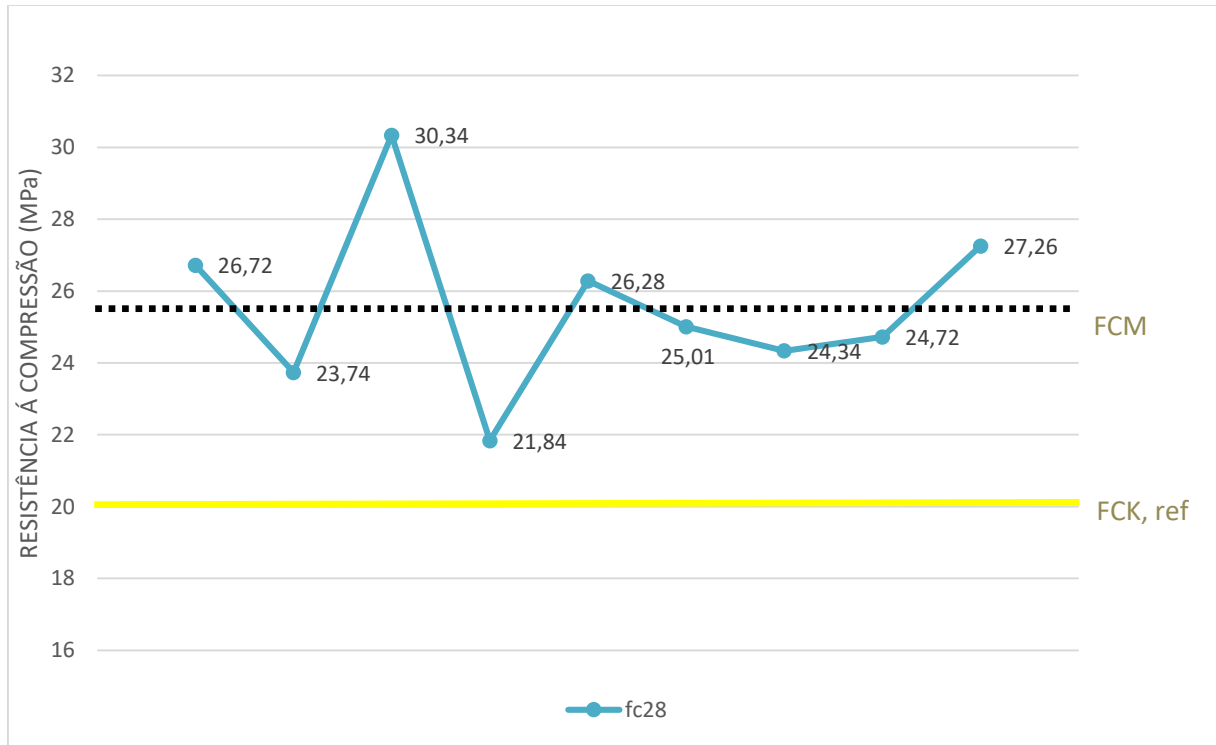
4 RESULTADOS E ANÁLISE

As análises foram realizadas com base nos resultados dos ensaios de compressão e de consistência por abatimento do tronco de cone que estão apresentadas no Apêndice A para concretos da classe S100 e no Apêndice B para concretos da classe S220.

4.1 Resistência à Compressão

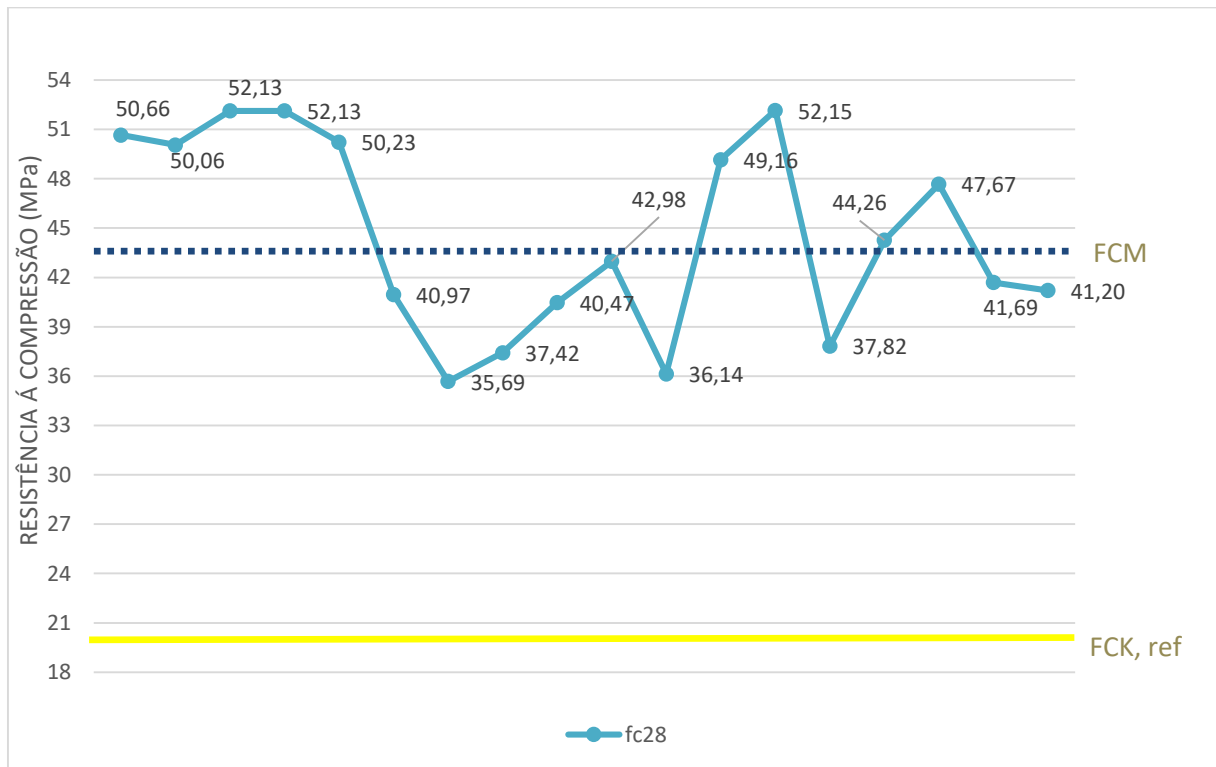
Os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão aos 28 dias estão apresentados nos Gráficos 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Sendo no eixo X, o exemplar de maior valor numérico da amostragem. O $f_{ck,ref}$ e o f_{cm} estão destacados nos gráficos. Foram analisadas 144 amostras, no total de 288 corpos de prova ensaiados.

Gráfico 1 - Resistência à compressão dos exemplares aos 28 dias (fck 20 - S100)



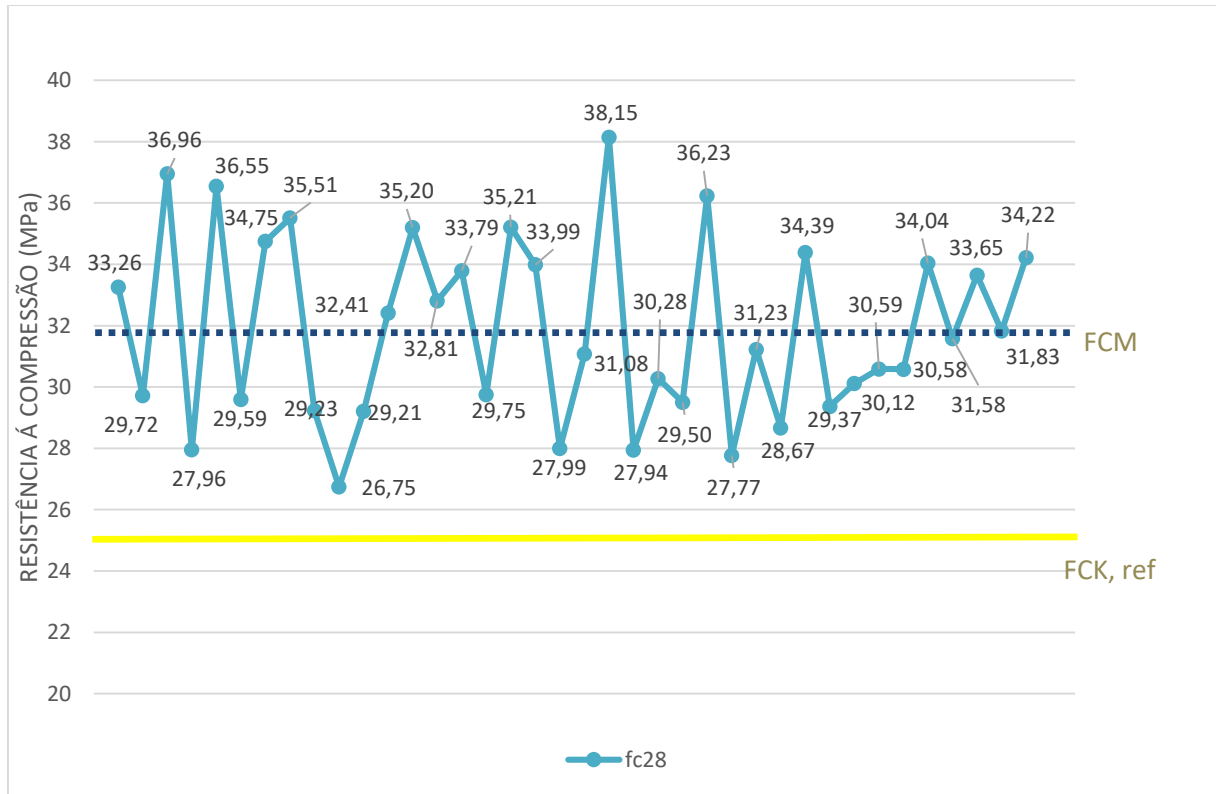
Fonte: Autora

Gráfico 2 - Resistência à compressão dos exemplares aos 28 dias (fck 20 - S220)



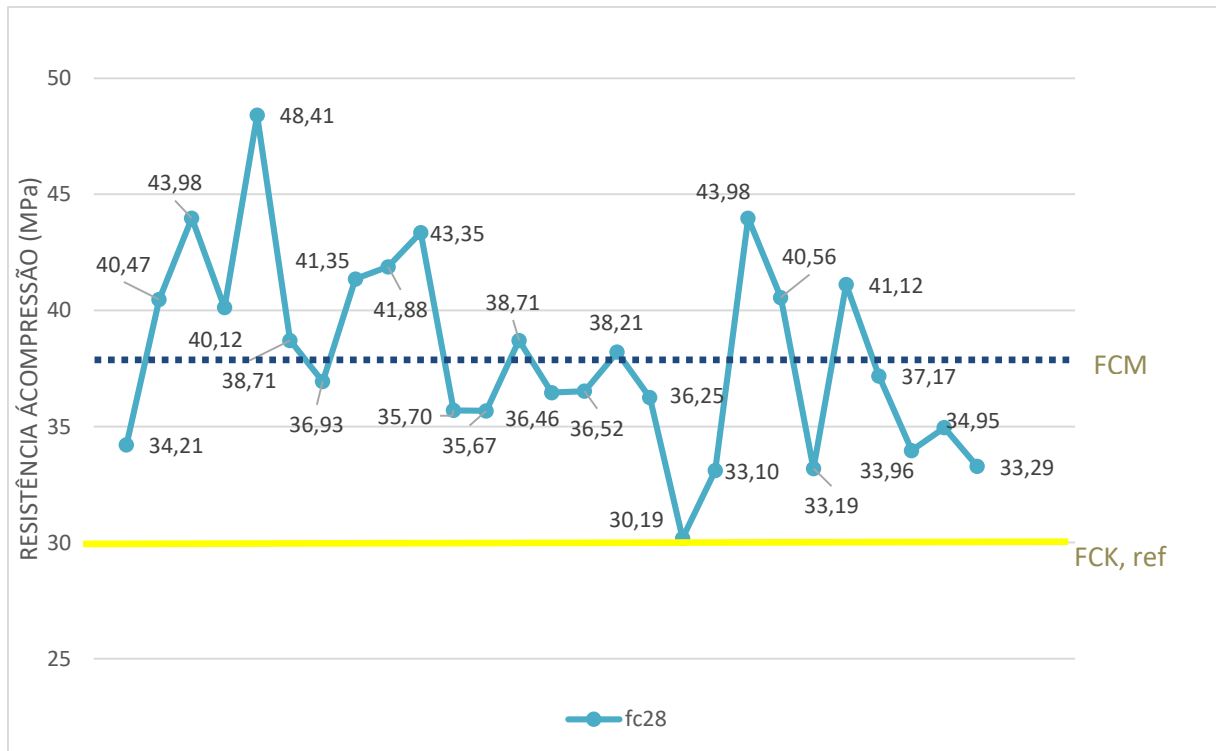
Fonte: Autora

Gráfico 3 - Resistência à compressão dos exemplares aos 28 dias (fck 25 - S100)



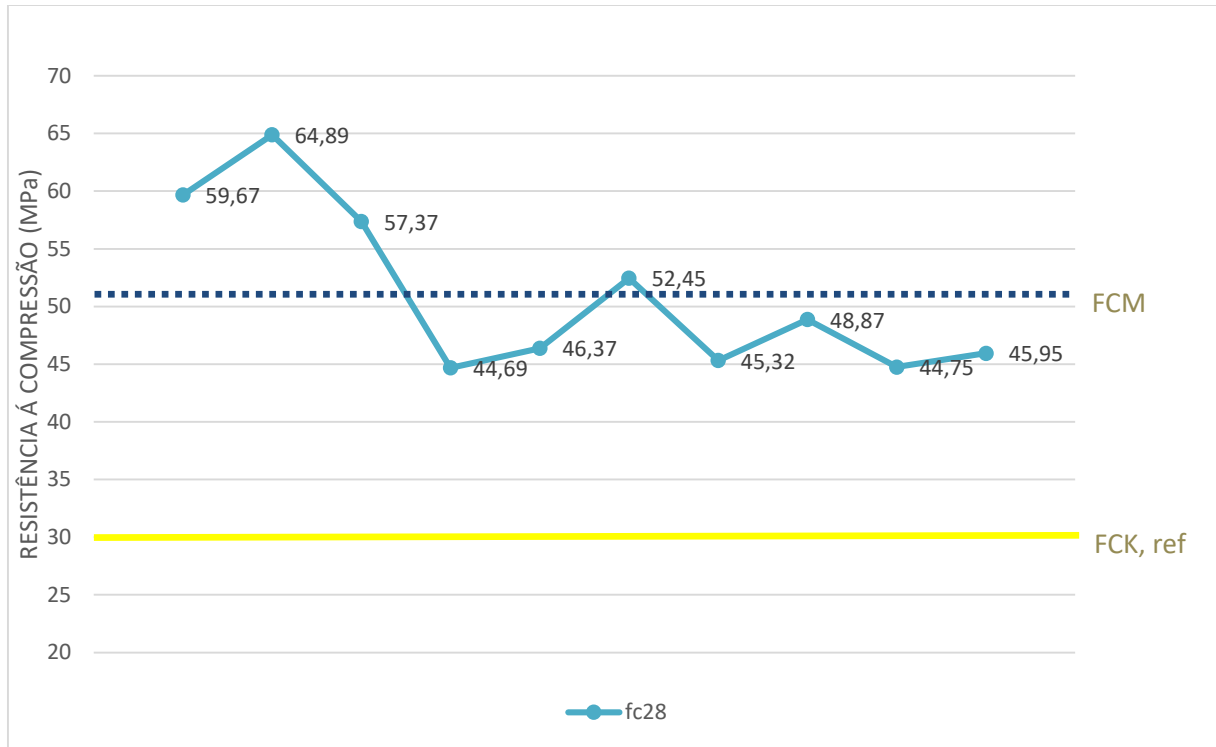
Fonte: Autora

Gráfico 4 - Resistência à compressão dos exemplares aos 28 dias (fck 30 - S100)



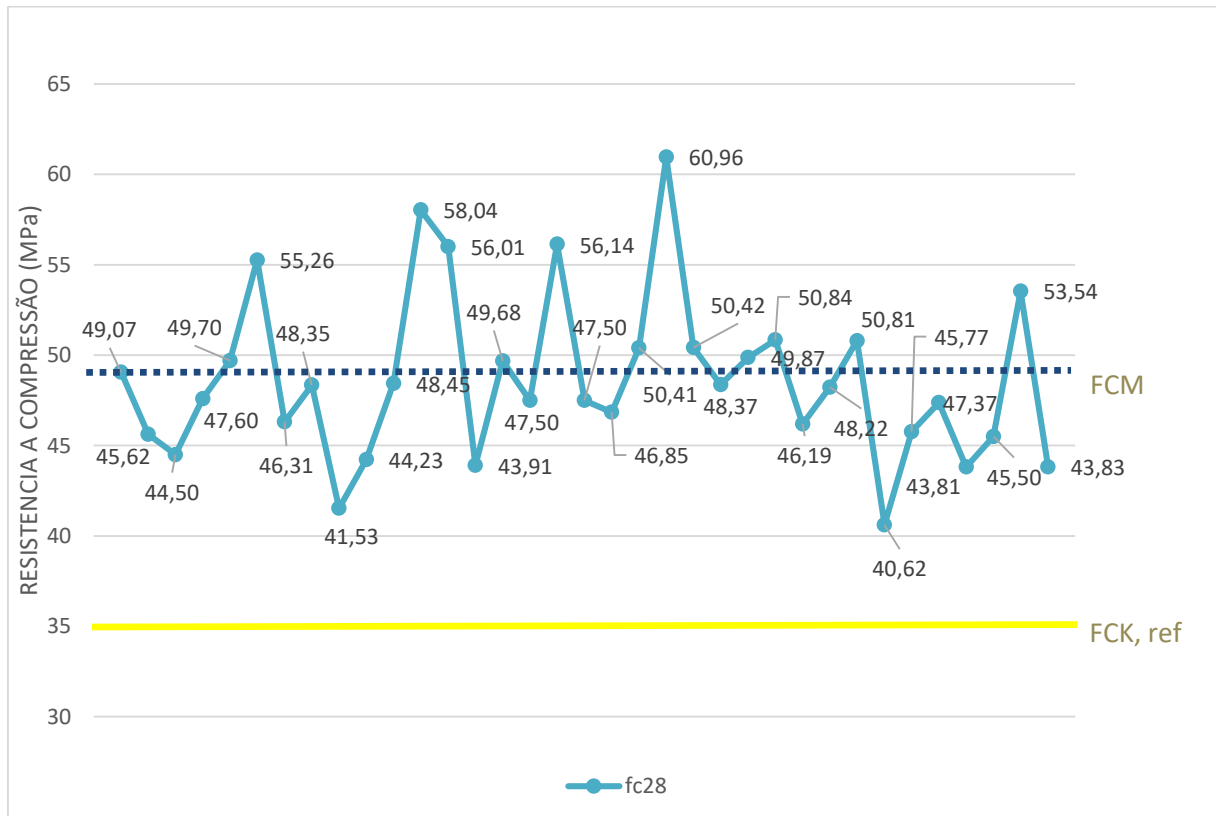
Fonte: Autora

Gráfico 5 - Resistência à compressão dos exemplares aos 28 dias (fck 30 - S220)



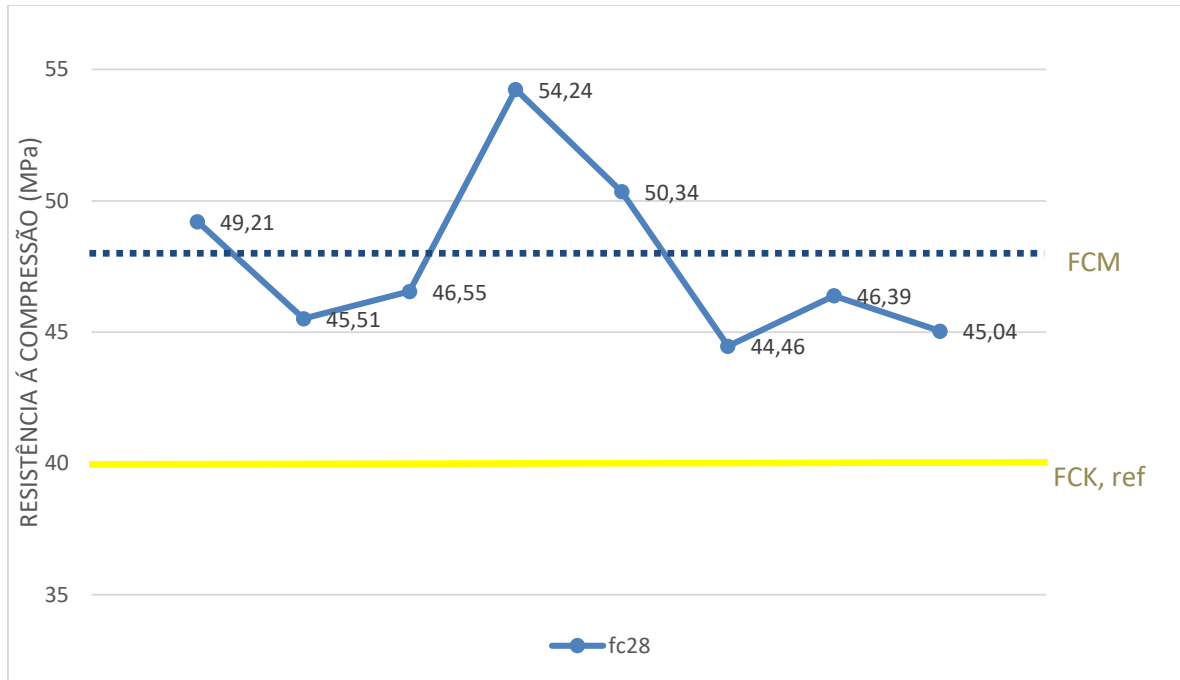
Fonte: Autora

Gráfico 6 - Resistência à compressão dos exemplares aos 28 dias (fck 35 - S100)



Fonte: Autora

Gráfico 7 - Resistência à compressão dos exemplares aos 28 dias (fck 40 - S100)



Fonte: Autora

Na tabela 8 é possível visualizar os principais dados para a análise dos resultados. A resistência de dosagem foi calculada pela Equação 2, e o desvio padrão pela Equação 3. Na análise da resistência, o processo é satisfatório quando o f_{cm} é maior ou igual ao f_r . Para a análise do desvio padrão deve-se seguir a Tabela 6.

Tabela 8 - Análise dos resultados

Classe de resistência e consistência	Resistência média, f_{cm} (MPa)	Desvio Padrão, S_n	Resistência de dosagem, f_r (MPa)	Resistência mínima (MPa)	Resistência máxima (MPa)	Amplitude (MPa)
fck 20 S100	25,58	2,43	26,6	21,84	30,34	8,5
fck 20 S220	44,16	5,81	26,6	35,69	52,15	16,47
fck 25 S100	32,27	2,99	31,6	26,75	38,15	11,4
fck 30 S100	38,09	4,17	36,6	30,19	48,41	18,22
fck 30 S220	51,03	7,25	36,6	44,69	64,89	20,20
fck 35 S100	48,65	4,56	41,6	40,62	60,96	20,34
fck 40 S100	47,72	3,33	46,6	44,46	54,24	9,78

Fonte: Autora

Através dos dados foi possível observar que todos os resultados analisados foram acima do $f_{ck, ref}$, no entanto mostra que somente a classe $f_{ck} 20$ S100, o valor médio de resistência não atingiu a resistência de dosagem calculada. Assim, não teve um processo satisfatório na análise de resistência e deverá ser avaliado o processo e possíveis reajustes na dosagem pela usina. O $f_{ck} 25$ S100, o $f_{ck} 30$ S100 e o $f_{ck} 40$ S100 tiveram valores médios próximos do f_r , e os demais bem acima, principalmente os da classe S220. Essa diferença já era esperada já que o consumo de cimento da classe S220 é bem maior se comparado ao da S100 do mesmo f_{ck} .

A maior resistência obtida no ensaio foi 64,89 MPa, para o $f_{ck} 30$ S220, mas conforme o gráfico 5 é possível observar que os resultados se concentram entre 45 MPa e 50 MPa. Os piores resultados foram 30,19 MPa para o $f_{ck} 30$ S100, 26,75 MPa para o $f_{ck} 25$ S100 e 21,84 MPa para o $f_{ck} 20$ S100. Ao observar os gráficos 1, 3 e 4 dos resultados em questão, os demais valores não estão tão próximos do $f_{ck, ref}$, o que demonstra que ocorreu alguma interferência no processo. A Tabela 8 também mostra que em média os resultados estavam pelo menos 5 MPa acima do $f_{ck, ref}$. Além de que na classe S100, conforme sobe o f_{ck} , o consumo de cimento aumenta. Assim, quanto maior o consumo de cimento maior o valor da resistência à compressão, conforme esperado.

A amplitude foi bastante significativa na classe S220 e na classe S100, somente para o $f_{ck} 30$ e o $f_{ck} 35$. Sendo as maiores 20,34 MPa e 20,20 MPa, do $f_{ck} 35$ S100 e $f_{ck} 30$ S220, respectivamente. A menor amplitude foi 8,5 MPa do $f_{ck} 20$ S100. De acordo com os gráficos, foi possível observar uma variabilidade significativa em praticamente todas as classes. Do início para o meio os resultados apresentam-se uma variabilidade maior, se comparado ao final dos gráficos. Sendo que, as maiores resistências estão concentradas no início e no meio dos gráficos. Esta variabilidade pode ter ocorrido por diversos motivos, como por influência da temperatura dos componentes, a umidade dos agregados e a variação do lote e do tipo de cimento.

Com relação ao desvio padrão, somente o $f_{ck} 20$ S100 e o $f_{ck} 25$ S100 foram nível 1, sendo considerado excelente o desempenho da usina. Os casos mais críticos foram o $f_{ck} 20$ S220 e o $f_{ck} 30$ S220, e a produção foi considerada inaceitável. O $f_{ck} 40$ S100 foi o único do nível 2, e a produção foi classificada como boa. No nível 3, considerado uma produção razoável, foram o $f_{ck} 30$ S100 e $f_{ck} 35$ S100.

No geral, o desempenho da Usina Dosadora está entre boa produção e razoável produção para o desvio padrão, mas para a análise da resistência os resultados foram satisfatórios. Conclui-se que a análise do processo é satisfatória, mas o processo tem que ser avaliado continuamente, pois como destacado anteriormente o custo do m^3 de concreto está relacionado

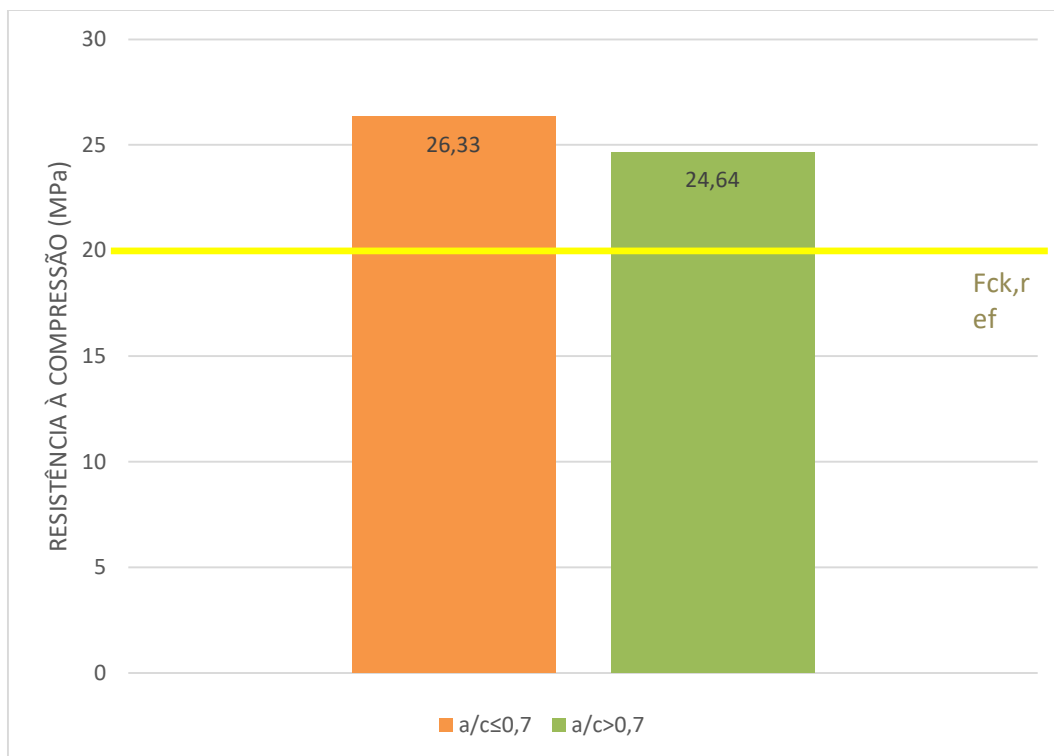
com o desvio padrão (HELENE E TERZIAN, 1992). Desvio alto requer maior distância do valor especificado da resistência para garantir o fornecimento do material conforme e atendimento das propriedades especificadas, e isso implica em maior consumo de material, especialmente o cimento.

4.2 Fator Água/Cimento (a/c)

O fator água/cimento está diretamente ligado a resistência à compressão, o a/c referência de cada concreto está na Tabela 7, mas pode ocorrer variações nas amostras. Os gráficos 8, 9, 10, 11, 12, 13 e 14, apresentam o valor médio da resistência das amostras com o a/c menor ou igual ao requerido e a/c maior que o requerido. O $f_{ck,ref}$ é destacado nos gráficos.

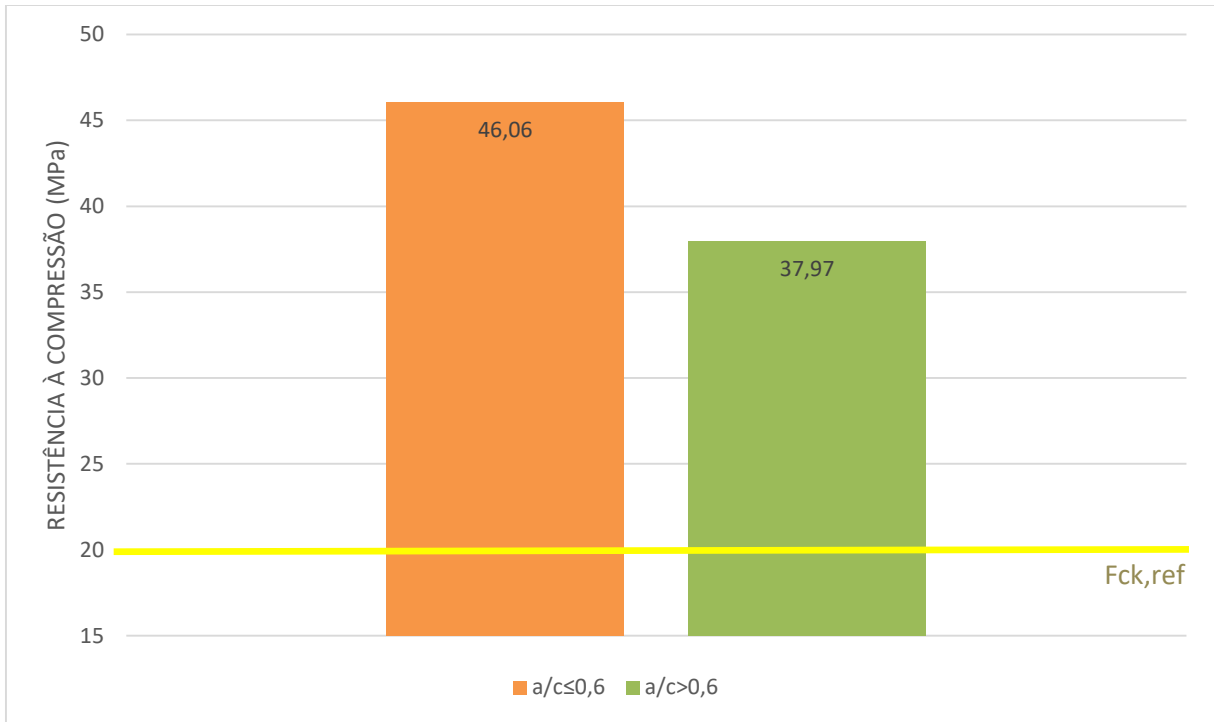
A relação entre o a/c e a resistência é ilustrada nos gráficos, pois os concretos com a/c igual ou inferior ao recomendado tem uma resistência média maior. Entretanto, no Gráfico 11 o comportamento do f_{ck} 30 S100 difere dos demais, pois ocorre exatamente o contrário. As causas para esse comportamento, podem estar ligadas as mesmas causas da variabilidade da resistência, como por influência da temperatura dos componentes, a umidade dos agregados e a variação do lote e do tipo de cimento.

Gráfico 8 - Resistência à compressão média, em função do a/c (fck 20 - S100)



Fonte: Autora

Gráfico 9 - Resistência à compressão média, em função do a/c (fck 20 - S220)



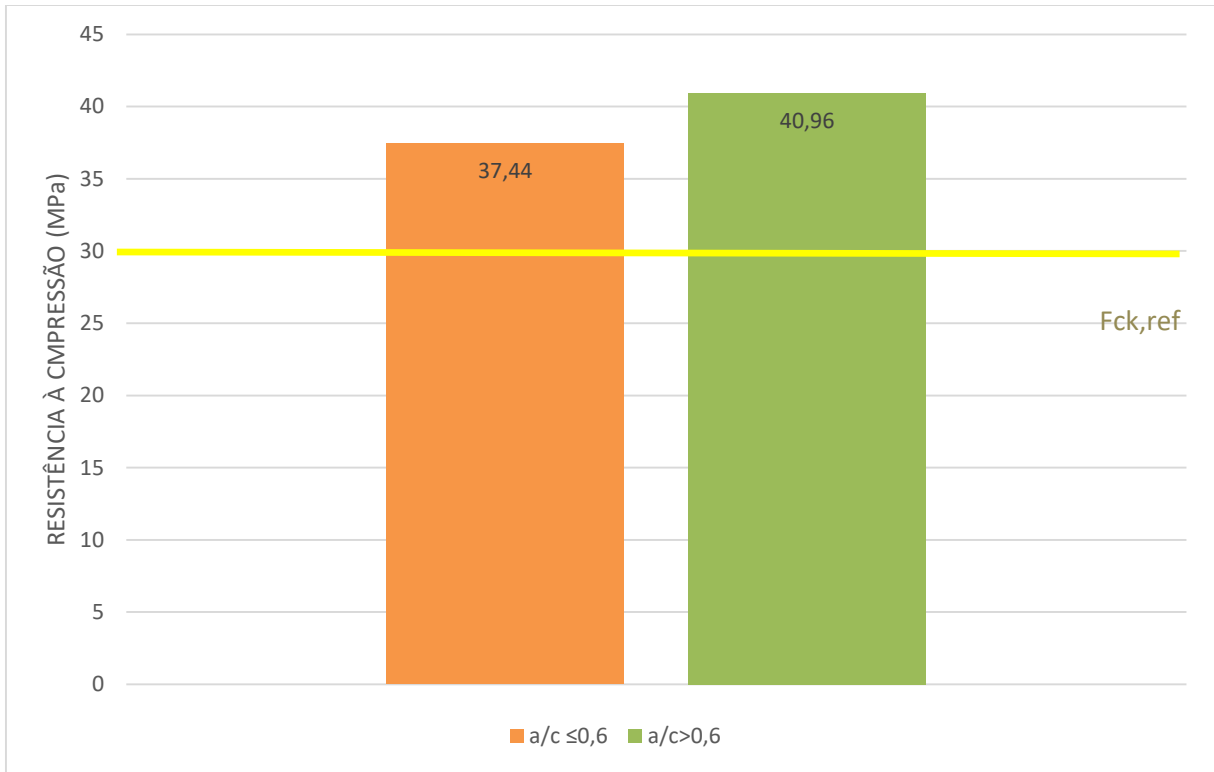
Fonte: Autora

Gráfico 10 - Resistência à compressão média, em função do a/c (fck 25 - S100)



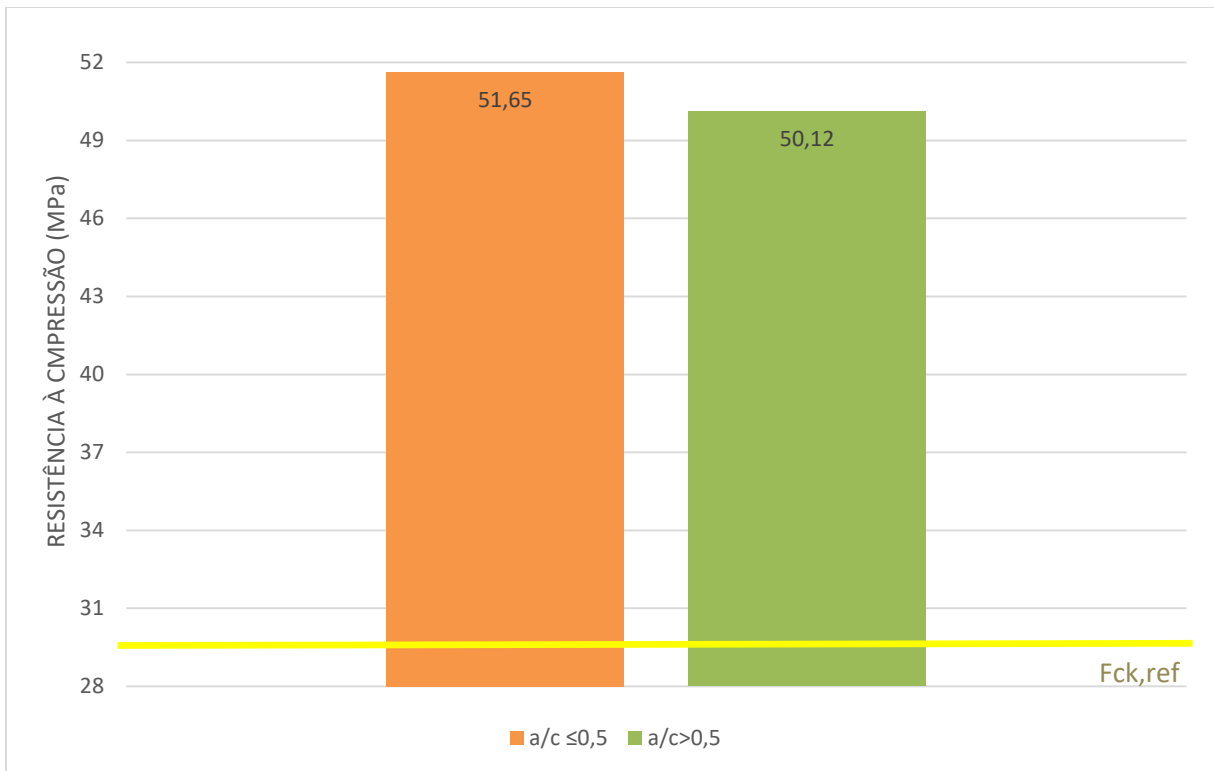
Fonte: Autora

Gráfico 11 - Resistência à compressão média, em função do a/c (fck 30 - S100)



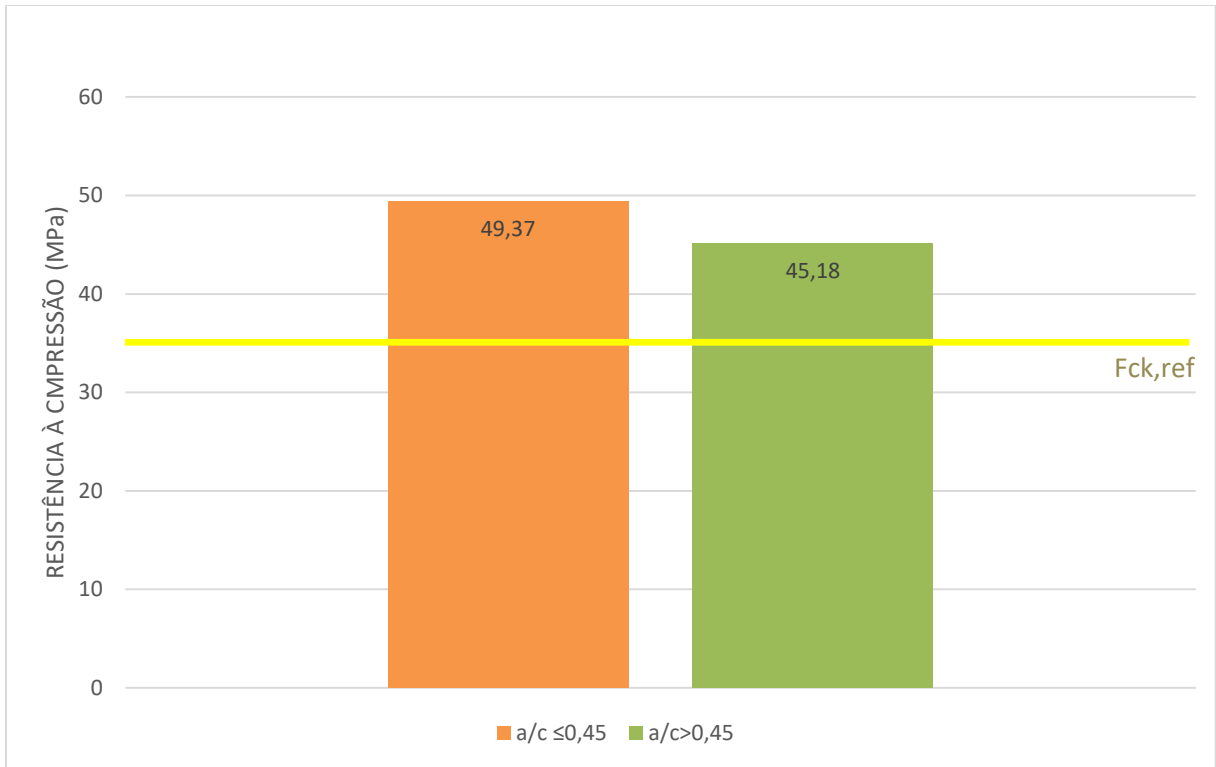
Fonte: Autora

Gráfico 12 - Resistência à compressão média, em função do a/c (fck 30 - S220)



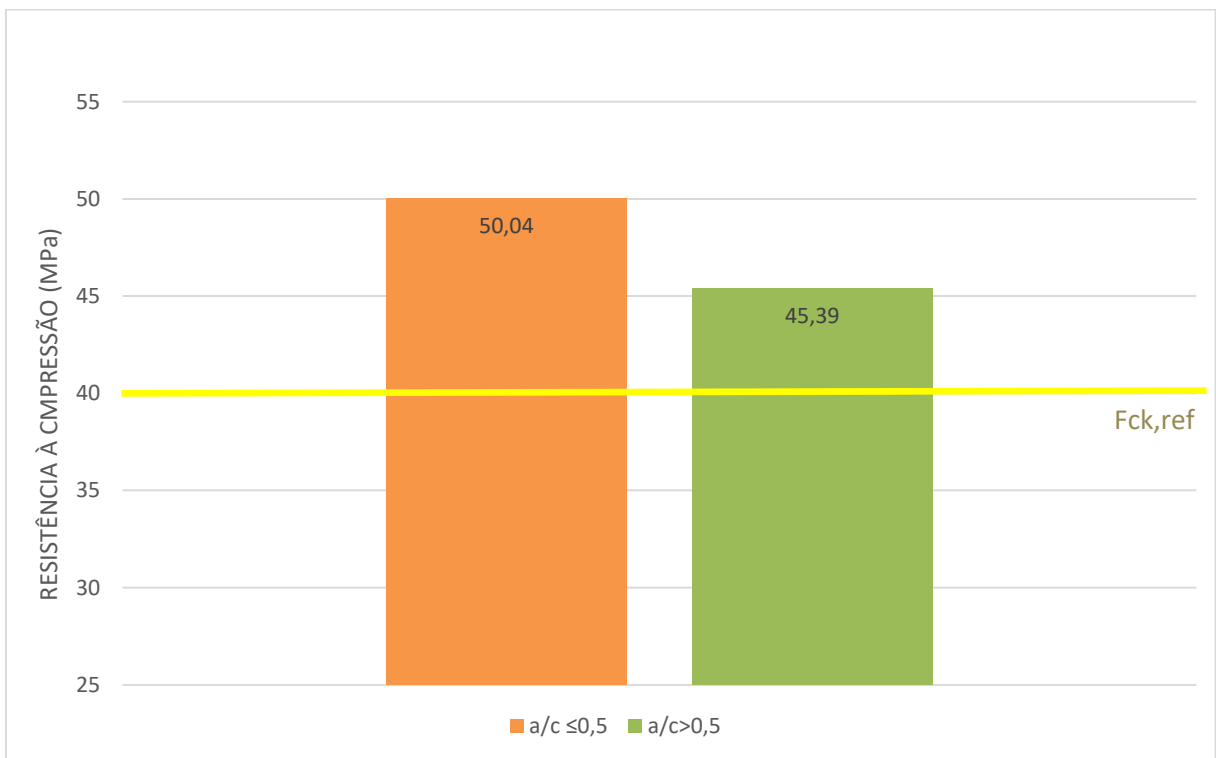
Fonte: Autora

Gráfico 13 - Resistência à compressão média, em função do a/c (fck 35 - S100)



Fonte: Autora

Gráfico 14 - Resistência à compressão média, em função do a/c (fck 40 - S100)



Fonte: Autora

Os concretos *fck* 20 S220, *fck* 25 S100 e *fck* 40 S100, foram os que apresentaram maior alteração da resistência com a relação água/cimento. Na Tabela 9 estão descritos os principais valores para a análise da relação a/c. O *fck* 20 S220, *fck* 25 S100 e o *fck* 30 S100 apresentaram uma amplitude significativa com relação ao a/c e também na resistência. O *fck* 20 S220 foi o único em que o a/c mínimo resulta na maior resistência, e o a/c máximo corresponde à menor resistência.

Na tabela 10 é possível comparar os resultados da resistência do a/c máximo e mínimo com a maior e menor resistência. O *fck* 30 S100 teve um comportamento diferente dos demais com relação ao a/c e também teve a resistência do a/c máximo e a do a/c mínimo bem próximos, sendo o único concreto com essas características dentre os demais. A maioria dos resultados com o a/c maior apresentam resistência mais baixa, como já era esperado. Alguns concretos tiveram muitas amostras com a/c acima do recomendado, sendo eles o *fck* 25 S100 com 60,53%, o *fck* 30 S220 com 40% e o *fck* 40 S100 com 50% das amostras acima do a/c referência.

Tabela 9 - Análise do fator água/cimento

Classe de resistência e consistência	a/c referência	a/c médio	a/c da maior resistência	a/c da menor resistência	a/c mínimo	a/c máximo	Amplitude
<i>fck</i> 20 S100	0,70	0,70	0,64	0,72	0,64	0,74	0,10
<i>fck</i> 20 S220	0,60	0,57	0,48	0,66	0,48	0,66	0,18
<i>fck</i> 25 S100	0,60	0,62	0,61	0,67	0,53	0,74	0,21
<i>fck</i> 30 S100	0,60	0,57	0,57	0,59	0,50	0,65	0,16
<i>fck</i> 30 S220	0,50	0,49	0,46	0,51	0,46	0,54	0,08
<i>fck</i> 35 S100	0,45	0,48	0,46	0,53	0,44	0,55	0,11
<i>fck</i> 40 S100	0,50	0,51	0,49	0,55	0,48	0,55	0,07

Fonte: Autora

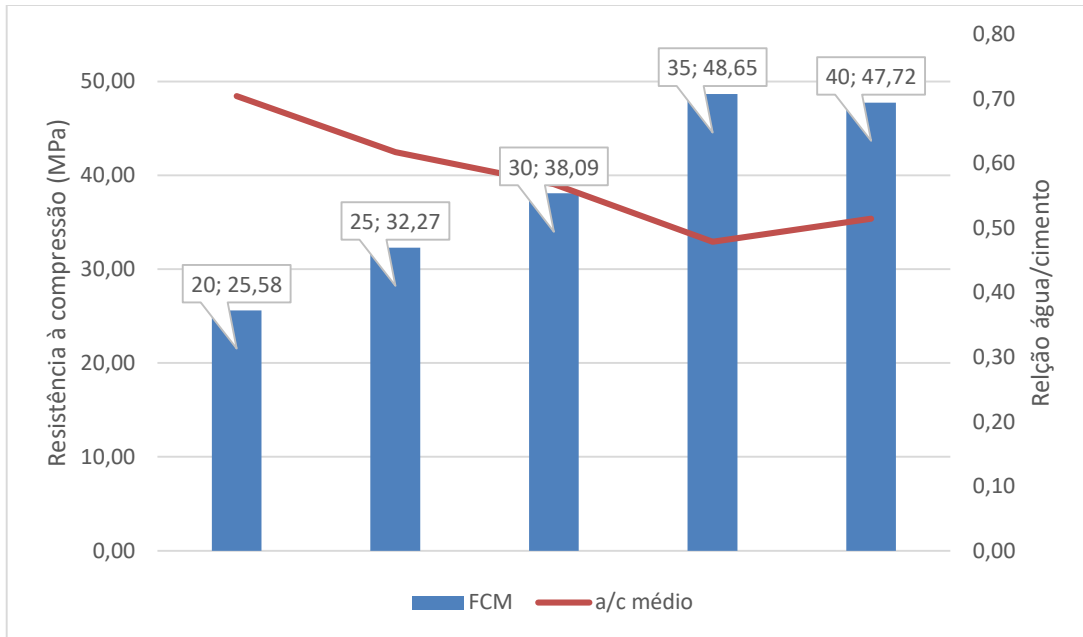
Tabela 10 - Resultados de resistência de acordo com o fator água/cimento

Classe de resistência e consistência	Resistência do a/c máximo (MPa)	Resistência do a/c mínimo (MPa)	Menor resistência (MPa)	Maior resistência (MPa)
<i>fck 20 S100</i>	26,72	30,34	21,84	30,34
<i>fck 20 S220</i>	35,69	52,15	35,69	52,15
<i>fck 25 S100</i>	29,37	34,75	26,75	38,15
<i>fck 30 S100</i>	35,67	36,52	30,19	48,41
<i>fck 30 S220</i>	52,45	64,89	44,69	64,89
<i>fck 35 S100</i>	47,50	58,04	40,62	60,96
<i>fck 40 S100</i>	44,46	50,34	44,46	54,24

Fonte: Autora

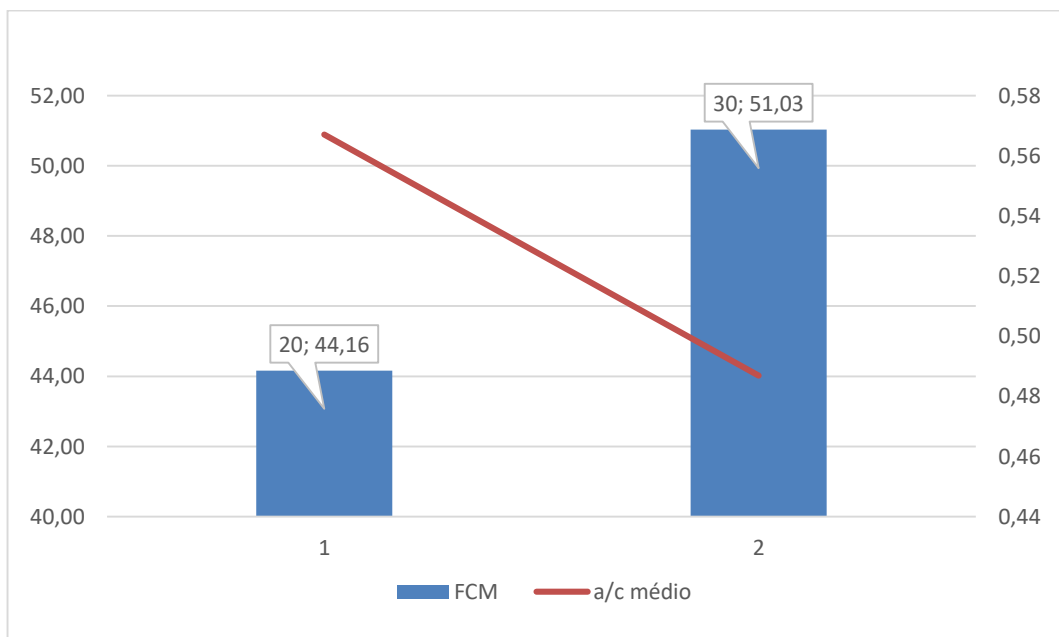
Nos Gráficos 15 e 16 é ilustrada a relação da resistência com o fator água/cimento para as classes S100 e S220. À medida que a resistência do concreto aumenta a relação água/cimento diminui, conforme mencionado na literatura. Porém, essa relação é para concretos sem o uso de aditivos, como é utilizado um aditivo polifuncional, foi possível chegar a resistências maiores com a/c moderados e que mesmo assim obedecem de certa forma essa relação. A resistência média do *fck 35 S100* é superior e próxima ao *fck 40 S100*, observando que o a/c do *fck 35 S100* é menor e o consumo de cimento é igual. O *fck 35 S100* tem um teor de aditivo maior que o *fck 40 S100*, o que torna o concreto mais plástico com uma relação a/c menor, e potencializa a resistência.

Gráfico 15 - Resistência à compressão média - S100



Fonte: Autora

Gráfico 16 - Resistência à compressão média - S220



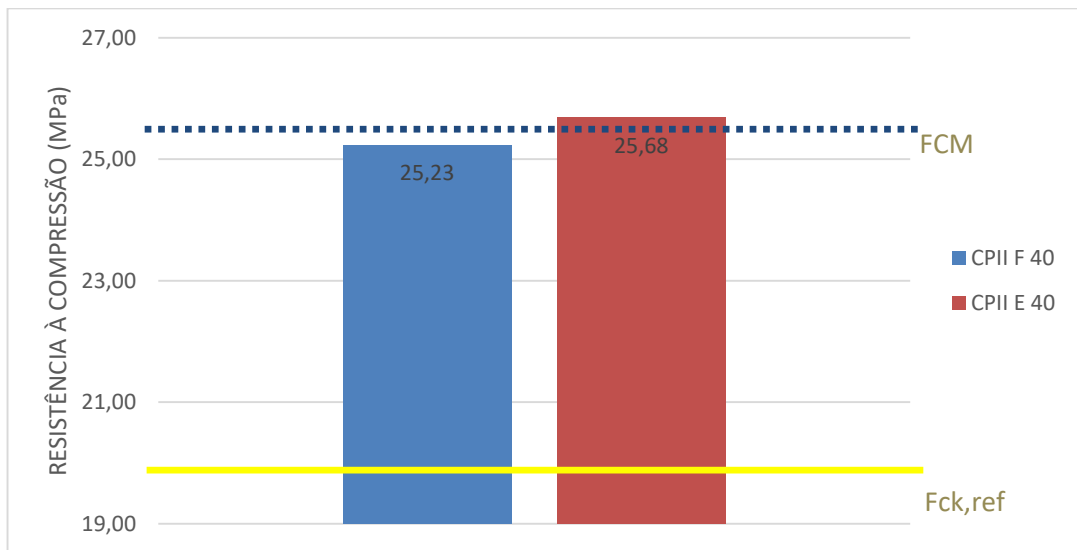
Fonte: Autora

4.3 Comparação entre os Cimentos CII E 40 e CII F 40

Durante o programa experimental ocorreu uma mudança no tipo de cimento passando de CII F 40 para CII E 40. O cimento CII F 40 é mais fino do que o CII E 40, o que

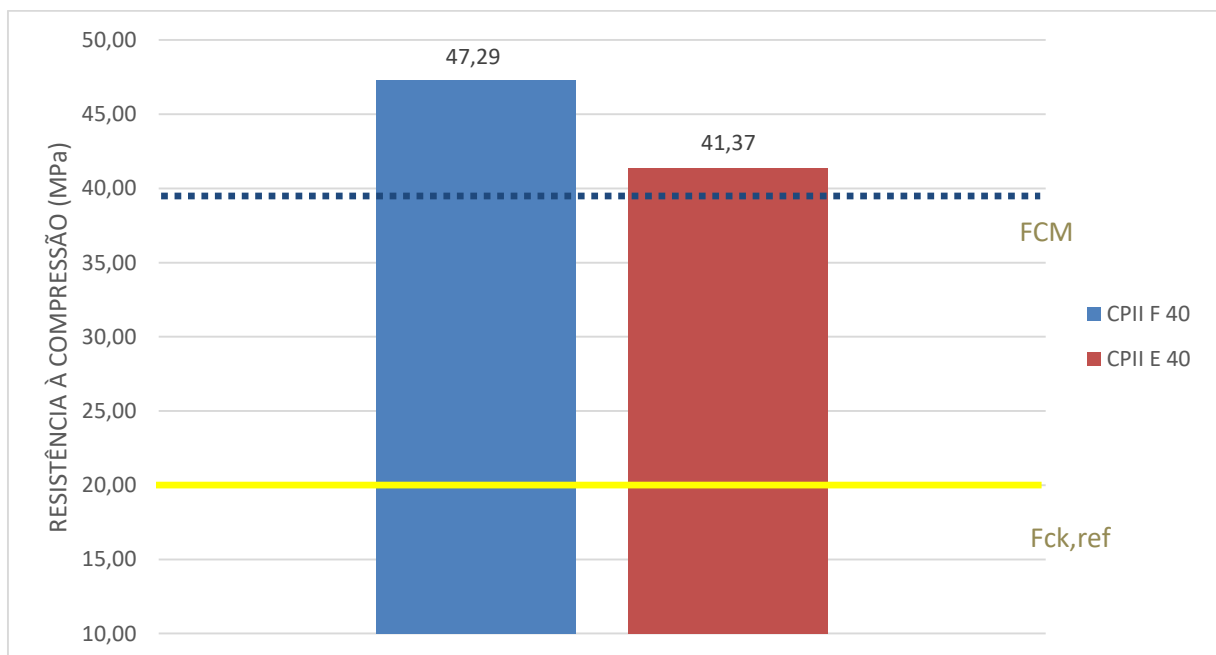
aumenta a resistência nas primeiras idades (MEHTA e MONTEIRO, 2008; HELENE E TERZIAN, 1992), mas aos 28 dias o CII E 40 apresentou valor maior, conforme o Anexo A e B. Os gráficos 17, 18, 19, 20, 21 e 22 mostram os resultados do comparativo das resistências do concreto utilizando CII F 40 e CII E 40. No concreto f_{ck} 30 S220 foi utilizado somente o CII E 40.

Gráfico 17 - Comparativo dos cimentos CII E 40 e CII F 40 (f_{ck} 20 - S100)



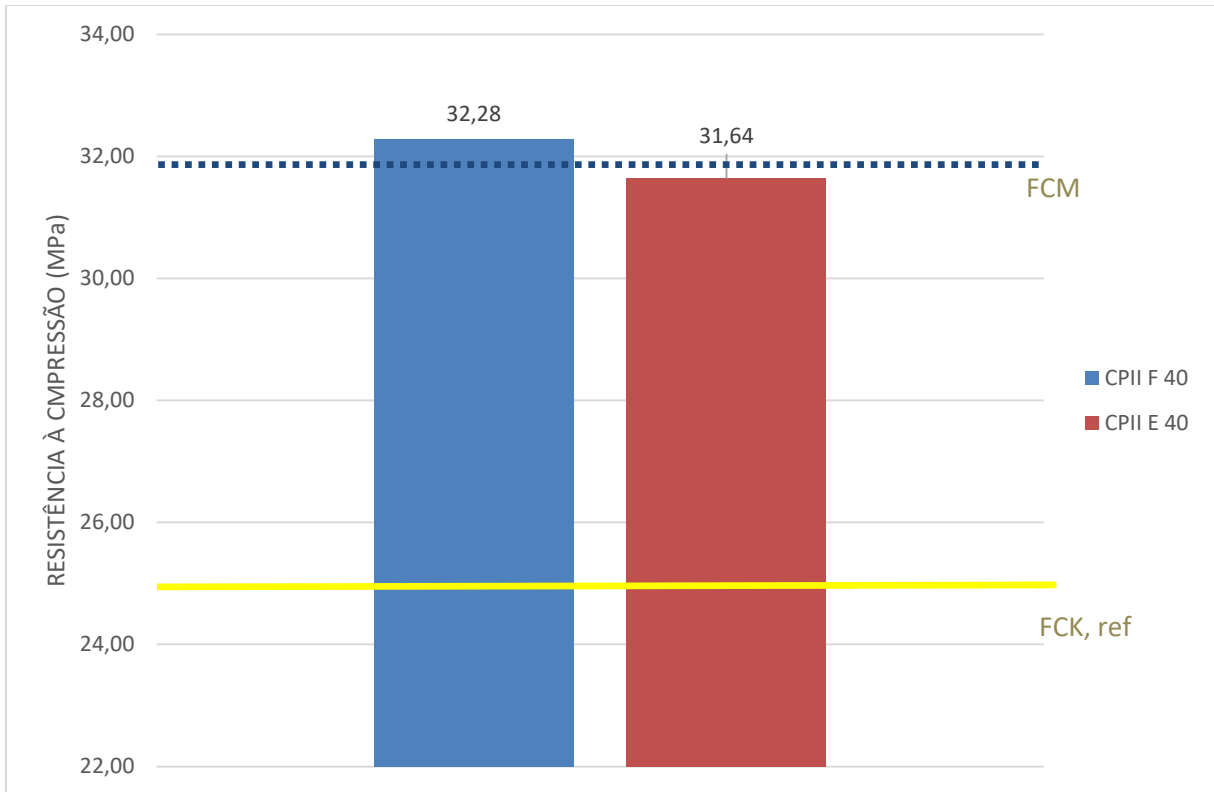
Fonte: Autora

Gráfico 18 - Comparativo dos cimentos CII E 40 e CII F 40 (f_{ck} 20 - S220)



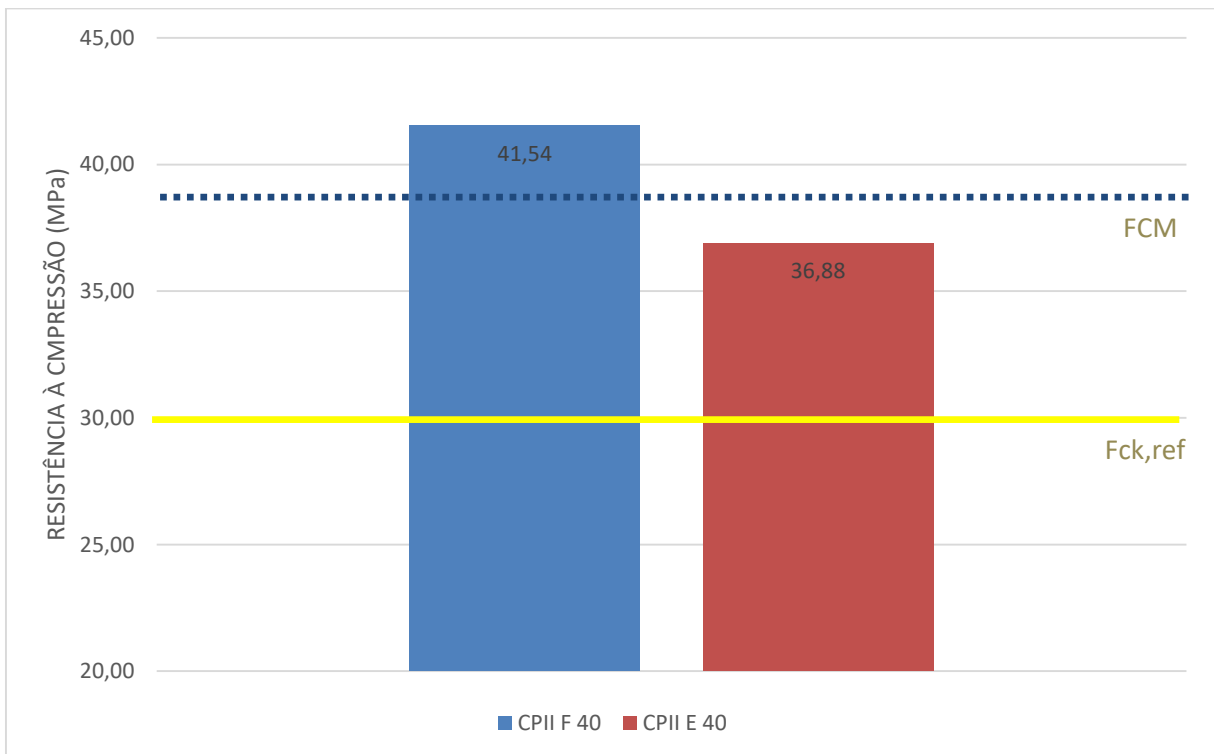
Fonte: Autora

Gráfico 19 - Comparativo dos cimentos CII E 40 e CII F 40 (fck 25 - S100)



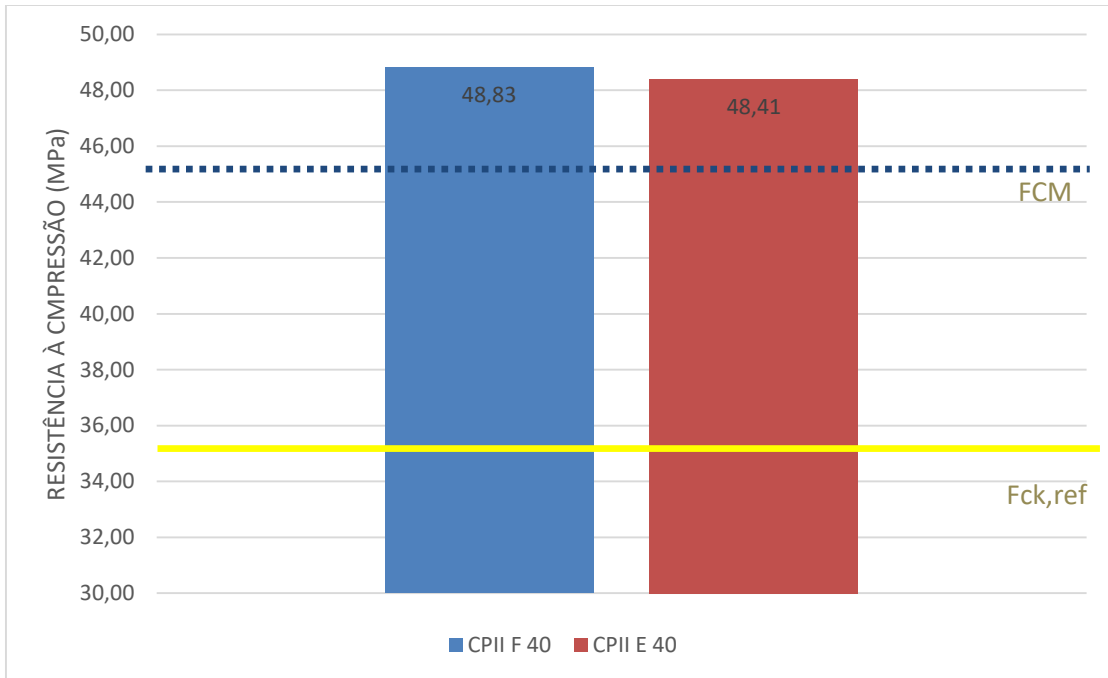
Fonte: Autora

Gráfico 20 - Comparativo dos cimentos CII E 40 e CII F 40 (fck 30 - S100)



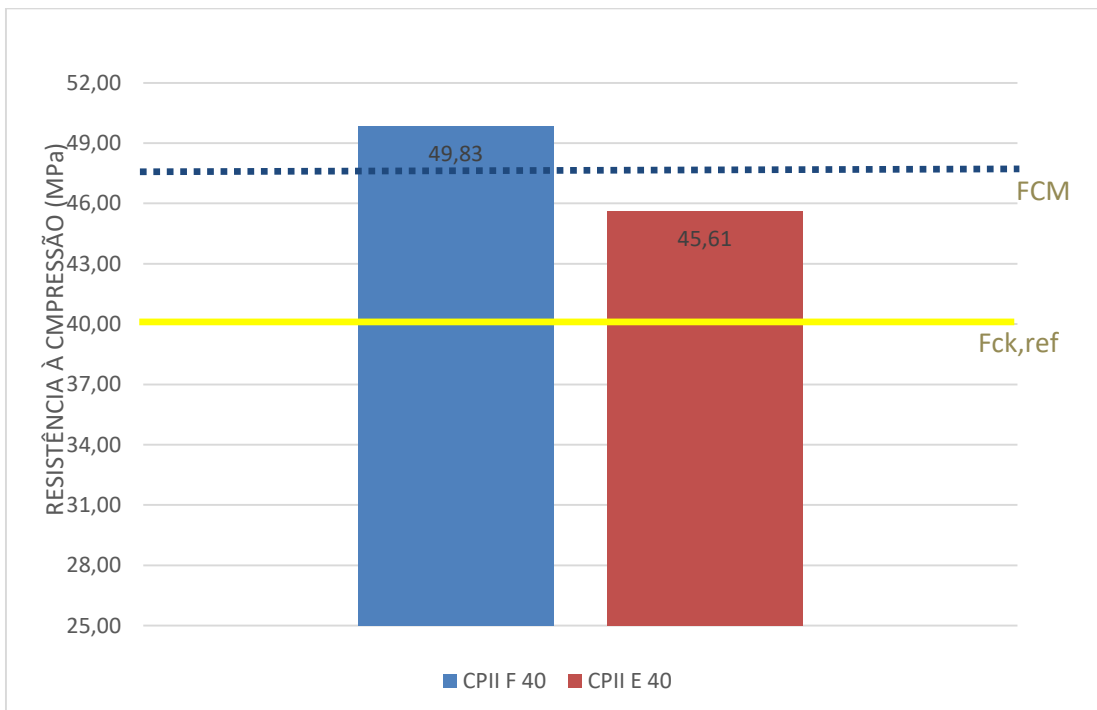
Fonte: Autora

Gráfico 21 - Comparativo dos cimentos CII E 40 e CII F 40 (fck 35 - S100)



Fonte: Autora

Gráfico 22 - Comparativo dos cimentos CII E 40 e CII F 40 (fck 40 - S100)



Fonte: Autora

O *fck 20 S220* e o *fck 30 S100* foram os que tiveram a maior diferença na comparação, e têm o consumo de cimento bem próximo. Somente no *fck 20 S100* a resistência do CII E 40

foi maior que o CII F 40, o que pode ser esclarecido pois o a/c médio dos resultados do CII F 40 foi 0,74 e do CII E 40 0,69. Assim, a maior resistência do concreto com do CII E 40 pode ter sido resultante da relação a/c mais baixa. Nos demais não houve uma diferença relevante com a relação a/c, conforme Tabela 11. Não ocorreu uma variação marcante na resistência devido à mudança na composição do cimento, o que era de se esperar considerando que a classe do cimento não foi alterada, ambos são classe 40. Embora, de acordo com os gráficos, houve uma queda sensível na resistência à compressão aos 28 dias.

Tabela 11 - a/c médio dos resultados de resistência, em função do cimento

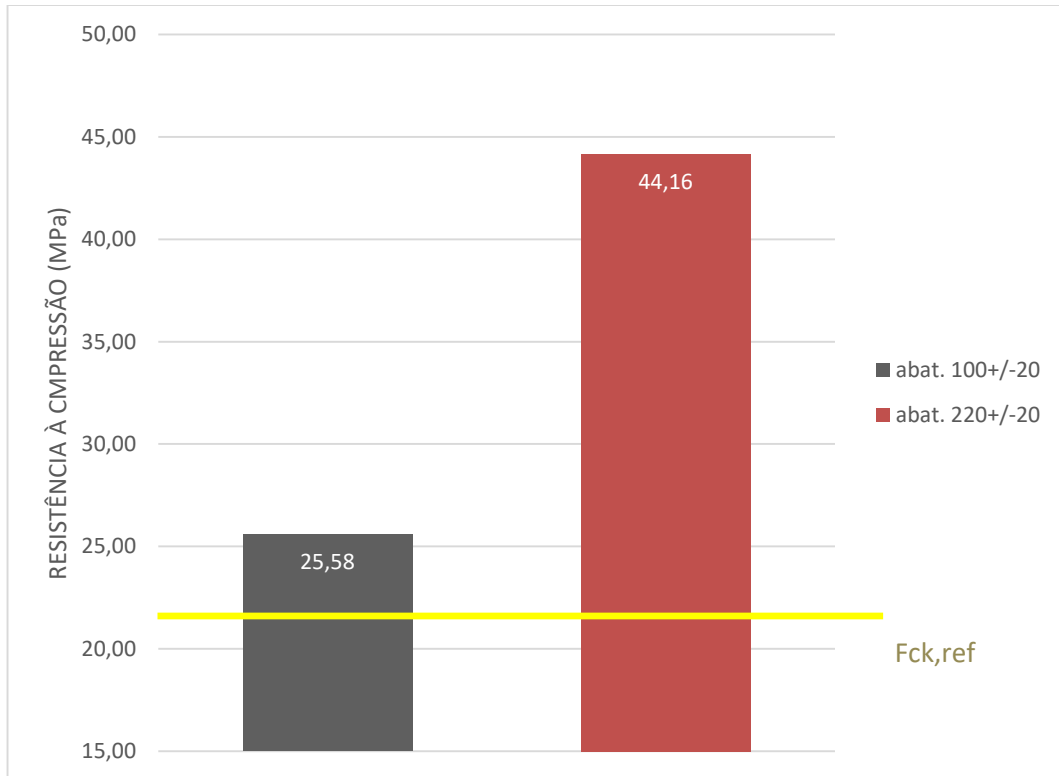
Classe de resistência e consistência	Tipo de Cimento	a/c médio dos resultados
<i>fck</i> 20 S100	CII F 40	0,74
	CII E 40	0,69
<i>fck</i> 20 S220	CII F 40	0,56
	CII E 40	0,57
<i>fck</i> 25 S100	CII F 40	0,60
	CII E 40	0,63
<i>fck</i> 30 S100	CII F 40	0,58
	CII E 40	0,56
<i>fck</i> 35 S100	CII F 40	0,48
	CII E 40	0,47
<i>fck</i> 40 S100	CII F 40	0,51
	CII E 40	0,52

Fonte: Autora

4.4 Comparação entre as classes S100 e S220 do *fck* 20 e *fck* 30

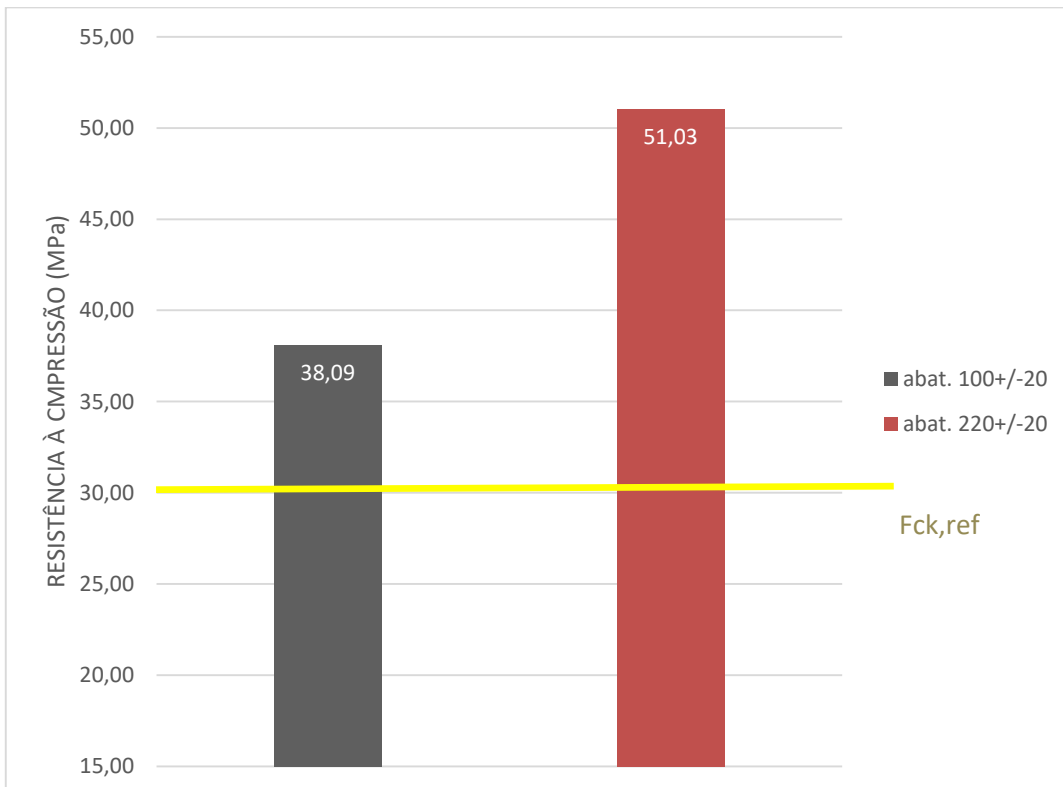
Os concretos do *fck* 20 e *fck* 30 foram analisados nas classes S100 e S220, sendo o fator de maior influência devido a quantidade, o consumo de cimento. Apesar do pequeno aumento do teor de aditivo e da diminuição do a/c. Os Gráficos 23 e 24 apresentaram a comparação entre os *fcm* das duas classes de consistência. O consumo de cimento do *fck* 20 S220 é 34,62% maior que o *fck* 20 S100. Já para o *fck* 30 S220 o consumo de cimento é 25,79% maior que o *fck* 30 S100.

Gráfico 23 - Comparativo do fck 20 da classe S100 e S220



Fonte: Autora

Gráfico 24 - Comparativo do fck 30 da classe S100 e S220



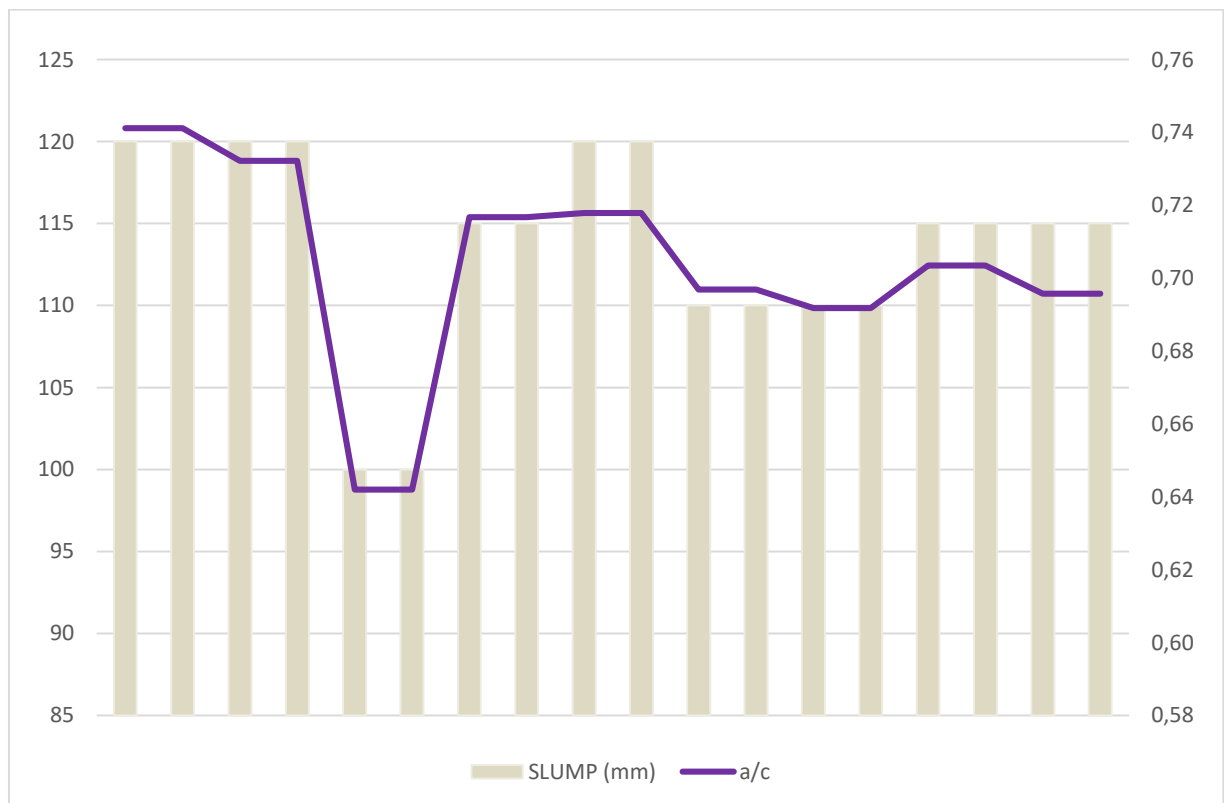
Fonte: Autora

A classe S220 tem valores de resistência bem distantes do $f_{ck, ref}$. O $f_{ck} 20$ apresentou uma diferença entre as resistências médias maior que o $f_{ck} 30$. O $f_{ck} 30$ S220 obteve o maior valor médio das resistências analisadas, e foi o que teve o maior consumo de cimento. O menor consumo de cimento teve a menor resistência média encontrada, o $f_{ck} 20$ S100. Nos dados analisados, conforme o consumo de cimento aumenta a resistência do concreto à compressão também aumenta.

4.5 Relação da consistência do concreto com o fator água/cimento

A consistência do concreto foi mensurada por meio do abatimento (*Slump*). O fator água/cimento pode provocar variação no abatimento do concreto. Sendo que a fluidez é maior em concretos com a/c maior sem aditivos, conforme a literatura. O aditivo utilizado no concreto analisado é polifuncional, tendo como umas das funções, promover a plasticidade da pasta mantendo o a/c reduzido. Os Gráficos 25, 26, 27, 28, 29, 30 e 31 apresentam a relação entre o abatimento e a relação a/c dos concretos estudados.

Gráfico 25 - Relação entre o abatimento e o a/c (fck 20 - S100)



Fonte: Autora

Conforme ilustrado nos gráficos, é possível observar que, de modo geral quando o a/c diminui, o abatimento também diminui. De forma análoga acontece para o aumento no abatimento. Em alguns pontos dos gráficos o abatimento é baixo com o a/c maior, este fator pode acontecer devido a temperatura dos componentes da mistura e do ambiente, que se for elevada pode acarretar no aumento do consumo de água de amassamento, gerando um a/c fictício. O a/c fictício ocorre quando parte da água de amassamento evapora durante a mistura, fazendo com que o concreto perca trabalhabilidade, e assim abatimento.

Os concretos da classe S220 apresentam um abatimento bem superior a classe S100, conforme esperado. O teor de aditivo na S220 é maior, por isso é possível chegar a um abatimento maior, mesmo com uma relação a/c próxima da classe S100. Todos os resultados de abatimento foram dentro da especificação de cada concreto, podendo variar +/- 20 mm.

4.6 Análise da variância

Os dados analisados foram submetidos a análise de variância, para determinar a significância das variações entre as classes de consistência e a influência do fator água/cimento e do tipo cimento na resistência do concreto. O cálculo da variância foi feito com o uso da ferramenta “Anova: fator único” do *software* Excel.

4.6.1 Classe de consistência

As Tabelas 12 e 13 apresentam a análise da resistência nas classes de consistência do *fck* 20 e *fck* 30, respectivamente. Na análise do *fck* 20, Tabela 12, os dados comprovaram que as amostras são diferentes, pois o valor do F crítico é menor que o valor de F e o valor de P é menor que o nível de significância (5%). O mesmo ocorre para o *fck* 30, demonstrando a diferença entre as classes de consistência. Por conta das variações consideráveis entre as resistências médias obtidas, apesar da mesma especificação quanto à resistência, ou seja, mesmo *fck*, mas com consistências muito diferentes, os concretos produzidos para atender as especificações resultam em concretos diferentes também com relação à resistência à compressão.

Tabela 12 - ANOVA - Análise das classes de consistência do fck 20

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	2030,533	1	2030,533	82,91075	2,97E-09	4,259677
Dentro dos grupos	587,7741	24	24,49059			
Total	2618,307	25				

Fonte: Autora

Tabela 13 - ANOVA - Análise das classes de consistência do fck 30

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1222,833	1	1222,833	46,20695	6,98E-08	4,121338
Dentro dos grupos	926,2491	35	26,46426			
Total	2149,082	36				

Fonte: Autora

4.6.2 *Influência do cimento na resistência*

As tabelas 14, 15, 16, 17, 18 e 19 apresentam a análise quanto ao tipo de cimento usado, CII F 40 e CII E 40 para as classes de resistência e consistência estudadas. Os dados revelaram que os concretos *fck* 20 S220 e o *fck* 30 S100, quando produzidos com cimentos diferentes, não são equivalentes estatisticamente. O que significa que somente para os concretos com consumo de cimento entre 300 kg/m³ e 350 kg/m³, ocorreu variação da resistência devido ao tipo de cimento.

Tabela 14 - ANOVA - Análise do tipo do cimento para o fck 20 S100

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,323097	1	0,323097	0,048156	0,832565	5,591448
Dentro dos grupos	46,96538	7	6,70934			
Total	47,28848	8				

Fonte: Autora

Tabela 15 - ANOVA - Análise do tipo do cimento para o fck 20 S220

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	148,4679	1	148,4679	5,680915	0,030804	4,543077
Dentro dos grupos	392,0177	15	26,13451			
Total	540,4856	16				

Fonte: Autora

Tabela 16 - ANOVA - Análise do tipo do cimento para o fck 25 S100

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	3,774249	1	3,774249	0,416054	0,523002	4,113165
Dentro dos grupos	326,5754	36	9,071539			
Total	330,3496	37				

Fonte: Autora

Tabela 17 - ANOVA - Análise do tipo do cimento para o fck 30 S100

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	112,2436	1	112,2436	8,239282	0,008225	4,241699
Dentro dos grupos	340,5745	25	13,62298			
Total	452,8181	26				

Fonte: Autora

Tabela 18 - ANOVA - Análise do tipo do cimento para o fck 35 S100

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1,541774	1	1,541774	0,072219	0,789805	4,139252
Dentro dos grupos	704,5002	33	21,34849			
Total	706,042	34				

Fonte: Autora

Tabela 19 - ANOVA - Análise do tipo do cimento para o fck 40 S100

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	35,56987	1	35,56987	5,097306	0,064751	5,987378
Dentro dos grupos	41,86902	6	6,97817			
Total	77,43889	7				

Fonte: Autora

4.6.3 Influência da relação água/cimento na resistência do concreto

Neste item são analisados os exemplares com o *a/c* menor ou igual ao requerido e *a/c* maior que o requerido da mesma classe de resistência e consistência. Sendo citados no item 4.2, nos gráficos 9, 10, 11, 12, 13 e 14 que apresentam a média dos resultados de resistência à compressão destes grupos.

Nas tabelas 20, 21, 22, 23, 24, 25 e 26 são possíveis identificar a significância do fator água/cimento com relação a resistência para todos os concretos estudados. O *fck* 20 S100 teve uma amplitude do *a/c* de 0,1 (Tabela 9), o que evidencia o resultado da Tabela 20, de que as amostras são estatisticamente equivalentes, pois não houve significativa variação do fator água/cimento. O mesmo ocorre para o *fck* 30 S220, onde a amplitude do *a/c* foi baixa e os dados comprovaram que as amostras são equivalentes.

Já para o *fck* 30 S100, de acordo com os dados, as amostras são equivalentes. Os resultados das resistências e das relações água/cimento do concreto *fck* 30 S100 apresentaram variação alta, portanto, são resultados com grande dispersão, o que explica a igualdade estatística, apesar de valores numéricos diferentes, como mostrado no Gráfico 11.

Tabela 20 - ANOVA - Influência da relação *a/c* na resistência do concreto *fck* 20 S100

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	6,337582	1	6,337582	1,083324	0,332564	5,591448
Dentro dos grupos	40,95089	7	5,850128			
Total	47,28848	8				

Fonte: Autora

Tabela 21 - ANOVA - Influência da relação *a/c* na resistência do concreto *fck* 20 S220

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	200,0925	1	200,0925	8,817417	0,009549	4,543077
Dentro dos grupos	340,3931	15	22,69287			
Total	540,4856	16				

Fonte: Autora

Tabela 22 - ANOVA - Influência da relação a/c na resistência do concreto fck 25 S100

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	34,66583	1	34,66583	4,220623	0,04725	4,113165
Dentro dos grupos	295,6838	36	8,213439			
Total	330,3496	37				

Fonte: Autora

Tabela 23 - ANOVA - Influência da relação a/c na resistência do concreto fck 30 S100

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	50,7167	1	50,7167	3,153228	0,087953	4,241699
Dentro dos grupos	402,1014	25	16,08406			
Total	452,8181	26				

Fonte: Autora

Tabela 24 - ANOVA - Influência da relação a/c na resistência do concreto fck 30 S220

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	5,622581	1	5,622581	0,096152	0,764421	5,317655
Dentro dos grupos	467,8083	8	58,47604			
Total	473,4309	9				

Fonte: Autora

Tabela 25 - ANOVA - Influência da relação a/c na resistência do concreto fck 35 S100

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	87,36205	1	87,36205	4,659837	0,038246	4,139252
Dentro dos grupos	618,6799	33	18,74788			
Total	706,042	34				

Fonte: Autora

Tabela 26 - ANOVA - Influência da relação a/c na resistência do concreto fck 40 S100

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	43,32383	1	43,32383	7,619597	0,032838	5,987378
Dentro dos grupos	34,11506	6	5,685843			
Total	77,43889	7				

Fonte: Autora

Os dados das amostras dos *fck* 20 S220, *fck* 25 S100, *fck* 35 S100 e *fck* 40 S100 não são estatisticamente equivalentes. Sendo assim, a variação da relação água/cimento foi significativa, tendo influência na resistência à compressão dos concretos.

5 CONCLUSÃO

Para os resultados de resistência à compressão constatou-se um desvio padrão elevado em concretos com abatimento maior. O que acarreta prejuízo para a produção de concreto, pois em uma dispersão muito alta há um consumo de material excessivo. Além de que, para se produzir esse tipo de concreto com o abatimento elevado, foi necessário um consumo de cimento maior, o que já aumenta o custo da produção. Os concretos da classe S220 geralmente são utilizados em peças que especificam um consumo de cimento maior. Então, deve-se salientar a necessidade da redução desta variação, para evitar gastos desnecessários no processo.

A resistência à compressão aumenta, no modo que o *a/c* diminui, tanto para a classe S100 quanto para a S220. Já para o abatimento, conforme o *a/c* diminui, o abatimento também diminui. A relação água/cimento é um fator determinante na resistência e na consistência do concreto, sendo assim deve-se ter um controle rigoroso, para evitar a alta dispersão.

Apesar da sensível queda na resistência à compressão aos 28 dias com o uso do cimento CII E 40, a mudança na composição do cimento não afetou de forma acentuada. A classe de resistência dos cimentos utilizados é a mesma, porém o CII F 40 é mais fino que o CII E 40, tendo uma diferença no mecanismo de ação e interferindo na resistência.

Recomenda-se que o processo de produção do concreto, seja avaliado continuamente para um bom desempenho e para a correção de possíveis falhas, visando a economia e qualidade na produção.

A dispersão dos resultados pode estar relacionada a outros fatores que não foram avaliados neste trabalho, como a temperatura dos constituintes, a umidade dos agregados e a variação dos lotes de agregados e cimento. Portanto, dentre esses fatores, recomenda-se para trabalhos futuros o estudo da influência destas variáveis, em especial da temperatura dos constituintes do concreto, tendo em vista a pouca literatura disponível sobre o tema.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C 125-21: Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates. West Conshohocken, PA, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Guia básico da utilização do cimento Portland. São Paulo, 2002. Boletim Técnico BT-106.

_____. Propriedades do Concreto Endurecido. São Paulo, 2000. Estudo Técnico ET-41.^a

_____. Propriedades do Concreto Fresco. São Paulo, 2000. Estudo Técnico ET-15.^b

_____. Agregados para Concreto. São Paulo, 2000. Estudo Técnico ET-15.^c

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto - procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2015.

_____. NBR 5739: Concreto - ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

_____. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2007.

_____. NBR 7212: Execução de concreto dosado em central. Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR 8953: Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015.

_____. NBR 16697: Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

_____. NBR 11768: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2011.

_____. NBR 12655: Concreto - Preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro, 2015.

_____. NBR 15900: Água para amassamento do concreto. Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR NM 33: Concreto - Amostragem de concreto fresco. Rio de Janeiro, 1998.

_____. NBR NM 67: Concreto - determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

BARBOZA, Lucas da Silva et al. Influência do tempo máximo de mistura e transporte especificado pela ABNT NBR 7212:2012 na resistência a compressão de concretos usinados. Revista de Engenharia Civil IMED, Passo Fundo, v. 4, n. 2, p. 20-33, dez. 2017. ISSN 2358-6508. Disponível em: <https://seer.imed.edu.br/index.php/revistaec/article/view/2075>. Acesso em: 7 nov. 2020. <https://doi.org/10.18256/2358-6508.2017.v4i2.2075>

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. Fundamentos do Concreto Armado. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/FUNDAMENTOS.pdf>. Acesso em: 07 set. 2020.

BORGES, M. Avaliação da qualidade de concretos produzidos em centrais dosadoras, misturados em caminhão betoneira e de concretos produzidos em centrais misturadoras. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Goiás. Goiânia, p. 100. 2009.

CONCRETO USINADO. A História do Concreto. Disponível em: <https://www.concretousinado.com.br/noticias/historia-concreto/>. Acesso em: 07 set. 2020.

COUTO, J. A. S., CARMINATTI, R. L., NUNES, R. R. A., & MOURA, R. C. A. (2013). O concreto como material de construção. Caderno De Graduação - Ciências Exatas E Tecnológicas - UNIT - SERGIPE, 1(3), 49-58. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/cadernoexatas/article/view/552>. Acesso em: 07 set. 2020.

HELENE, P.; ANDRADE T. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo: IBRACON, 2010.

HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. Manual de dosagem e controle de concreto. Brasília: Pini, 1992.

KLIEGER, Paul. Effect of mixing and curing temperature on concrete strength. Chicago: Portland Cement Association, 1958.

KOSMATKA, STEVEN H.; KERKHOFF, BEATRIX; AND PANARESE, WILLIAM C. Design and Control of Concrete Mixtures, EB001, 14th edition, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, USA, 2002, 358 pages.

LEAL, Danilo Jatobá. Estudo de Caso: Concreto não conforme. Revista Especialize Online IPOG, Goiânia, edição nº 10, vol. 01/2015, dezembro 2015. ISSN 2179-5568. Disponível em: <https://1library.org/document/zx9egg4z-estudo-de-caso-concreto-nao-conforme.html>. Acesso em: 8 nov. 2020.

MAPA DA OBRA. 4 DIFERENÇAS ENTRE CONCRETO USINADO E CONCRETO VIRADO EM OBRA. Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/capacitacao/concreto-usinado-virado-2/>. Acesso em: 07 set. 2020.

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

NEVILLE, A. M. Propriedades do Concreto. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

PETRUCCI, E. G. R. Concreto de cimento Portland. 13. São Paulo: Globo S.A., 1998.

PINHEIRO, Igor. Os principais aditivos utilizados no concreto. Disponível em: <https://www.inovacivil.com.br/os-principais-aditivos-utilizados-no-concreto-2/>. Acesso em: 10 outubro de 2020.

PORTAL DO CONCRETO. Centrais Dosadoras de Concreto. Disponível em: <https://www.portaldoconcreto.com.br/centrais-dosadoras>. Acesso em: 12 nov. 2020.

SANTELMO, Camilo. Mistura mais eficiente . Disponível em: <http://www.revistamt.com.br/Materias/Exibir/mistura-mais-eficiente>. Acesso em: 19 de julho de 2021.

APÊNDICE A - DADOS E RESULTADOS DOS ENSAIOS S100

Dados da coleta dos concretos da classe S100

	DATA DE MOLDAGEM	IDENTIFICAÇÃO	FCK	SLUMP (mm)	RESULTADO (Tf)	RESULTADO (MPa)	OBSERVAÇÃO	a/c
FCK 20 S100								
1	01/08/2020	A1	20	120	19,01	23,74	CPII F 40	0,74
2	01/08/2020	A2	20	120	21,40	26,72	CPII F 40	0,74
3	11/08/2020	B1	20	120	16,15	20,17	CPII F 40	0,73
4	11/08/2020	B2	20	120	19,01	23,74	CPII F 40	0,73
5	02/09/2020	C1	20	100	16,25	20,29	CPII E 40	0,64
6	02/09/2020	C2	20	100	24,30	30,34	CPII E 40	0,64
7	08/09/2020	D1	20	115	17,14	21,40	CPII E 40	0,72
8	08/09/2020	D2	20	115	17,49	21,84	CPII E 40	0,72
9	09/09/2020	E1	20	120	21,05	26,28	CPII E 40	0,72
10	09/09/2020	E2	20	120	18,02	22,50	CPII E 40	0,72
11	16/09/2020	F1	20	110	19,02	23,75	CPII E 40	0,70
12	16/09/2020	F2	20	110	20,03	25,01	CPII E 40	0,70
13	01/10/2020	G1	20	110	19,49	24,34	CPII E 40	0,69
14	01/10/2020	G2	20	110	19,16	23,92	CPII E 40	0,69
15	17/10/2020	H1	20	115	15,28	19,08	CPII E 40	0,70
16	17/10/2020	H2	20	115	19,80	24,72	CPII E 40	0,70
17	26/10/2020	I3	20	115	20,39	25,46	CPII E 40	0,70
18	26/10/2020	I4	20	115	21,83	27,26	CPII E 40	0,70
FCK 25 S100								
1	03/08/2020	J1	25	120	24,84	31,02	CPII F 40	0,60
2	03/08/2020	J2	25	120	26,64	33,26	CPII F 40	0,60
3	04/08/2020	K1	25	115	22,99	28,71	CPII F 40	0,54
4	04/08/2020	K2	25	115	23,80	29,72	CPII F 40	0,54
5	04/08/2020	L1	25	115	28,30	35,34	CPII F 40	0,55
6	04/08/2020	L2	25	115	29,60	36,96	CPII F 40	0,55
7	05/08/2020	M1	25	120	22,39	27,96	CPII F 40	0,61
8	05/08/2020	M2	25	120	11,78	14,71	CPII F 40	0,61
9	06/08/2020	N1	25	120	29,27	36,55	CPII F 40	0,62
10	06/08/2020	N2	25	120	27,73	34,62	CPII F 40	0,62
11	06/08/2020	O1	25	120	23,70	29,59	CPII F 40	0,66
12	06/08/2020	O2	25	120	21,65	27,03	CPII F 40	0,66
13	07/08/2020	P1	25	115	27,83	34,75	CPII F 40	0,53
14	07/08/2020	P2	25	115	21,76	27,17	CPII F 40	0,53
15	10/08/2020	Q1	25	120	28,44	35,51	CPII F 40	0,55
16	10/08/2020	Q2	25	120	27,93	34,87	CPII F 40	0,55
17	13/08/2020	R1	25	120	23,41	29,23	CPII E 40	0,72

18	13/08/2020	R2	25	120	23,20	28,97	CPII E 40	0,72
19	17/08/2020	S1	25	115	21,42	26,75	CPII F 40	0,67
20	17/08/2020	S2	25	115	21,22	26,50	CPII F 40	0,67
21	18/08/2020	T1	25	110	21,95	27,41	CPII F 40	0,64
22	18/08/2020	T2	25	110	23,39	29,21	CPII F 40	0,64
23	18/08/2020	U1	25	115	25,96	32,41	CPII F 40	0,61
24	18/08/2020	U2	25	115	24,02	29,99	CPII F 40	0,61
25	20/08/2020	V1	25	120	27,08	33,81	CPII F 40	0,62
26	20/08/2020	V2	25	120	28,19	35,20	CPII F 40	0,62
27	24/08/2020	W1	25	115	25,73	32,13	CPII F 40	0,57
28	24/08/2020	W2	25	115	26,28	32,81	CPII F 40	0,57
29	25/08/2020	X1	25	120	27,06	33,79	CPII F 40	0,62
30	25/08/2020	X2	25	120	24,34	30,39	CPII F 40	0,62
31	28/08/2020	Y1	25	120	22,95	28,66	CPII F 40	0,64
32	28/08/2020	Y2	25	120	23,83	29,75	CPII F 40	0,64
33	02/09/2020	Z1	25	115	25,66	32,04	CPII E 40	0,56
34	02/09/2020	Z2	25	115	28,20	35,21	CPII E 40	0,56
35	03/09/2020	AA1	25	120	25,95	32,40	CPII E 40	0,69
36	03/09/2020	AA2	25	120	27,22	33,99	CPII E 40	0,69
37	05/09/2020	AB1	25	120	20,31	25,36	CPII E 40	0,69
38	05/09/2020	AB2	25	120	22,42	27,99	CPII E 40	0,69
39	09/09/2020	AC1	25	115	23,38	29,19	CPII E 40	0,62
40	09/09/2020	AC2	25	115	24,89	31,08	CPII E 40	0,62
41	11/09/2020	AD1	25	115	30,55	38,15	CPII E 40	0,61
42	11/09/2020	AD2	25	115	27,22	33,99	CPII E 40	0,61
43	11/09/2020	AE1	25	120	22,38	27,94	CPII E 40	0,67
44	11/09/2020	AE2	25	120	20,14	25,15	CPII E 40	0,67
45	14/09/2020	AF1	25	115	22,76	28,42	CPII E 40	0,59
46	14/09/2020	AF2	25	115	24,25	30,28	CPII E 40	0,59
47	16/09/2020	AG1	25	110	23,63	29,50	CPII E 40	0,57
48	16/09/2020	AG2	25	110	23,05	28,78	CPII E 40	0,57
49	25/09/2020	AH1	25	115	27,31	34,10	CPII E 40	0,58
50	25/09/2020	AH2	25	115	29,02	36,23	CPII E 40	0,58
51	26/09/2020	AI1	25	120	21,90	27,34	CPII E 40	0,62
52	26/09/2020	AI2	25	120	22,24	27,77	CPII E 40	0,62
53	28/09/2020	AJ1	25	115	25,01	31,23	CPII E 40	0,65
54	28/09/2020	AJ2	25	115	23,48	29,32	CPII E 40	0,65
55	29/09/2020	AK1	25	120	22,96	28,67	CPII E 40	0,71
56	29/09/2020	AK2	25	120	22,40	27,97	CPII E 40	0,71
57	29/09/2020	AL1	25	115	26,83	33,50	CPII E 40	0,64
58	29/09/2020	AL2	25	115	27,54	34,39	CPII E 40	0,64
59	29/09/2020	AM1	25	120	23,52	29,37	CPII E 40	0,74
60	29/09/2020	AM2	25	120	21,15	26,41	CPII E 40	0,74
61	01/10/2020	AN1	25	120	24,12	30,12	CPII E 40	0,66
62	01/10/2020	AN2	25	120	22,97	28,68	CPII E 40	0,66

63	02/10/2020	AO1	25	120	24,50	30,59	CPII E 40	0,69
64	02/10/2020	AO2	25	120	23,65	29,53	CPII E 40	0,69
65	06/10/2020	AP1	25	110	24,49	30,58	CPII E 40	0,56
66	06/10/2020	AP2	25	110	23,64	29,52	CPII E 40	0,56
67	07/10/2020	AQ1	25	115	18,82	23,50	CPII E 40	0,60
68	07/10/2020	AQ2	25	115	27,26	34,04	CPII E 40	0,60
69	08/10/2020	AR1	25	110	22,33	27,88	CPII E 40	0,55
70	08/10/2020	AR2	25	110	25,29	31,58	CPII E 40	0,55
71	08/10/2020	AS1	25	120	22,03	27,51	CPII E 40	0,59
72	08/10/2020	AS2	25	120	26,95	33,65	CPII E 40	0,59
73	13/10/2020	AT1	25	115	24,76	30,92	CPII E 40	0,57
74	13/10/2020	AT2	25	115	25,49	31,83	CPII E 40	0,57
75	14/10/2020	AU1	25	110	25,96	32,41	CPII E 40	0,54
76	14/10/2020	AU2	25	110	27,41	34,22	CPII E 40	0,54

FCK 30 S100

1	13/08/2020	AV1	30	120	26,90	33,59	CPII E 40	0,59
2	13/08/2020	AV2	30	120	27,40	34,21	CPII E 40	0,59
3	14/08/2020	AW1	30	120	32,41	40,47	CPII E 40	0,65
4	14/08/2020	AW2	30	120	28,41	35,47	CPII E 40	0,65
5	14/08/2020	AX1	30	120	35,22	43,98	CPII E 40	0,63
6	14/08/2020	AX2	30	120	33,20	41,45	CPII E 40	0,63
7	20/08/2020	AY1	30	120	32,13	40,12	CPII F 40	0,57
8	20/08/2020	AY2	30	120	31,64	39,51	CPII F 40	0,57
9	20/08/2020	AZ1	30	120	38,77	48,41	CPII F 40	0,57
10	20/08/2020	AZ2	30	120	37,12	46,35	CPII F 40	0,57
11	20/08/2020	BA1	30	115	31,00	38,71	CPII F 40	0,55
12	20/08/2020	BA2	30	115	25,67	32,05	CPII F 40	0,55
13	24/08/2020	BB1	30	120	29,58	36,93	CPII F 40	0,58
14	24/08/2020	BB2	30	120	28,85	36,02	CPII F 40	0,58
15	25/08/2020	BC1	30	120	33,10	41,33	CPII F 40	0,61
16	25/08/2020	BC2	30	120	33,12	41,35	CPII F 40	0,61
17	25/08/2020	BD1	30	115	31,15	38,89	CPII F 40	0,54
18	25/08/2020	BD2	30	115	33,54	41,88	CPII F 40	0,54
19	25/08/2020	BE1	30	120	34,72	43,35	CPII F 40	0,66
20	25/08/2020	BE2	30	120	30,51	38,10	CPII F 40	0,66
21	02/09/2020	BF1	30	115	28,59	35,70	CPII E 40	0,51
22	02/09/2020	BF2	30	115	26,10	32,59	CPII E 40	0,51
23	04/09/2020	BG1	30	120	27,59	34,45	CPII E 40	0,69
24	04/09/2020	BG2	30	120	28,57	35,67	CPII E 40	0,69
25	20/08/2020	BH1	30	120	31,00	38,71	CPII E 40	0,55
26	20/08/2020	BH2	30	120	25,67	32,05	CPII E 40	0,55
27	12/09/2020	BI1	30	120	27,57	34,42	CPII E 40	0,55
28	12/09/2020	BI2	30	120	29,20	36,46	CPII E 40	0,55
29	14/09/2020	BJ1	30	115	28,67	35,80	CPII E 40	0,50
30	14/09/2020	BJ2	30	115	29,25	36,52	CPII E 40	0,50

31	16/09/2020	BK1	30	120	30,60	38,21	CPII E 40	0,58
32	16/09/2020	BK2	30	120	28,88	36,06	CPII E 40	0,58
33	22/09/2020	BL1	30	120	27,21	33,97	CPII E 40	0,55
34	22/09/2020	BL2	30	120	29,03	36,25	CPII E 40	0,55
35	22/09/2020	BM1	30	115	24,09	30,08	CPII E 40	0,59
36	22/09/2020	BM2	30	115	24,18	30,19	CPII E 40	0,59
37	22/09/2020	BN1	30	115	24,56	30,67	CPII E 40	0,52
38	22/09/2020	BN2	30	115	26,51	33,10	CPII E 40	0,52
39	22/09/2020	BO1	30	120	35,22	43,98	CPII E 40	0,55
40	22/09/2020	BO2	30	120	18,49	23,09	CPII E 40	0,55
41	24/09/2020	BP1	30	120	32,48	40,56	CPII E 40	0,57
42	24/09/2020	BP2	30	120	31,50	39,33	CPII E 40	0,57
43	28/09/2020	BQ1	30	115	25,91	32,35	CPII E 40	0,51
44	28/09/2020	BQ2	30	115	26,58	33,19	CPII E 40	0,51
45	30/09/2020	BR1	30	115	32,93	41,12	CPII E 40	0,53
46	30/09/2020	BR2	30	115	27,33	34,12	CPII E 40	0,53
47	01/10/2020	BS1	30	120	29,77	37,17	CPII E 40	0,58
48	01/10/2020	BS2	30	120	29,08	36,31	CPII E 40	0,58
49	06/10/2020	BT1	30	115	27,20	33,96	CPII E 40	0,56
50	06/10/2020	BT2	30	115	23,58	29,44	CPII E 40	0,56
51	08/10/2020	BU1	30	115	25,49	31,83	CPII E 40	0,56
52	08/10/2020	BU2	30	115	27,99	34,95	CPII E 40	0,56
53	08/10/2020	BV1	30	120	26,66	33,29	CPII E 40	0,53
54	08/10/2020	BV2	30	120	24,90	31,09	CPII E 40	0,53

FCK 35 S100

1	05/08/2020	BW1	35	115	38,70	48,32	CPII F 40	0,50
2	05/08/2020	BW2	35	115	39,30	49,07	CPII F 40	0,50
3	07/08/2020	BX1	35	110	34,78	43,43	CPII F 40	0,49
4	07/08/2020	BX2	35	110	36,54	45,62	CPII F 40	0,49
5	07/08/2020	BY1	35	120	35,64	44,50	CPII F 40	0,49
6	07/08/2020	BY2	35	120	28,31	35,35	CPII F 40	0,49
7	08/08/2020	BZ1	35	110	37,88	47,30	CPII F 40	0,48
8	08/08/2020	BZ2	35	110	38,12	47,60	CPII F 40	0,48
9	10/08/2020	CA1	35	120	37,12	46,35	CPII F 40	0,50
10	10/08/2020	CA2	35	120	39,80	49,70	CPII F 40	0,50
11	10/08/2020	CB1	35	110	44,26	55,26	CPII F 40	0,44
12	10/08/2020	CB2	35	110	43,15	53,88	CPII F 40	0,44
13	11/08/2020	CD1	35	120	36,04	45,00	CPII F 40	0,49
14	11/08/2020	CD2	35	120	37,09	46,31	CPII F 40	0,49
15	12/08/2020	CE1	35	120	36,26	45,28	CPII F 40	0,46
16	12/08/2020	CE2	35	120	38,72	48,35	CPII F 40	0,46
17	12/08/2020	CF1	35	120	30,57	38,17	CPII F 40	0,51
18	12/08/2020	CF2	35	120	33,26	41,53	CPII F 40	0,51
19	12/08/2020	CG1	35	120	26,41	32,98	CPII F 40	0,50
20	12/08/2020	CG2	35	120	35,42	44,23	CPII F 40	0,50

21	27/08/2020	CH1	35	115	38,80	48,45	CPII F 40	0,47
22	27/08/2020	CH1	35	115	34,40	42,95	CPII F 40	0,47
23	27/08/2020	CI1	35	105	44,56	55,64	CPII F 40	0,44
24	27/08/2020	CI2	35	105	46,48	58,04	CPII F 40	0,44
25	27/08/2020	CJ1	35	110	44,85	56,00	CPII F 40	0,46
26	27/08/2020	CJ2	35	110	44,86	56,01	CPII F 40	0,46
27	27/08/2020	CK1	35	120	35,17	43,91	CPII F 40	0,50
28	27/08/2020	CK2	35	120	34,80	43,45	CPII F 40	0,50
29	27/08/2020	CL1	35	110	36,53	45,61	CPII F 40	0,47
30	27/08/2020	CL2	35	110	39,79	49,68	CPII F 40	0,47
31	29/08/2020	CM1	35	120	38,04	47,50	CPII F 40	0,51
32	29/08/2020	CM2	35	120	31,10	38,83	CPII F 40	0,51
33	29/08/2020	CN1	35	110	42,42	52,97	CPII F 40	0,44
34	29/08/2020	CN2	35	110	44,96	56,14	CPII F 40	0,44
35	29/08/2020	CO1	35	120	34,55	43,14	CPII F 40	0,55
36	29/08/2020	CO2	35	120	38,04	47,50	CPII F 40	0,55
37	29/08/2020	CP1	35	115	37,52	46,85	CPII F 40	0,49
38	29/08/2020	CP2	35	115	34,21	42,72	CPII F 40	0,49
39	29/08/2020	CQ1	35	110	39,22	48,97	CPII F 40	0,45
40	29/08/2020	CQ2	35	110	40,37	50,41	CPII F 40	0,45
41	02/09/2020	CR1	35	120	48,82	60,96	CPII F 40	0,46
42	02/09/2020	CR2	35	120	47,67	59,52	CPII F 40	0,46
43	02/09/2020	CS1	35	115	39,20	48,95	CPII E 40	0,48
44	02/09/2020	CS2	35	115	40,38	50,42	CPII E 40	0,48
45	02/09/2020	CT1	35	115	38,74	48,37	CPII E 40	0,46
46	02/09/2020	CT2	35	115	37,68	47,05	CPII E 40	0,46
47	10/09/2020	CU1	35	120	39,94	49,87	CPII E 40	0,49
48	10/09/2020	CU2	35	120	35,37	44,16	CPII E 40	0,49
49	15/09/2020	CV1	35	105	40,72	50,84	CPII E 40	0,46
50	15/09/2020	CV2	35	105	40,39	50,43	CPII E 40	0,46
51	17/09/2020	CW1	35	110	36,59	45,69	CPII E 40	0,46
52	17/09/2020	CW2	35	110	36,99	46,19	CPII E 40	0,46
53	19/09/2020	CX1	35	120	37,44	46,75	CPII E 40	0,49
54	19/09/2020	CX2	35	120	38,62	48,22	CPII E 40	0,49
55	23/09/2020	CY1	35	110	40,69	50,81	CPII E 40	0,45
56	23/09/2020	CY2	35	110	33,73	42,12	CPII E 40	0,45
57	26/09/2020	CZ1	35	120	32,53	40,62	CPII E 40	0,53
58	26/09/2020	CZ2	35	120	32,37	40,42	CPII E 40	0,53
59	01/10/2020	DA1	35	110	35,01	43,71	CPII E 40	0,49
60	01/10/2020	DA2	35	110	36,66	45,77	CPII E 40	0,49
61	02/10/2020	DB1	35	105	37,94	47,37	CPII E 40	0,46
62	02/10/2020	DB2	35	105	33,55	41,89	CPII E 40	0,46
63	02/10/2020	DC1	35	105	32,97	41,17	CPII E 40	0,45
64	02/10/2020	DC2	35	105	35,09	43,81	CPII E 40	0,45
65	05/10/2020	DD1	35	115	35,77	44,66	CPII E 40	0,49

66	05/10/2020	DD2	35	115	36,44	45,50	CPII E 40	0,49
67	08/10/2020	DE1	35	110	41,82	52,22	CPII E 40	0,46
68	08/10/2020	DE2	35	110	42,88	53,54	CPII E 40	0,46
69	08/10/2020	DF1	35	115	35,10	43,83	CPII E 40	0,47
70	08/10/2020	DF2	35	115	34,49	43,06	CPII E 40	0,47

FCK 40 S100

1	05/08/2020	DG1	40	110	39,41	49,21	CPII F 40	0,50
2	05/08/2020	DG2	40	110	38,91	48,58	CPII F 40	0,50
3	07/08/2020	DH1	40	120	33,09	41,32	CPII F 40	0,55
4	07/08/2020	DH2	40	120	36,45	45,51	CPII F 40	0,55
5	13/08/2020	DI1	40	115	37,28	46,55	CPII E 40	0,51
6	13/08/2020	DI2	40	115	35,13	43,86	CPII E 40	0,51
7	20/08/2020	DJ1	40	100	39,62	49,47	CPII F 40	0,49
8	20/08/2020	DJ2	40	100	43,44	54,24	CPII F 40	0,49
9	21/08/2020	DK1	40	105	40,32	50,34	CPII F 40	0,48
10	21/08/2020	DK2	40	105	36,95	46,14	CPII F 40	0,48
11	02/09/2020	DL1	40	120	35,61	44,46	CPII E 40	0,55
12	02/09/2020	DL2	40	120	35,39	44,19	CPII E 40	0,55
13	10/09/2020	DM1	40	110	37,15	46,39	CPII E 40	0,50
14	10/09/2020	DM2	40	110	36,25	45,26	CPII E 40	0,50
15	29/09/2020	DN1	40	120	36,07	45,04	CPII E 40	0,53
16	29/09/2020	DN2	40	120	32,64	40,76	CPII E 40	0,53



APÊNDICE B - DADOS E RESULTADOS DOS ENSAIOS S220

Dados da coleta dos concretos da classe S220


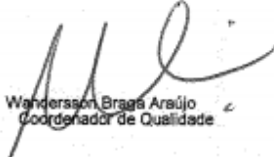


	DATA DE MOLDAGEM	N° PEDIDO	FCK	SLUMP (mm)	RESULTADO (Tf)	RESULTADO (MPa)	OBSERVAÇÃO	a/c
FCK 20 S220								
1	12/08/2020	DO1	20	220	40,57	50,66	CPII F 40	0,54
2	12/08/2020	DO2	20	220	39,60	49,45	CPII F 40	0,54
3	12/08/2020	DP1	20	235	40,09	50,06	CPII F 40	0,58
4	12/08/2020	DP2	20	235	38,57	48,16	CPII F 40	0,58
5	12/08/2020	DQ1	20	230	39,64	49,50	CPII F 40	0,58
6	12/08/2020	DQ2	20	230	41,75	52,13	CPII F 40	0,58
7	12/08/2020	DR1	20	220	40,23	50,23	CPII F 40	0,53
8	12/08/2020	DR2	20	220	37,05	46,26	CPII F 40	0,53
9	13/08/2020	DS1	20	240	32,75	40,89	CPII E 40	0,65
10	13/08/2020	DS2	20	240	32,81	40,97	CPII E 40	0,65
11	13/08/2020	DT1	20	240	28,58	35,69	CPII E 40	0,66
12	13/08/2020	DT2	20	240	27,04	33,76	CPII E 40	0,66
13	13/08/2020	DU1	20	230	27,69	34,57	CPII E 40	0,63
14	13/08/2020	DU2	20	230	29,97	37,42	CPII E 40	0,63
15	13/08/2020	DV1	20	220	29,32	36,61	CPII E 40	0,55
16	13/08/2020	DV2	20	220	32,41	40,47	CPII E 40	0,55
17	14/08/2020	DW1	20	230	30,11	37,60	CPII E 40	0,56
18	14/08/2020	DW2	20	230	34,42	42,98	CPII E 40	0,56
19	17/08/2020	DX1	20	240	27,02	33,74	CPII F 40	0,60
20	17/08/2020	DX2	20	240	28,94	36,14	CPII F 40	0,60
21	21/08/2020	DY1	20	230	39,10	48,82	CPII F 40	0,56
22	21/08/2020	DY2	20	230	39,37	49,16	CPII F 40	0,56
23	22/08/2020	DZ1	20	220	41,77	52,15	CPII F 40	0,48
24	22/08/2020	DZ2	20	220	38,66	48,27	CPII F 40	0,48
25	22/08/2020	EA1	20	240	30,29	37,82	CPII F 40	0,64
26	22/08/2020	EA2	20	240	24,31	30,35	CPII F 40	0,64
27	24/09/2020	EB1	20	220	32,00	39,96	CPII E 40	0,51
28	24/09/2020	EB2	20	220	35,45	44,26	CPII E 40	0,51
29	24/09/2020	EC1	20	220	38,18	47,67	CPII E 40	0,51
30	24/09/2020	EC2	20	220	36,20	45,20	CPII E 40	0,51
31	26/09/2020	ED1	20	225	32,31	40,34	CPII E 40	0,52
32	26/09/2020	ED2	20	225	33,39	41,69	CPII E 40	0,52
33	10/10/2020	EE1	20	230	33,00	41,20	CPII E 40	0,53
34	10/10/2020	EE2	20	230	30,00	37,46	CPII E 40	0,53
FCK 30 S220								
1	23/09/2020	EF1	30	210	44,32	55,34	CPII E 40	0,47

2	23/09/2020	EF2	30	210	47,79	59,67	CPII E 40	0,47
3	23/09/2020	EG1	30	220	51,35	64,12	CPII E 40	0,46
4	23/09/2020	EG2	30	220	51,97	64,89	CPII E 40	0,46
5	23/09/2020	EH1	30	230	45,95	57,37	CPII E 40	0,51
6	23/09/2020	EH2	30	230	41,72	52,09	CPII E 40	0,51
7	23/09/2020	EI1	30	235	35,79	44,69	CPII E 40	0,51
8	23/09/2020	EI2	30	235	35,61	44,46	CPII E 40	0,51
9	23/09/2020	EJ1	30	220	35,55	44,39	CPII E 40	0,48
10	23/09/2020	EJ2	30	220	37,14	46,37	CPII E 40	0,48
11	24/09/2020	EK1	30	240	41,96	52,39	CPII E 40	0,54
12	24/09/2020	EK2	30	240	42,01	52,45	CPII E 40	0,54
13	24/09/2020	EL1	30	215	36,3	45,32	CPII E 40	0,47
14	24/09/2020	EL2	30	215	34,4	42,95	CPII E 40	0,47
15	24/09/2020	EM1	30	220	39,14	48,87	CPII E 40	0,45
16	24/09/2020	EM2	30	220	35,85	44,76	CPII E 40	0,45
17	24/09/2020	EN1	30	225	33,81	42,22	CPII E 40	0,48
18	24/09/2020	EN2	30	225	35,84	44,75	CPII E 40	0,48
19	24/09/2020	EO1	30	235	36,8	45,95	CPII E 40	0,51
20	24/09/2020	EO2	30	235	35,53	44,36	CPII E 40	0,51

ANEXO A – ANÁLISE DO CIMENTO CPII E 40

FABRICA: ARCOS MARCA: CAMPEÃO CRH BRASIL BOLETIM DE ANÁLISES DE CIMENTO DC-128		CPIIE-40 (NBR 16697/Jul.2018) GRANEL			
ENSAIOS QUÍMICOS					
ENSAIOS		NBR Nº	UNIDADE	RESULTADOS	ESPECIFICAÇÃO NORMA NBR 16697/2018
Perda ao Fogo - PF		NM18:2012	%	5,46	≤ 8,5
Anidrido Sulfúrico - SO ₃		14656:2001	%	3,23	≤ 4,5
Resíduo Insolúvel - RI		NM15:2012	%	0,96	≤ 5,0
ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS					
ENSAIOS		NBR Nº	UNIDADE	RESULTADOS	ESPECIFICAÇÃO NORMA NBR 16697/2018
Área Específica (Blaine)		16372:2015	cm ² /g	4680	não aplicável
Massa Específica		16605:2017	g/cm ³	3,06	não aplicável
Finura - Resíduo na Peneira de 0,075mm (#200)		12826:2014	%	0,40	≤ 10,0
Finura - Resíduo na Peneira de 0,044mm (#325)		12826:2014	%	1,78	não aplicável
Água da Pasta de Consistência Normal		16606:2017	%	29,2	não aplicável
Início de Pega		16607:2017	h:min	3:50	≥01:00
Fim de Pega		16607:2017	h:min	4:50	≤10:00
Expansibilidade de Le Chatelier - a Quente		11582:2016	mm	0,00	≤ 5
RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (MPa) - NBR 7215/2019					
Idade (Dias)	Média	ESPECIFICAÇÃO NORMA NBR 16697/2018			
1	19,0	não aplicável			
3	33,4	≥ 15,0 MPa			
7	39,8	≥ 25,0 MPa			
28	49,2	≥ 40,0 MPa			
Observações:					
Leandro Hilarino da Silva Supervisor da Qualidade		Saulus Augustus Bernardo Meireles Gerente de Operações		 29/08/2020 Adilson Mauro de Almeida Dias Responsável Técnico Eng: Químico	
Atualizado em: 28/08/2020					


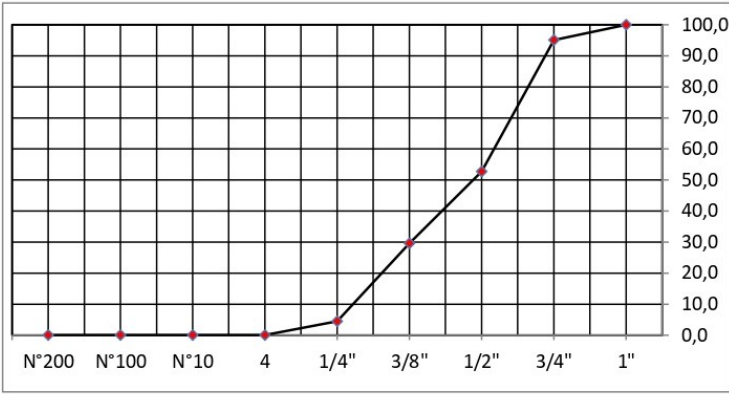
ANEXO B – ANÁLISE DO CIMENTO CPII F 40

FABRICA: ARCOS MARCA: CAMPEÃO CRH BRASIL BOLETIM DE ANÁLISES DE CIMENTO DC-127		CPIIF-40 (NBR 16697/Jul.2018) GRANEL 01 de Junho a 01 de Agosto de 2020			
ENSAIOS QUÍMICOS					
ENSAIOS	NBR Nº	UNIDADE	RESULTADOS	ESPECIFICAÇÃO NORMA NBR 16697/2018	
Perda ao Fogo - PF	NM18:2012	%	8,29	≤ 12,5	
Anidrido Sulfúrico - SO ₃	14656:2001	%	3,21	≤ 4,5	
Resíduo Insolúvel - RI	NM15:2012	%	1,13	≤ 7,5	
ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS					
ENSAIOS	NBR Nº	UNIDADE	RESULTADOS	ESPECIFICAÇÃO NORMA NBR 16697/2018	
Área Específica (Blaine)	16372:2015	cm ² /g	4990	não aplicável	
Massa Específica	16605:2017	g/cm ³	3,04	não aplicável	
Fiatura - Resíduo na Peneira de 0,075mm (#200)	12826:2014	%	0,01	≤ 12,0	
Finura - Resíduo na Peneira de 0,044mm (#325)	12826:2014	%	1,02	não aplicável	
Água da Pasta de Consistência Normal	16606:2017	%	28,27	não aplicável	
Início de Pega	16607:2017	h:min	2:25	≥ 01:00	
Fim de Pega	16607:2017	h:min	3:20	não aplicável	
Expansibilidade de Le Châtelier - a Quente	11582:2016	mm	0,00	≤ 5	
RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (MPa) - NBR 7215/2019					
Idade (Dias)	Média	Desvio	ESPECIFICAÇÃO NORMA NBR 16697/2018		
1	25,1	0,61	não aplicável		
3	35,6	0,82	≥ 15,0 MPa		
7	41,0	0,71	≥ 25,0 MPa		
28	46,2	1,06	≥ 40,0 MPa		
Observações:					
 Wanderson Braga Araújo Coordenador de Qualidade		 Saulus Augustus Bernardo Meireles Gerente de Operações		 Adilson Mauro de Almeida Dias Responsável Técnico Eng. Químico	
Atualizado em: 03/08/2020					


ANEXO C – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA BRITA 0

VELMAT Engenharia		ANÁLISE GRANULOMÉTRICA			
OBRA	TRECHO	CAMADA	PROCEDÊNCIA	DATA	
Welmix	-			03-09-20	
Local /Estaca:	MATERIAL	OPERADOR		REGISTRO	
Usina	Brita 0	Maxwel		01	
		PESO DA AMOSTRA	2000,00		
PENEIRA N°	PENEIRA (mm)	PESO (g)	% AMOSTRA	% ACUMULADA	% PASSANDO
1/2"	12,7	11,5	0,6	0,6	99,4
3/8"	9,5	301,6	15,1	15,7	84,3
1/4"	6,35	702,1	35,1	50,8	49,2
N° 8	2,36	950,6	47,5	98,3	1,7
N° 16	1,18	0,0	0,0	98,3	1,7
N° 30	0,60	0,0	0,0	98,3	1,7
N°50	0,33	0,0	0,00	98,29	1,7
N°100	0,15	0,0	0,0	98,3	1,7
N°200	0,074	0,0	0,0	98,3	1,7
GRANULOMETRIA					
OBS:	Material coletado no depósito da Usina				


ANEXO D – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA BRITA 1

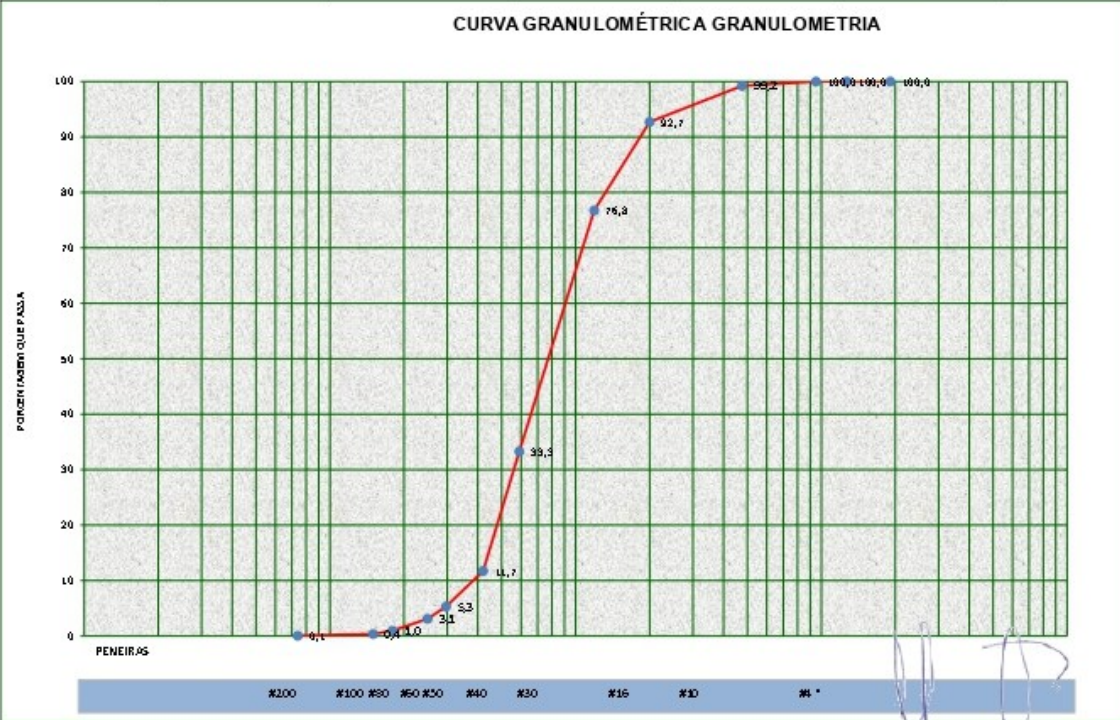
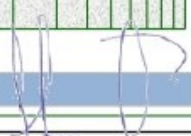
		ANÁLISE GRANULOMÉTRICA			
OBRA	TRECHO	CAMADA	PROCEDÊNCIA	DATA	
Welmix	-			03-09-20	
Local /Estaca:	MATERIAL	OPERADOR		REGISTRO	
Usina	Brita 1	Maxwel		01	
		PESO DA AMOSTRA	2150,00		
PENEIRA N°	PENEIRA (mm)	PESO (g)	% AMOSTRA	% ACUMULADA	% PASSANDO
1"	25,4	0,0	0,0	0,0	100,0
3/4"	19,1	106,1	4,9	4,9	95,1
1/2"	12,7	909,9	42,3	47,3	52,7
3/8"	9,52	497,6	23,1	70,4	29,6
1/4"	6,35	540,5	25,1	95,5	4,5
4	4,76	94,7	4,4	99,9	0,1
N°10	2	0,0	0,00	99,94	0,1
N°100	0,15	0,0	0,0	99,9	0,1
N°200	0,074	0,0	0,0	99,9	0,1
GRANULOMETRIA					
					
OBS:	<i>Material coletado no depósito da Usina</i>				

ANEXO E – DENSIDADE REAL DOS AGREGADOS


		DENSIDADE DOS AGREGADOS			
OBRA:	TRECHO:	MATERIAL:	DATA:		
-	Usina de Concreto - WELMIX	B-I / B-0 / Pó / Areia	03/09/20		
RODOVIA:	SUB-TRECHO:	APLICAÇÃO:			
-	-	Concreto			
AGREGADO GRAUADO ME 081/98					
BRITA 1	-	1	2	3	MÉDIA
Peso ao ar seco	(A)	1304,5	1430,1	1250,0	*
Peso ao ar Saturado sup. Seca	(B)	1335,0	1461,5	1280,4	*
Peso Imerso	(C)	860,0	945,0	825,0	*
Massa Específica Real	-	2,935	2,948	2,941	2,941
Massa Específica Aparente	-	2,746	2,769	2,745	2,753
Absorção	-	2,3	2,2	2,4	2,3
BRITA '0	-	1	2	3	MÉDIA
Peso ao ar seco	(A)	952,5	1435,5	1238,4	*
Peso ao ar Saturado sup. Seca	(B)	972,0	1465,8	1266,2	*
Peso Imerso	(C)	624,3	942,4	812,7	*
Massa Específica Real	-	2,902	2,911	2,909	2,907
Massa Específica Aparente	-	2,739	2,743	2,731	2,738
Absorção	-	2,0	2,1	2,2	2,1
AGREGADO MIUDO - ME 084/95					
PÓ DE PEDRA	-	1	2	3	MÉDIA
PESO DO PICNÔMETRO	g	166,1	166,1	166,1	*
PESO DO PICNÔM.+ AGREGADO	g	510,1	495	500,4	*
PESO DO AGREGADO	g	344	328,9	334,3	*
PESO DO PICNÔMETRO+ AGUA	g	662,7	662,7	662,7	*
PESO DA AGUA	g	496,6	496,6	496,6	*
PESO DO PIC.+ AGREGADO+AGUA	g	885,9	875,9	880,0	*
VOLUME DA AGUA NÃO DESCOLOCADA	cm³	375,8	380,9	379,6	*
VOLUME DA AGUA DESCOLOCADA	cm³	120,8	115,7	117	*
MASSA ESPECIFICA REAL	g/cm³	2,848	2,843	2,857	*
TEMPERATURA	C	23	23	23	*
FATOR DE CORREÇÃO	-	0,9993	0,9993	0,9993	*
MASSA ESPECIF. REAL CORRIGIDA	g/cm³	2,846	2,841	2,855	2,847
AREIA MEDIA	-	1	2	3	MÉDIA
PESO DO PICNÔMETRO	g	166,1	166,1	166,1	*
PESO DO PICNÔM.+ AGREGADO	g	481,3	490	482,2	*
PESO DO AGREGADO	g	315,2	323,9	316,1	*
PESO DO PICNÔMETRO+ AGUA	g	662,7	662,7	662,7	*
PESO DA AGUA	g	496,6	496,6	496,6	*
PESO DO PIC.+ AGREGADO+AGUA	g	856,9	861,9	857,5	*
VOLUME DA AGUA NÃO DESCOLOCADA	cm³	375,6	371,9	375,3	*
VOLUME DA AGUA DESCOLOCADA	cm³	121	124,7	121,3	*
MASSA ESPECIFICA REAL	g/cm³	2,605	2,597	2,606	*
TEMPERATURA	C	23	22	23	*
FATOR DE CORREÇÃO	-	0,9993	0,9996	0,9993	*
MASSA ESPECIF. REAL CORRIGIDA	g/cm³	2,603	2,596	2,604	2,601
AREIA FINA	-	1	2	3	MÉDIA
PESO DO PICNÔMETRO	g	166,1	166,1	166,1	*
PESO DO PICNÔM.+ AGREGADO	g	405,9	410,1	407,5	*
PESO DO AGREGADO	g	239,8	244,0	241,4	*
PESO DO PICNÔMETRO+ AGUA	g	662,7	662,7	662,7	*
PESO DA AGUA	g	496,6	496,6	496,6	*
PESO DO PIC.+ AGREGADO+AGUA	g	817,0	819,6	818,1	*
VOLUME DA AGUA NÃO DESCOLOCADA	cm³	411,1	409,5	410,6	*
VOLUME DA AGUA DESCOLOCADA	cm³	85,5	87,1	86	*
MASSA ESPECIFICA REAL	g/cm³	2,805	2,801	2,807	*
TEMPERATURA	C	23	22	23	*
FATOR DE CORREÇÃO	-	0,9993	0,9996	0,9993	*
MASSA ESPECIF. REAL CORRIGIDA	g/cm³	2,803	2,800	2,805	2,803

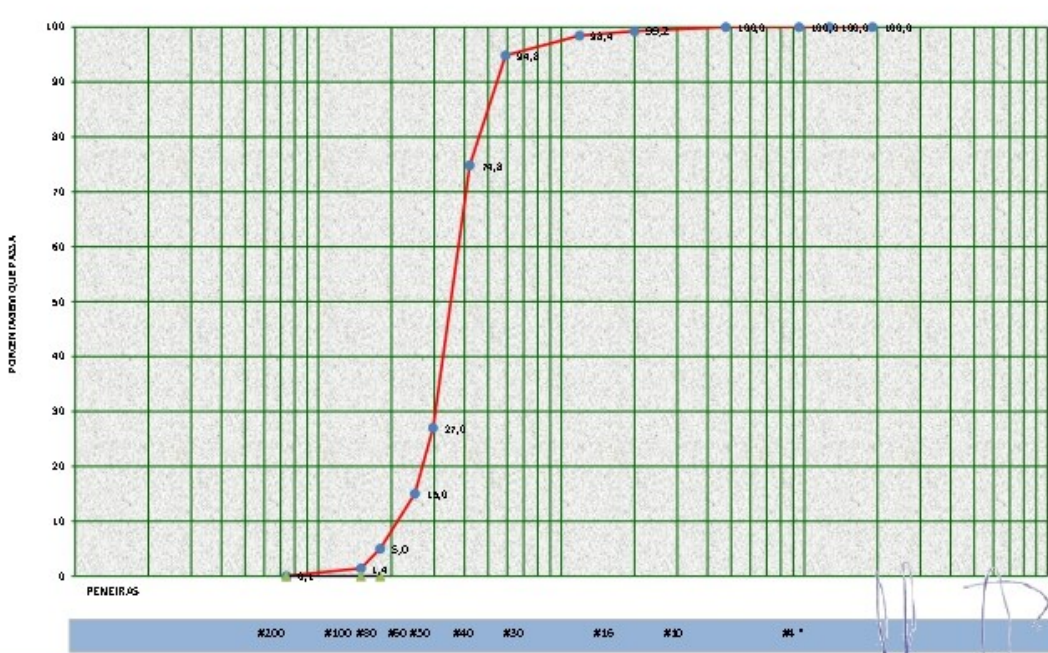
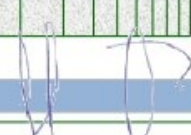
ANEXO F – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA AREIA MÉDIA

		ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DNER ME 080/974																							
Obra: USINA WELMIX		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">RESUMO DA GRANULOMETRIA EM %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Trecho:</td> <td>100,0</td> <td>Material passando na # n° 1"</td> </tr> <tr> <td>Subtrecho:</td> <td>100,0</td> <td>Material passando na # n° 3/8"</td> </tr> <tr> <td>Serviço:</td> <td>99,2</td> <td>Material passando na # n° 4</td> </tr> <tr> <td>Amostra: Areia Média</td> <td>92,7</td> <td>Material passando na # n° 10</td> </tr> <tr> <td>Local/Estaca/Furo:</td> <td>11,7</td> <td>Material passando na # n° 40</td> </tr> <tr> <td>Camada:</td> <td>0,1</td> <td>Material passando na # n° 200</td> </tr> </tbody> </table>				RESUMO DA GRANULOMETRIA EM %		Trecho:	100,0	Material passando na # n° 1"	Subtrecho:	100,0	Material passando na # n° 3/8"	Serviço:	99,2	Material passando na # n° 4	Amostra: Areia Média	92,7	Material passando na # n° 10	Local/Estaca/Furo:	11,7	Material passando na # n° 40	Camada:	0,1	Material passando na # n° 200
RESUMO DA GRANULOMETRIA EM %																									
Trecho:	100,0					Material passando na # n° 1"																			
Subtrecho:	100,0					Material passando na # n° 3/8"																			
Serviço:	99,2					Material passando na # n° 4																			
Amostra: Areia Média	92,7					Material passando na # n° 10																			
Local/Estaca/Furo:	11,7					Material passando na # n° 40																			
Camada:	0,1	Material passando na # n° 200																							
Responsável: Velmat Engenharia DATA: 03/09/2020 OPERADOR: Equipe																									
Amostra menor que 10		AMOSTRA TOTAL SECA		UMIDADE E HIGROSCÓPICA		RESUMO																			
A amostra Total Úmida (g)		2010,0	Cápsula N°	10	Pedregulho Actua 4,8 mm		0,8																		
Retido N° 10 (g)		129,7	Cápsula+Solo+Água (g)	100,00	Grossa 4,8 - 2,0 mm		6,5																		
Recipiente N°		Passado N° 10 úmida (g)	1890,3	Cápsula+Solo (g)	98,35	Média 2,0 - 0,42 mm		81,0																	
Peso da água (g)		18,3	Cápsula (g)	14,31	Fina N° 40 - 200		11,7																		
Retido Peneira N° 10		Passado N° 10 seca (g)	1862,0	Água (g)	1,65	Passando N° 200		0,1																	
A amostra Total seca		1861,7	Solo (g)	84,04	TOTAL		100,0																		
Recipiente N°		Amostra menor N° 10 úmida (g)	8,4	Umidade (%)	2,0	Retido N° 10 - 200		92,6																	
Amostra menor N° 10 seca (g)		8,2	FATOR CORREÇÃO	0,981	ÍNDICE DE GRUPO		-																		
		MATERIAL RETIDO		CLASSIFICAÇÃO HRB		-																			
PENEIRA	PESO (g)	PORC. DA AMOSTRA MENOR N° 10	PORCENTAGEM DA AMOSTRA TOTAL	PORCENTAGEM ACUMULADA	PORC. QUE PASSA DA AMOSTRA TOTAL	PENEIRA (mm)																			
N° 4	15,30		0,8	0,8	99,2	4,75																			
N° 10	129,73		6,5	7,3	92,7	2,00																			
N° 16	317,68		15,9	23,2	76,8	1,18																			
N° 30	865,77		43,5	66,7	33,3	0,60																			
N° 40	429,25		21,6	88,3	11,7	0,42																			
N° 50	128,03		6,4	94,7	5,3	0,30																			
N° 60	43,89		2,2	96,9	3,1	0,25																			
N° 80	42,88		2,2	99,0	1,0	0,18																			
N° 100	11,48		0,6	99,6	0,4	0,15																			
N° 200	6,21		0,3	99,9	0,1	0,075																			

CURVA GRANULOMÉTRICA GRANULOMETRIA	
	<p>OBSERVAÇÕES:</p> <p style="text-align: center;">MAXWEL</p> <p style="text-align: center;">Técnico de laboratório</p> <p style="text-align: right;">  Ilceu de Lima Bastos Resp. Téc. VELMAT CREA-MG 32011/O Responsável Técnico Velmat </p>

ANEXO G – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA AREIA FINA

		ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DNER ME 080/974				
Obra: USINA WELMIX		RESUMO DA GRANULOMETRIA EM %				
Trecho:						
Subtrecho:		100,0	Material passando na # n° 1"			
Serviço:		100,0	Material passando na # n° 3/8"			
Amostra: AREIA FINA		100,0	Material passando na # n° 4			
Local/Estaca/Furo:		99,2	Material passando na # n° 10			
Carrada:		74,8	Material passando na # n° 40			
Responsável: Velmat Engenharia DATA: 03/09/2020 OPERADOR: Equipe		0,1	Material passando na # n° 200			
Amostra menor que 10	AMOSTRA TOTAL SECA		UMIDADE HIGROSCÓPICA		RESUMO	
	Amostra Total Úmida (g)	2020,0	Cápsula N°	5	Pedregulho Acima 4,8 mm	0,0
Recipiente N°	Retido N° 10 (g)	15,2	Cápsula+Solo+Água (g)	90,30	Grossa 4,8 - 2,0 mm	0,8
	Passado N° 10 úmida (g)	2004,8	Cápsula+Solo (g)	90,18	Média 2,0 - 0,42 mm	24,4
Retido Peneira N° 10	Peso da água (g)	19,8	Cápsula (g)	12,87	Fina N° 40 - 200	74,8
	Passado N° 10 seca (g)	1985,0	Água (g)	0,12	Passando N° 200	0,1
Recipiente N°	Amostra Total seca	2000,2	Solo (g)	77,31	TOTAL	100,0
	Amostra menor N° 10 úmida (g)	8,4	Umidade (%)	0,2	Retido N° 10 - 200	99,2
	Amostra menor N° 10 seca (g)	8,4	FATOR CORREÇÃO	0,388	ÍNDICE DE GRUPO	-
MATERIAL RETIDO					CLASSIFICAÇÃO HRE	
PENEIRA	PESO (g)	PORC. DA AMOSTRA MENOR N° 10	PORCENTAGEM DA AMOSTRA TOTAL	PORCENTAGEM ACUMULADA	PORC. QUE PASSA DA AMOSTRA TOTAL	PENEIRA (mm)
N° 4	0,00		0,0	0,0	100,0	4,75
N° 10	15,17		0,8	0,8	99,2	2,00
N° 16	15,98		0,8	1,6	98,4	1,18
N° 30	71,88		3,6	5,2	94,8	0,60
N° 40	400,74		20,0	25,2	74,8	0,42
N° 50	955,83		47,8	73,0	27,0	0,30
N° 60	239,80		12,0	85,0	15,0	0,25
N° 80	200,69		10,0	95,0	5,0	0,18
N° 100	71,10		3,6	98,6	1,4	0,15
N° 200	27,80		1,4	99,9	0,1	0,075

CURVA GRANULOMÉTRICA GRANULOMETRIA	
	

OBSERVAÇÕES:	MAXWEL	Ilceu de Lima Bastos
	Técnico de laboratório	Resp. Téc. VELMAT CREA-MG 32011/D Responsável Técnico Velmat

ANEXO H – CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DA PRENSA

 TÉCNICA PARAÍSO www.tecnicaparaíso.com.br	Técnica Paraíso Ltda - EPP CNPJ: 01.505.987/0001-69 IE: 244.411.531.115 R. Doutor Sylvio Carvalhaes, 874 Jd. Campos Elíseos - Campinas -SP Fone: (19) 3227-4408 E-mail: tecnico@tecnicaparaíso.com.br	

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº I-0751/20

Tipo do Equipamento: Equip. p/ Ensaios de Compressão (Prensa)	Marca: Emic/Novus	Modelo: PCE/N1500LC
Especif. : Bomba elétrica/Indicador digital	Número: 510	Faixa de medição: 0 a 100000 kgf Resolução: 10 kgf

TABELA DE RESULTADOS
(Valores em kgf)

Carga Aplicada (padrão)	Leituras (kgf)			Carga nominal média (kgf)	Erro:	
	1ª	2ª	3ª		Exatidão(%) †	Repetibilidade(%)
0	0	0	0	0	0	0
10000	10040	10040	10040	10040	0,40	0,00
20000	19950	19950	19950	19950	0,25	0,00
30000	29850	29850	29850	29850	0,50	0,00
40000	39770	39770	39770	39770	0,57	0,00
50000	49600	49600	49600	49600	0,80	0,00

Procedimento de Calibração Interno PC - 14 - TP.

Calibração efetuada conforme procedimento prescrito pela norma NM ISO 7500-1.

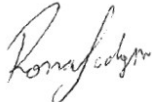
Padrão utilizado para calibração.

Célula de carga com indicador digital calibrado pelo Laboratório IPT - Instituto de pesquisas Tecnológicas sob nº 174 717-101 com validade até 01/08/2021.

Laboratório IPT - Instituto de pesquisas Tecnológicas nº Cal 0003, NBR ISO/IEC 17025.

Obs.: Os resultados apresentados neste certificado tem significação restrita e referem-se exclusivamente ao material em questão.

Este documento somente poderá ser reproduzido integralmente sem alteração.

Cliente: W & C Comércio de Concreto Ltda	Data: 01/08/2020
Local: Uberlândia/MG	
Observação:	
Técnico Responsável:  Rossano Sardagna CFT/CRT SP - 26148459817	Carimbo da Empresa: 