

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

NELSON DE SOUZA FERREIRA

**ESTUDO DE CASO PARA SELEÇÃO DE ADITIVO REDUTOR DE
ÁGUA PARA CONCRETO COM BASE EM ESTUDOS DE
PROPRIEDADES DE ARGAMASSA**

FLORIANÓPOLIS, 2024.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

NELSON DE SOUZA FERREIRA

**ESTUDO DE CASO PARA SELEÇÃO DE ADITIVO REDUTOR DE
ÁGUA PARA CONCRETO COM BASE EM ESTUDOS DE
PROPRIEDADES DE ARGAMASSA**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido
ao Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Santa Catarina como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Engenheiro Civil.

Orientador:
Prof. Gustavo Rodolfo Perius.

FLORIANÓPOLIS, 2024.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Ferreira, Nelson

ESTUDO DE CASO PARA SELEÇÃO DE ADITIVO REDUTOR DE ÁGUA PARA CONCRETO COM BASE EM ESTUDOS DE PROPRIEDADES DE ARGAMASSA / Nelson Ferreira; orientação de Gustavo Rodolfo Perius. - Florianópolis, SC, 2024. 49 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado em Engenharia Civil. Departamento Acadêmico de construção Civil.

Inclui Referências.

1. Método em argamassa. 2. Aditivo plastificante.
3. Concreto. 4. Redutor de água. 5. Central dosadora de concreto. I. Rodolfo Perius, Gustavo. II. Instituto Federal de Santa Catarina. III. ESTUDO DE CASO PARA SELEÇÃO DE ADITIVO REDUTOR DE ÁGUA PARA CONCRETO COM BASE EM ESTUDOS DE PROPRIEDADES DE ARGAMASSA

**ESTUDO DE CASO PARA SELEÇÃO DE ADITIVO REDUTOR DE ÁGUA PARA
CONCRETO COM BASE EM ESTUDOS DE PROPRIEDADES DE ARGAMASSA**

NELSON DE SOUZA FERREIRA

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 2024.

Banca Examinadora:

Prof. Me. Gustavo Rodolfo Perius, Orientador.
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Prof^a Dr^a. Luciana Maltez Calçada.
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Prof. Me. Sergio Parizotto Filho.
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

RESUMO

A pasta de cimento é originada pela combinação do cimento com a água. A inclusão do agregado miúdo, como a areia, conduz à formação da argamassa de cimento. Ao introduzir o agregado graúdo, como a pedra britada ou seixos rolados, é constituído o concreto simples. Aperfeiçoando ainda mais o desempenho do concreto, aditivos são incorporados a essa mistura. Esses aditivos desempenham um papel crucial na otimização eficiente e na redução dos custos finais do concreto, sendo responsáveis pela melhoria de diversas propriedades físicas e químicas, como o controle do desenvolvimento da resistência e a consistência do material. Em vista do aprimoramento de desempenho proporcionado pelos aditivos, as centrais dosadoras de concreto recebem, constantemente, diferentes tipos desses componentes, provenientes de indústrias químicas, destinados a testes em laboratório. Nesse contexto, para manter a competitividade do concreto no mercado da construção civil, é essencial realizar ensaios e experimentos para avaliar qual produto mais eficaz. As concreteiras, portanto, demandam tempo para conduzir esses procedimentos. Este trabalho fundamentou-se no método proposto por Martins (2005), que visava desenvolver testes em argamassa utilizando aditivos redutores de água. O objetivo é investigar a perda de abatimento que ocorre no concreto ao longo do tempo e obter informações que estabeleçam correlações entre os testes realizados em concreto e argamassa. Dessa forma, busca-se verificar a relação entre o ensaio de consistência do concreto, abatimento de tronco de cone (Slump test), segundo NBR 16889:2020, e o ensaio de argamassa, índice de consistência pela mesa de abatimento, além de estudar a correlação entre os ensaios de resistência para 7 e 28 dias tanto para o concreto quanto para a argamassa, utilizando o mesmo tipo de cimento.

Palavras-chave: Método em argamassa, Aditivo plastificante, Concreto, Redutor de água, Central dosadora de concreto.

ABSTRACT

Cement paste is originated by the combination of cement with water. The inclusion of fine aggregate, such as sand, leads to the formation of cement mortar. By introducing coarse aggregate, such as crushed stone or rounded pebbles, plain concrete is constituted. Further enhancing concrete performance, additives are incorporated into this mixture. These additives play a crucial role in efficiently optimizing and reducing the final costs of concrete, being responsible for improving various physical and chemical properties, such as controlling strength development and material consistency. In view of the performance enhancement provided by additives, concrete batching plants constantly receive different types of these components from chemical industries for laboratory testing. In this context, to maintain concrete competitiveness in the construction market, it is essential to conduct tests and experiments to evaluate which product is most effective. Concrete producers, therefore, require time to conduct these procedures. This work was based on the method proposed by Martins (2005), which aimed to develop tests on mortar using water-reducing additives. The goal is to investigate the slump loss that occurs in concrete over time and obtain information that establishes correlations between tests conducted on concrete and mortar. Thus, it seeks to verify the relationship between the concrete consistency test, slump test (according to NBR 16889:2020), and the mortar test, consistency index by the slump table, as well as to study the correlation between the strength tests for 7 and 28 days for both concrete and mortar, using the same type of cement.

Keywords: Mortar Method, Plasticizing Additive, Concrete, Water Reducer, Concrete, Batching Plant.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema floculado e sistema de dispersão eficiente antes e depois do aditivo22	
Figura 2 - Fluxograma do método	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Designação normalizada, sigla e classe do cimento Portland.....	14
Tabela 2 – Limites da composição granulométrica do agregado graúdo	16
Tabela 3 – Categorias, dimensões e máximo diâmetro característico dos agregados graúdos	17
Tabela 4 – Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo.....	17
Tabela 5 – Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo.....	18
Tabela 6 – Requisitos gerais de aditivo.....	22
Tabela 7 - Especificações e Validade	31
Tabela 8 - Especificações e Validade	32
Tabela 9 – Resultados médios das análises físicas, químicas e mecânicas do CP II-F-40	33
Tabela 10 - Resultado dos ensaios de caracterização.....	34
Tabela 11 - Composição do traço de concreto.....	36
Tabela 12 – Consistência da argamassa com aditivo A e aditivo B	40
Tabela 13 – Dados obtidos da argamassa com aditivo A e aditivo B.....	42
Tabela 14 – Dados obtidos do concreto com aditivo A e aditivo B.....	44

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva granulométrica Areia Natural	Erro! Indicador não definido.
Gráfico 2 – Curva granulométrica Areia Industrial.....	46
Gráfico 3 – Curva granulométrica brita 0.....	47
Gráfico 4 – Curva granulométrica brita 1.....	47
Gráfico 5 – Consistência da argamassa com aditivo A.....	49
Gráfico 6 – Consistência da argamassa com aditivo B.....	49
Gráfico 7 – Resistência à compressão Argamassa aditivo A.....	50
Gráfico 8 – Resistência à compressão Argamassa aditivo B.....	51
Gráfico 9 – Resistência à compressão Concreto aditivo A.....	52
Gráfico 10 – Resistência à compressão Concreto aditivo B.....	52
Gráfico 11 – Consistência do concreto com aditivo A e com aditivo B.....	53

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	
1.1	Justificativa	11
1.2	OBJETIVOS	12
1.2.1	Objetivo Geral	12
1.2.2	Objetivos Específicos	12
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	CIMENTO PORTLAND	14
2.2	AGREGADOS	16
2.2.1	Agregado graúdo	16
2.2.2	Agregado miúdo	18
2.3	ÁGUA DE AMASSAMENTO	19
2.4	ADITIVOS	20
2.4.1	Definição	20
2.4.2	Classificação	21
2.4.2.1	<i>Aditivo redutor de água plastificante</i>	21
2.4.3	Requisitos Gerais	23
2.5	PROPRIEDADES DO CONCRETO	24
2.5.1	Propriedades do concreto no estado fresco	24
2.5.1.1	<i>Consistência e trabalhabilidade</i>	24
2.5.1.2	<i>Segregação e Exsudação</i>	25
2.5.2	Propriedades do concreto no estado endurecido	26
2.5.2.1	<i>Resistência à compressão</i>	26
2.5.3	Fatores que influenciam as propriedades do concreto	27
2.5.3.1	<i>Relação água/cimento</i>	27
2.5.3.2	<i>Temperatura</i>	27
2.6	DOSAGEM DO CONCRETO	28
2.6.1	Método de dosagem de Martins (2005)	29
3	MÉTODO	29
3.1	Fluxograma	30
3.2	Equipamentos Utilizados	31
3.3	Materiais utilizados	37
3.3.1	Aditivos	37
3.3.2	Agregados graúdos	38
3.3.3	Agregados miúdos	38
3.3.4	Aglomerante	38
3.4	TRAÇO E ENSAIOS REALIZADOS	40
3.5	Argamassa	42
4	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	43
5	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	48
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
6.1	Sugestões para trabalhos futuros	55
	REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

Os materiais cimentícios, fundamentais para o progresso da construção civil, têm sido empregados ao longo da história, remontando às civilizações antigas. Segundo Neville (2016), os antigos Egípcios utilizavam gesso impuro, enquanto gregos e romanos empregavam calcário calcinado, e posteriormente aprenderam a incorporar areia, pedra fragmentada, ou fragmentos de tijolos e telhas ao calcário e à água, resultando no que é reconhecido como o primeiro concreto da história.

Com o avanço da sociedade, houve uma busca constante pelo aprimoramento da composição do concreto, o qual é composto atualmente por aglomerante, água, agregado miúdo, agregado graúdo e aditivos.

Dessa maneira, o aditivo torna-se um componente essencial no concreto, conforme indicado por Mehta e Monteiro (2008). A incorporação de aditivos no concreto, segundo os autores, proporciona uma diversidade de benefícios, incluindo aprimoramento da trabalhabilidade, aceleração ou prolongamento do tempo de pega, controle do desenvolvimento da resistência, melhoria da resistência à ação do gelo, à fissuração térmica, à expansão álcali-agregado, e a soluções ácidas e sulfatadas. Desta forma, a utilização de aditivos revela uma vantagem significativa ao proporcionar uma ampla variedade de aplicações por meio da modificação das propriedades do concreto.

Devido às alterações promovidas pelos aditivos e ao reconhecimento de sua indispensabilidade na construção civil, tornando-se uma parte essencial na produção de concreto, as centrais dosadoras de concreto demandam equipamentos e métodos otimizados em laboratório para proporcionar um concreto com o melhor desempenho. Visando a realização de ensaios tecnológicos com maior agilidade e precisão, atendendo à demanda de testar os diversos tipos de aditivos constantemente fornecidos. Esses procedimentos tem o intuito de proporcionar uma seleção eficiente e rápida do aditivo mais adequado, sempre em conformidade com as diretrizes vigentes da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

A produção do concreto dosado em central deve estar em conformidade com as prescrições da NBR 7212:2022, abrangendo o armazenamento de materiais, dosagem, mistura, transporte, recebimento, controle de qualidade, inspeção,

aceitação e rejeição. Além disso, a NBR 11768:2019 estabelece os requisitos para aditivos químicos destinados ao preparo de concreto de cimento Portland.

Diante das exigências normativas, as organizações do setor de concreto têm direcionado crescentes investimentos em controle tecnológico, visando a otimização das composições de concreto com a inclusão de aditivos. Esses investimentos têm como objetivo não apenas incrementar a rentabilidade da empresa, mas também aprimorar a qualidade do produto final.

1.1 Justificativa

Há uma crescente busca pela qualidade do concreto na construção civil, impulsionada por processos mais eficientes e novos requisitos de durabilidade e desempenho estrutural. Isso tem promovido um aumento significativo na utilização de concreto dosado em central, devido ao aprimorado controle sobre os materiais constituintes do concreto, bem como a supervisão da sua trabalhabilidade no estado fresco e da resistência à compressão no estado endurecido. Contudo, a elevada demanda por diversos tipos de aditivos que são ofertados para avaliação nas concreteiras tem gerado a necessidade de realizar um volume expressivo de ensaios em laboratório.

Nesse contexto, as centrais de concreto enfrentam o desafio constante de alcançar resultados que favoreçam tanto o lucro quanto a qualidade do concreto, sendo os aditivos componentes essenciais nesse cenário. Assim, diante da contínua demanda por aditivos nas concreteiras, surge a necessidade de conduzir diversos ensaios e testes em concreto, demandando considerável tempo, materiais e mão de obra.

Diante do volume de aditivos ofertados para a concreteiras, a grande demanda de tempo para execução de testes de aditivos em concreto e a necessidade de constantemente buscar a melhor relação custo x benefício para o concreto, o objetivo deste trabalho é testar um método em argamassa, conforme proposto na pesquisa de Martins (2005), com o propósito é otimizar o processo de seleção de aditivos, proporcionando uma abordagem mais eficiente e rápida na escolha do produto mais adequado para as centrais de concreto. Essa abordagem visa contribuir

para a solução dos problemas enfrentados pelas centrais, minimizando o tempo, os recursos materiais e a mão de obra envolvidos nesse processo de seleção.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O principal objetivo deste estudo é replicar a pesquisa conduzida por Martins (2005) com a finalidade de aprimorar os procedimentos de dosagem com a incorporação de aditivos redutores de água. Com base nisso, a proposta consiste em realizar ensaios de consistência e resistência em argamassa e concreto, com o uso de um traço específico de concreto, a fim de analisar se os resultados das propriedades da argamassa podem servir como uma pré-seleção de aditivos redutores de água a serem empregados no concreto. Dessa forma, a intenção é realizar uma comparação entre dois aditivos distintos, visando determinar qual deles apresentará um desempenho superior no contexto do concreto.

1.2.2 Objetivos Específicos

O objetivo específico deste trabalho será descrito a seguir:

1. Validar o traço de concreto disponibilizado pela concreteira, certificando se o teor de argamassa, a consistência e a quantidade de aditivo condizem com o que foi disponibilizado.
2. Avaliar uma possível relação entre o ensaio de consistência do concreto (Slump Test) e o de argamassa (Flow Table), buscando proporcionar uma análise de desempenho dos aditivos redutores de água.
3. Analisar a possível correlação entre as propriedades no estado endurecido de argamassas e concretos, por meio de ensaios de resistência à compressão, visando à avaliação de desempenho desses aditivos.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho divide-se em quatro capítulos, tendo como capítulo inicial a explicação de como é composto atualmente o concreto e como os aditivos são essenciais para a composição do concreto, descrevendo suas ações durante a mistura e quais as propriedades no concreto. Esse primeiro capítulo ressalta também a importância das concreteiras em realizar investimentos nos departamentos tecnológico, a fim de otimizar os ensaios e procedimentos realizados em laboratório. E por fim dessa primeira parte, são relatados os objetivos gerais e específicos que serão abordados.

No segundo capítulo descreve de forma mais detalhada os principais componentes do concreto, como o cimento, os agregados, água e aditivos, como também suas propriedades, tanto no estado fresco como no estado endurecido e alguns princípios da dosagem do concreto.

Na terceira parte apresenta-se o método que será desenvolvido no trabalho. São apresentados os materiais utilizados para a realização dos traços, como também, os componentes para a mistura do concreto, demonstrando as caracterizações e suas propriedades. Também é abordado o método utilizado para os ensaios em argamassa.

E por fim, serão demonstrados os resultados obtidos do desempenho dos aditivos e os comparativos entre as misturas a fim de encontrar uma correlação entre elas, como também, destacar nas considerações finais as conclusões fundamentais derivadas dos experimentos realizados e resultados obtidos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CIMENTO PORTLAND

Na construção civil, o cimento Portland é o componente essencial utilizado como aglomerante na produção de concreto, conforme definido pela ABNT NBR 16697:2018: "Ligante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland, ao qual se adiciona, durante a fabricação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio e adições minerais nos teores estabelecidos".

Diante desse aglomerante específico para o concreto, diversos tipos de cimentos Portland estão disponíveis, cada um caracterizado por composições e propriedades distintas. Essas variações são identificadas por meio de siglas, classes e sufixos, conforme detalhado na tabela 1.

Tabela 1 - Designação normalizada, sigla e classe do cimento Portland

Designação normalizada (tipo)	Subtipo	Sigla	Classe de resistência	Sufixo
Cimento Portland comum	Sem adição	CP I	25, 32 ou 40 ^c	RS ^a ou BC ^b –
	Com adição	CP I-S		
Cimento Portland composto	Com escória granulada de alto forno	CP II-E		
	Com material carbonático	CP II-F		
	Com material pozolânico	CP II-Z		
Cimento Portland de alto-forno		CP III		
Cimento Portland pozolânico		CP IV		
Cimento Portland de alta resistência inicial		CP V	ARI ^d	
Cimento Portland branco	Estrutural	CPB	25, 32 ou 40 ^c	
	Não estrutural	CPB	–	–

a O sufixo RS significa resistente a sulfatos e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos em 5.3, além dos requisitos para seu tipo e classe originais.

b O sufixo BC significa baixo calor de hidratação e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos em 5.4, além dos requisitos para seu tipo e classe originais.

c As classes 25, 32 e 40 representam os valores mínimos de resistência à compressão aos 28 dias de idade, em megapascals (MPa), conforme método de ensaio estabelecido pela ABNT NBR 7215.

d Cimento Portland de alta resistência inicial, CP V, que apresenta a 1 dia de idade resistência igual ou maior que 14 MPa, quando ensaiado de acordo com a ABNT NBR 7215 e atende aos demais requisitos estabelecidos nesta Norma para esse tipo de cimento.

Fonte: ABNT NBR 16697 (2018)

De acordo com as orientações da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) em seu "Guia Básico de Utilização do Cimento Portland" (7.ed., São Paulo, 2002), o cimento Portland, inicialmente representado pelo CP I, é um aglomerante comum sem adições significativas além do gesso, utilizado como regulador da pega. No contexto dos cimentos compostos, como CP II-E, CP II-Z e CP II-F, pertencentes à categoria de Cimento Portland Composto, cada tipo apresenta características específicas. O CP II-E incorpora escória de alto-forno, sendo indicado para resistência moderada a sulfatos. Por sua vez, o CP II-Z contém adições pozolânicas e oferece resistência a sulfatos, enquanto o CP II-F inclui fíler calcário

para propriedades específicas. Além disso, cimentos de alto forno e pozolânicos, ao alterarem a microestrutura do concreto, promovem benefícios como a redução de permeabilidade e porosidade, contribuindo para a estabilidade e durabilidade do material. O CP V-ARI, destacado pelo desenvolvimento rápido de resistência inicial, aliada à moagem mais fina do cimento, resultando em elevadas resistências com maior rapidez.

2.2 AGREGADOS

Os agregados desempenham um papel essencial na formulação do concreto, constituindo-se como componentes fundamentais que influenciam diretamente suas propriedades físicas e mecânicas. Sejam eles grãos ou miúdos, os agregados contribuem significativamente para propriedades essenciais, como resistência, durabilidade e trabalhabilidade do concreto. Uma análise sobre os agregados torna-se fundamental para a compreensão e atendimento aos requisitos de dosagem do concreto, garantindo a eficiência e durabilidade das estruturas construídas.

Dessa maneira, conforme Mehta e Monteiro (2008), a fase agregado é a principal influenciadora da massa específica, do módulo de elasticidade e da estabilidade dimensional do concreto. Essas propriedades, por sua vez, são predominantemente influenciadas pela massa específica, resistência e módulo de elasticidade do agregado. Além disso, fatores como a escolha dos tipos de agregados, sua granulometria, forma e distribuição dos grãos e poros impactam diretamente no desempenho e na qualidade do concreto.

Sendo assim, os agregados do concreto podem ser classificados em agregados grãos e miúdos, de acordo com sua composição granulométrica.

2.2.1 Agregado grão

Conforme determinado pela norma ABNT NBR 7211:2022, os agregados grãos são caracterizados como partículas que conseguem atravessar a peneira com abertura de malha de 75 mm, mas que ficam retidas na peneira com abertura de

malha de 4,75 mm e, dessa maneira, a classificação conforme distribuição granulométrica se dá de acordo com os limites indicados na tabela 2.

Tabela 2 – Limites da composição granulométrica do agregado graúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada				
	Zona granulométrica d/D ^a				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
75 mm	-	-	-	-	0 - 5
63 mm	-	-	-	-	5 - 30
50 mm	-	-	-	0 - 5	75 - 100
37,5 mm	-	-	-	5 - 30	90 - 100
31,5 mm	-	-	0 - 5	75 - 100	95 - 100
25 mm	-	0 - 5	5 - 25 ^b	87 - 100	-
19 mm	-	2 - 15 ^b	65 ^b - 95	95 - 100	-
12,5mm	0 - 5	40 ^b - 65 ^b	92 - 100	-	-
9,5 mm	2 - 15 ^b	80 ^b - 100	95 - 100	-	-
6,3mm	40 ^b - 65 ^b	92 - 100	-	-	-
4,75 mm	80 ^b - 100	95 - 100	-	-	-
2,36 mm	95 - 100	-	-	-	-

^a Zona granulométrica correspondente à menor (d) e a maior (D) dimensões do agregado graúdo.

^b Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo cinco unidades percentuais em apenas um dos limites marcados com 2). Essa variação pode também estar distribuída em vários desses limites.

Fonte: ABNT NBR 7211 (2022)

De acordo com Fusco (2008), no âmbito do comércio, são reconhecidas diversas categorias de brita, levando em consideração a faixa de tamanhos predominantes de seus grãos e os diâmetros característicos (máximos) associados a cada categoria como é demonstrado na tabela 3.

Tabela 3 – Categorias, dimensões e máximo diâmetro característico dos agregados graúdos

Categoria	Dimensões (mm)	Máximo diâmetro característico (mm)
Brita 0	4,8 - 9,5	9,5
Brita 1	9,5 - 19	19
Brita 2	19 - 25	25
Brita 3	25 - 50	50
Brita 4	50 - 76	76
Brita 5	76 - 100	100

Fonte: Fusco (2008)

2.2.2 Agregado miúdo

Conforme as orientações presentes na norma ABNT NBR 7211:2022, os agregados miúdos são caracterizados como partículas que passam pela peneira com abertura de malha de 4,75mm, e sua classificação com relação a distribuição granulométrica esteja em conformidade com os limites especificados na tabela 4.

Tabela 4 – Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

NOTA 1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.

NOTA 2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20

NOTA 3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50

Fonte: ABNT NBR 7211 (2022)

Segundo Fusco (2008), para obter uma avaliação abrangente da composição granulométrica da areia, é definido o módulo de finura (MF) como a soma das frequências relativas acumuladas obtidas no ensaio de peneiramento normal. Ou seja, trata-se da soma das porcentagens retidas acumuladas em massa do agregado, dividida por 100 e a classificação pode ser verificada na tabela 5.

Tabela 5 – Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo

	Módulo de finura
Areia grossa	MF > 3,9
Areia média	2,4 < MF < 3,9
Areia fina	MF < 2,4

Fonte: Fusco (2008)

2.3 ÁGUA DE AMASSAMENTO

A água de amassamento desempenha um papel importante na composição e comportamento do concreto, sendo vital para a criação da mistura e a subsequente reação química que determina sua resistência e durabilidade. A relação água-cimento, porém, necessita de controle, uma vez que exerce impacto direto nas propriedades finais do material, influenciando significativamente sua qualidade e desempenho.

Segundo Mehta e Monteiro (2008), que citam Brunauer e Copeland, a química do concreto se caracteriza pela interação entre o cimento Portland e a água, conhecida como hidratação do cimento.

De acordo com Neville (2013), a influência da qualidade da água no comportamento do concreto é fundamental. O autor destaca que as impurezas presentes na água têm o potencial de afetar negativamente fatores críticos, como a resistência do concreto e a possibilidade de corrosão da armadura. Dessa forma, ele ressalta a importância de direcionar a atenção não apenas à qualidade da água

utilizada durante o amassamento do concreto, mas também durante o processo de cura. Neville enfatiza que esses cuidados são essenciais para assegurar a durabilidade e o desempenho adequado do material.

Outra abordagem sobre água de amassamento é especificada segundo a NBR 15900:2009, que estabelece que a água só pode ser utilizada no concreto se for devidamente comprovada sua adequação.

2.4 ADITIVOS

2.4.1 Definição

Os aditivos desempenham um papel essencial na engenharia de concreto, oferecendo uma gama diversificada de propriedades e características que podem ser ajustadas conforme as necessidades específicas de uma aplicação. Essas substâncias, adicionadas em pequenas quantidades à mistura de concreto, têm o potencial de aprimorar significativamente diversas propriedades do material, desde o momento da mistura até a fase final de endurecimento.

Em primeiro lugar, os aditivos podem influenciar o tempo de pega do concreto, modificando a taxa de endurecimento. Isso é crucial em projetos que exigem tempos específicos para moldagem, transporte e colocação do concreto. Além disso, eles desempenham um papel fundamental na trabalhabilidade da mistura, melhorando a capacidade de moldagem e conformação durante o processo de construção. A resistência e durabilidade do concreto também podem ser aprimoradas por meio da incorporação de aditivos. A capacidade de ajustar as propriedades do concreto, como a viscosidade e a fluidez, permite uma adaptação mais precisa às necessidades específicas de cada aplicação.

De acordo com a NBR 11768:2019, aditivos para concretos são substâncias adicionadas durante o processo de preparação do concreto, em proporções que não excedam 5% da massa do material cimentício presente na mistura. Esses aditivos têm como finalidade alterar as propriedades do concreto tanto no estado fresco quanto no estado endurecido.

2.4.2 Classificação

Com o propósito de aprimorar as características do concreto, uma variedade de aditivos foi desenvolvida, cada um desempenhando funções específicas, conforme detalhado pela norma NBR 11768:2019. Estes aditivos abrangem categorias como: redutor de água plastificante, alta redução de água superplastificante tipo I, alta redução de água superplastificante tipo II, incorporador de ar, acelerador de pega, acelerador de resistência, retardador de pega. Contudo, para os propósitos deste trabalho, a atenção recai sobre o aditivo redutor de água plastificante. A discussão a seguir concentrar-se-á especificamente neste aditivo, destacando suas características e implicações para o desempenho do concreto.

2.4.2.1 Aditivo redutor de água plastificante

Os aditivos plastificantes representam uma classe essencial na moderna tecnologia do concreto, desempenhando um papel significativo na melhoria de suas propriedades. Essas substâncias são adicionadas à mistura de concreto com o intuito de melhorar sua trabalhabilidade, aumentar sua plasticidade e reduzir a quantidade de água necessária, sem comprometer as características finais do material.

Os aditivos plastificantes são capazes de dispersar as partículas de cimento de forma eficiente, reduzindo a necessidade de água para alcançar uma consistência adequada. Isso não apenas resulta em concretos mais fluidos e fáceis de moldar, mas também contribui para a redução da relação água-cimento, promovendo concretos mais densos e duráveis.

Para Neville e Brooks (2013), as funções dos aditivos redutores de água podem ser elencadas em três propósitos:

(I) alcançar maior resistência através da diminuição da água, mantendo-se a mesma consistência da mistura sem aditivo;

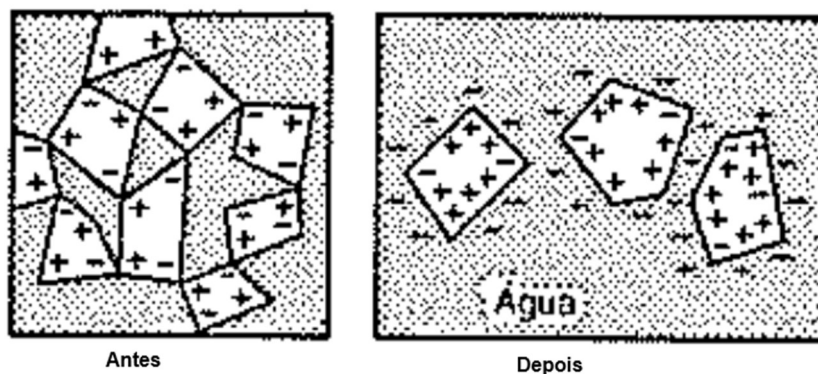
(II) alcançar a mesma consistência através da diminuição de água e cimento, de forma a reduzir o calor de hidratação em massa;

(III) reduzir a consistência de forma a facilitar a aplicação do concreto em lugares com grandes quantidades de aço.

Esses aditivos têm como objetivo alcançar propriedades específicas no concreto e são identificados quimicamente como tensoativos. Dentro da categoria de aditivos tensoativos, destaca-se a que engloba lignosulfonatos, sais de ácido hidroxicarboxílico, como gluconato ou gluco-heptonato de sódio, e polissacarídeos. Segundo Isaia (2011), esses elementos desempenham papéis distintos na formulação do concreto, com ênfase no lignosulfonato, notadamente reconhecido como o redutor de água mais empregado. Este composto é obtido a partir do rejeito líquido do processo de extração da celulose da madeira, lignina ou licor negro, destacando-se pela sua contribuição significativa na otimização das propriedades do concreto.

Dessa forma, segundo Mehta e Monteiro (2008), em situações onde a introdução de água ao cimento ocorre sem a presença de tensoativos, a dispersão eficaz do sistema não é alcançada. Isso ocorre, primeiramente, devido à elevada tensão superficial da água e, em segundo lugar, devido à propensão das partículas de cimento para se aglomerarem ou formarem flocos. Entretanto, ao introduzir um tensoativo com uma cadeia hidrófila ao sistema água-cimento, a cadeia polar é adsorvida ao longo da superfície da partícula de cimento. Desse modo, ao invés de orientar uma extremidade não polar em direção à água, o tensoativo direciona uma extremidade polar, reduzindo, assim, a tensão superficial da água e conferindo à partícula de cimento características hidrófilas. O resultado desse processo é a formação de camadas de moléculas de água dipolares ao redor das partículas hidrófilas de cimento, evitando sua floculação e gerando um sistema com uma dispersão eficiente, como será demonstrado na figura 1. Dessa forma, a estrutura química dos aditivos influencia diretamente na mudança das propriedades do concreto.

Figura 1 - Sistema floculado e sistema de dispersão eficiente antes e depois do aditivo



Fonte: Mehta e Monteiro (2008)

2.4.3 Requisitos Gerais

Para o controle de produção dos laboratórios de aditivo a norma NBR 11768:2019 também cita os requisitos gerais necessários segundo a tabela 5.

Tabela 6 – Requisitos gerais de aditivo

Propriedade	Requisito
Homogeneidade ^a	Homogêneo no momento de sua utilização. A presença de materiais insolúveis não pode ultrapassar os limites fixados pelo fabricante em sua especificação
Cor ^a	Uniforme e similar à descrição informada pelo fabricante
Massa específica ^a (d) (somente para líquidos)	Se $d > 1,10$, a tolerância é de $\pm 0,03 \text{ g/cm}^3$ Se $d \leq 1,10$, a tolerância é de $\pm 0,02 \text{ g/cm}^3$ Onde d corresponde ao valor de massa específica fixado pelo fabricante
Teor de resíduos sólidos ^a (r)	Se $r \geq 20\%$, a tolerância é de $\pm 5\%$ de r Se $r < 20\%$, a tolerância é de $\pm 10\%$ de r Onde r corresponde ao valor de resíduos sólidos fixado pelo fabricante, em porcentagem de massa
pH ^a	Valor fixado pelo fabricante com tolerância de ± 1

Cloretos solúveis em água (Cl ⁻) ^a	≤ 0,15%, em massa ^b , ou não maior que o valor fixado pelo fabricante no caso de aditivos para uso em concreto simples (não armado)
<p>^a O valor declarado pelo fabricante deve ser informado por escrito.</p> <p>^b Teor de cloretos menor ou igual a 0,15%, em massa, corresponde a aditivo isento de íons cloretos.</p>	

Fonte: ABNT NBR 11768 (2019)

2.5 PROPRIEDADES DO CONCRETO

2.5.1 Propriedades do concreto no estado fresco

De acordo com Falcão Bauer (1979, p. 185), a fase inicial do concreto fresco se caracteriza pela presença de agregados miúdos e graúdos envolvidos por uma pasta de cimento, preenchida por espaços contendo ar. A pasta, por sua vez, é predominantemente composta por uma solução aquosa e grãos de cimento. Nesse estágio do concreto, as propriedades do concreto que merecem mais atenção são a trabalhabilidade, a consistência, a segregação, a exsudação e a temperatura.

2.5.1.1 Consistência e trabalhabilidade

Em relação à condição do concreto, é imperativo analisar aspectos como a consistência e a trabalhabilidade. Segundo Neville e Brooks (2013), a trabalhabilidade é definida como a quantidade de trabalho interno útil necessário para atingir o adensamento total do concreto. Os autores salientam que a consistência refere-se à resistência da forma de uma substância ou à facilidade com que ela flui. No contexto do concreto, a consistência é, por vezes, considerada como uma medida do grau de umidade, visto que, dentro de determinados limites, concretos com maior quantidade de água são menos consistentes que concretos secos. No entanto, mesmo concretos com a mesma consistência podem apresentar variações na trabalhabilidade.

Os autores também destacam que "a trabalhabilidade depende de vários fatores que interagem: as condições de aplicação, a quantidade de água, o tipo e a granulometria dos agregados, a relação agregado/cimento, a presença de aditivos e

a finura do cimento. O principal fator é o teor de água da mistura, uma vez que, pela simples adição de água, a lubrificação entre as partículas é aumentada" (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Conforme Neville e Brooks (2013, p. 363), a consistência considerada desejável depende de dois fatores. O primeiro é a dimensão da seção a ser concretada, bem como a quantidade e espaçamento das barras de armadura. O segundo fator é o método de adensamento a ser empregado.

Segundo Mehta e Monteiro (2008, p. 328), são ressaltados três princípios importantes para a trabalhabilidade do concreto:

- A consistência do concreto fresco não deve ultrapassar a necessária para facilitar aplicação, compactação e acabamento.
- O consumo de água necessário para atingir uma dada consistência aumenta com a relação entre agregado miúdo e agregado graúdo, assim como com a quantidade de partículas finas presentes na areia.
- Em dosagens de concreto que exigem baixa consistência no momento do lançamento, é recomendado considerar o uso de aditivos redutores de água e retardadores de pega, em vez de adicionar mais água no canteiro de obra.

2.5.1.2 Segregação e Exsudação

Outra propriedade que deve ser observada é a segregação dos componentes e segundo Mehta e Monteiro (2008, p. 370), a segregação pode ser definida como a separação dos componentes de uma mistura de concreto fresco de tal forma que sua distribuição perca a uniformidade. Existem dois tipos de segregação. O primeiro, característico de misturas de concreto "seco", envolve a separação dos agregados graúdos da argamassa. O segundo tipo é a exsudação, que é um fenômeno que ocorre durante o processo de cura, no qual a água presente na mistura de concreto sobe para a superfície da peça. Isso acontece devido à diferença de densidade entre a água e os materiais sólidos no concreto, sendo mais comum em misturas com alta relação água-cimento e em condições de temperatura e umidade

específicas. O mesmo autor destaca que é crucial reduzir a tendência à segregação de uma mistura de concreto, uma vez que a compactação total, essencial para atingir o potencial máximo de resistência, não é possível em concretos sujeitos à segregação.

2.5.2 Propriedades do concreto no estado endurecido

De acordo com a NBR 12655:2022, o concreto endurecido é definido como "concreto que se encontra no estado sólido e que desenvolveu resistência mecânica".

2.5.2.1 Resistência à compressão

A resistência à compressão é uma das propriedades mais críticas do concreto endurecido. Representa a capacidade do material suportar cargas aplicadas na direção de compressão. A norma técnica NBR 5739:2018 estabelece os procedimentos para os ensaios de resistência à compressão.

De acordo com Neville (1997), a resistência mecânica do concreto é influenciada por diversos fatores, que englobam as propriedades dos componentes, tais como cimento, agregados, aditivos e adições minerais, assim como o proporcionamento dos elementos (relação água/cimento e relação agregado/cimento) e as condições de cura, sendo relevante, também, considerar a idade dos corpos-de-prova.

Conforme Mehta e Monteiro (2008, p. 49), a relação água/cimento é crucial para determinar tanto a porosidade da matriz quanto a zona de transição na interface pasta-agregado, e, portanto, influencia a resistência do concreto. Além disso, fatores como adensamento, condições de cura (grau de hidratação do cimento), mineralogia e dimensão do agregado, tipos de aditivos, adições, condições de umidade e geometria do corpo de prova, tipo de tensão e velocidade de carregamento também podem ter um efeito significativo na resistência do material.

2.5.3 Fatores que influenciam as propriedades do concreto

2.5.3.1 Relação água/cimento

Conforme Mehta e Monteiro (2008, p. 55), em 1918, por meio de ensaios realizados no Lewis Institute, University of Illinois, Duff Abrams identificou uma relação entre a relação água/cimento e a resistência do concreto. A relação água-cimento no concreto desempenha um papel central na determinação de suas propriedades fundamentais. Essa relação refere-se à quantidade de água em relação à quantidade de cimento na mistura, e sua escolha é fundamental para alcançar um equilíbrio entre trabalhabilidade, resistência e durabilidade do concreto. Uma relação água-cimento adequada é essencial para a trabalhabilidade, influenciando a plasticidade da mistura e sua capacidade de ser moldada e manipulada durante o processo de colocação. Além disso, ela desempenha um papel determinante na resistência do concreto, visto que teores excessivos de água podem comprometer a coesão da pasta de cimento, resultando em um material heterogêneo. A durabilidade do concreto também é impactada, pois excesso de água pode tornar a estrutura mais suscetível a processos de deterioração, como a corrosão de armaduras. Encontrar a relação água-cimento é fundamental para a composição do concreto, pois busca otimizar as propriedades desejadas do concreto, garantindo uma mistura coesa, resistente e durável, ao mesmo tempo em que considera questões econômicas e de sustentabilidade na produção.

2.5.3.2 Temperatura

Conforme Neville e Brooks (2013, p. 80), é relevante observar que temperaturas mais elevadas tendem a reduzir a trabalhabilidade e aumentar a perda de abatimento do concreto.

De acordo com Mehta e Monteiro (2008, p. 377), em climas quentes, o concreto desprotegido é suscetível à fissuração por retração plástica. Em contrapartida, em climas frios, a baixa temperatura durante a cura do concreto pode significativamente prejudicar ou retardar a taxa de desenvolvimento da resistência.

2.6 DOSAGEM DO CONCRETO

Com o intuito de alcançar o melhor desempenho para as propriedades do concreto em relação ao seu menor custo é necessário buscar os melhores componentes do concreto, sendo eles: aglomerantes, agregados e aditivos.

Sendo assim, o primeiro passo é decidir a escolha do concreto utilizado. Segundo Neville (2013, p. 356), as propriedades necessárias do concreto endurecido são estabelecidas pelo projetista estrutural, enquanto as propriedades do concreto fresco são determinadas pelo tipo de obra e pelas técnicas de transporte e lançamento.

Conforme Mehta e Monteiro (2008), o próximo passo é o processo de dosagem do concreto, que consiste em encontrar a combinação adequada dos seus componentes. Tradicionalmente, os dois requisitos mais cruciais são a trabalhabilidade do concreto no estado fresco e a resistência do concreto no estado endurecido em uma idade específica. Um objetivo adicional da dosagem é alcançar uma mistura de concreto que atenda aos requisitos de desempenho com o menor custo possível.

Como em qualquer desenvolvimento de produto para o comércio, o ideal é sempre buscar materiais de qualidade com o menor preço possível. Sendo assim,” Segundo Mehta e Monteiro (2008, p. 237), uma consideração fundamental que orienta muitos dos princípios subjacentes aos procedimentos de dosagem do concreto é o reconhecimento de que o cimento é significativamente mais caro do que os agregados. Portanto, é crucial adotar todas as medidas possíveis para reduzir o consumo de cimento em uma mistura de concreto sem comprometer as características de desempenho desejadas.

Segundo Mehta e Monteiro (2008), a finalidade geral da dosagem do concreto pode ser resumida na seleção dos componentes adequados dentre os materiais disponíveis e na identificação da combinação mais econômica que resultará em concreto com características mínimas de desempenho específicas.

2.6.1 Método de dosagem de Martins (2005)

Martins (2005) apresentou uma abordagem com a finalidade de aprimorar os procedimentos de dosagem e proporções do concreto dosado em central (CDC), com a intenção de minimizar a perda de trabalhabilidade e restaurá-la no momento da aplicação do concreto, de maneira economicamente viável. O estudo investigou diversos aditivos, incluindo plastificante, plastificante polifuncional, plastificante retardador e superplastificante, juntamente com distintos métodos de incorporação, inicialmente em argamassas e, após uma seleção preliminar, em concretos. Fatores como a proporção água/cimento, a consistência inicial e a temperatura ambiente foram modificados nas formulações. Ao término, um dos métodos propostos foi implementado na central de concreto objeto de estudo, analisando-se a viabilidade operacional e econômica de sua aplicação definitiva. O estudo concluiu que a análise de dosagem para CDC deve levar em consideração a perda de trabalhabilidade.

3 MÉTODO

O presente estudo fundamenta-se em parte da pesquisa conduzida por Martins (2005), que explorou testes em argamassa com a utilização de aditivos redutores de água. A presente pesquisa é estruturada em cinco etapas distintas, que serão detalhadas a seguir.

Na primeira fase, procedeu-se à obtenção do traço de concreto de uma central dosadora de concreto de Florianópolis para o qual a resistência e consistência eram predefinidas. Paralelamente, realizou-se a seleção e coleta dos materiais empregados na mistura do concreto.

A segunda fase consistiu na validação do traço de concreto obtido. Para tal, procedeu-se à análise das propriedades do concreto, incluindo a realização do ensaio de consistência do concreto (Slump test), conforme estabelecido pela NBR 16889:2020. Essa etapa também teve como objetivo determinar a quantidade adequada de aditivo para a mistura, ao mesmo tempo em que foi avaliado o teor de argamassa para assegurar o proporcionamento adequado entre o agregado graúdo e

miúdo e, assim, confirmar o traço para continuar os ensaios. Dessa forma e a partir do traço executado e validado, foram moldados os corpos de prova para ensaios nas idades de 7 e 28 dias para determinação da resistência à compressão estipulada pela NBR 5739 (ABNT, 2018).

A terceira etapa do processo foi realizada em argamassa tanto com aditivo A como com o aditivo B. Essa parte buscou analisar a avaliação de consistência através do método mais tradicional, a mesa de consistência (Flow Table) prescrita pela NBR 13276 (ABNT, 2016), como também, realizar a moldagem de corpo de prova para posteriormente adquirir os resultados de resistência à compressão.

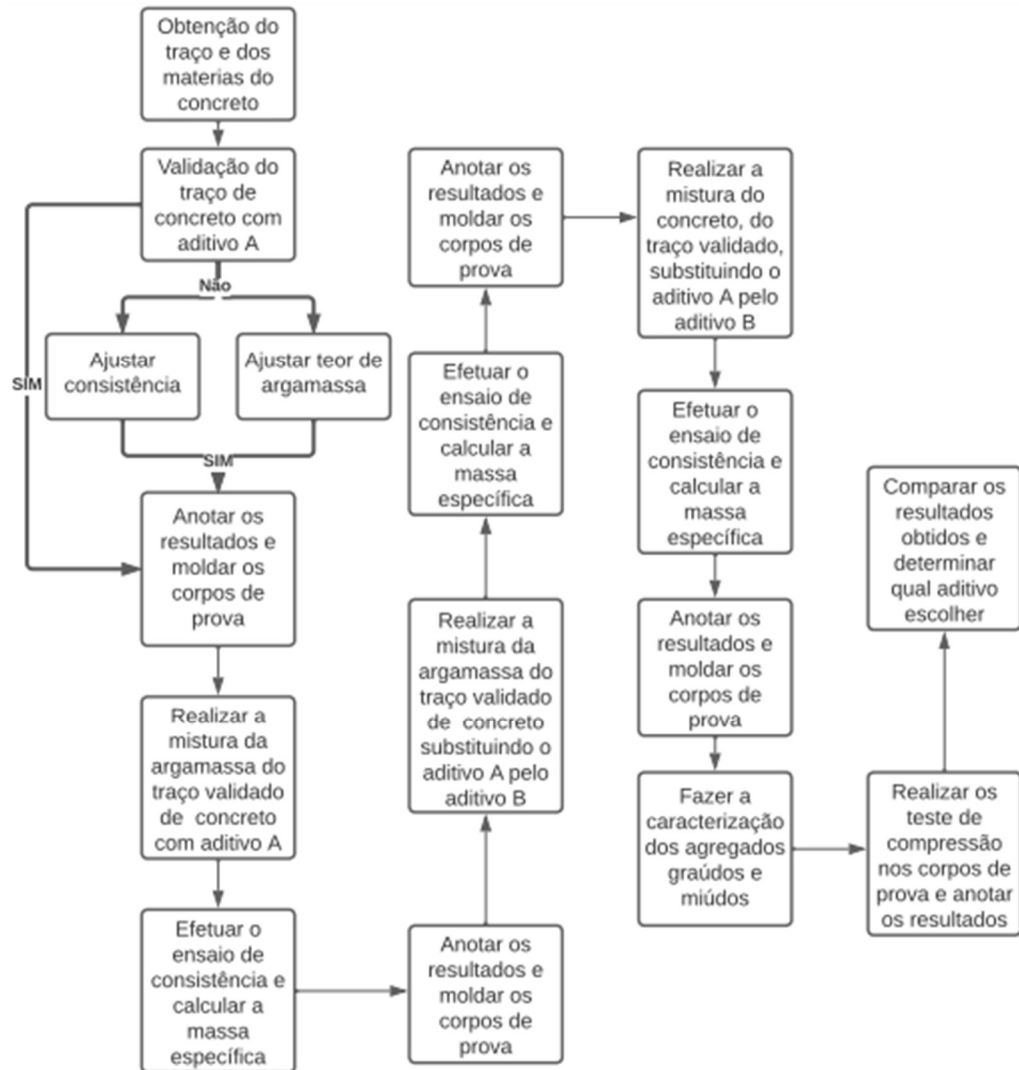
Na quarta parte, foram realizados os mesmos ensaios do primeiro concreto realizado com o mesmo traço, apenas modificando o aditivo utilizado e, assim, obter parâmetros para escolher qual aditivo apresenta melhor desempenho.

E por fim, foram realizados os testes de resistência a compressão dos corpos de prova dos concretos e das argamassas com 7 e 28 dias de idades.

As análises em argamassa e os estudos realizados em concreto foram desenvolvidos no Laboratório do departamento de construção civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

3.1 Fluxograma

Figura 2 - Fluxograma do método



Fonte: Autor (2023)

3.2 Equipamentos Utilizados

Durante a realização do estudo, foram empregadas ferramentas e equipamentos essenciais para a análise das propriedades da argamassa e do concreto. Tanto a mesa de consistência destinada à argamassa quanto o conjunto para determinar a consistência do concreto pelo abatimento de tronco de cone (Slump test) foram utilizados como instrumentos na avaliação das propriedades desses

materiais. Além disso, um misturador especializado foi empregado para a produção tanto de concreto quanto de argamassa, garantindo uma homogeneização adequada das misturas. Esses procedimentos visaram assegurar a consistência desejada nas amostras, considerando os diferentes aditivos. Adicionalmente, para avaliar a resistência à compressão desses materiais, foram utilizados equipamentos específicos para ensaio de resistência, proporcionando dados para a compreensão do desempenho mecânico do concreto e da argamassa.

Os equipamentos utilizados nos procedimentos realizados neste trabalho foram:

- Mesa de consistência para realizar o ensaio de consistência da argamassa, conforme especificações da NBR 13276 (ABNT, 2016).
- Misturador com balde plástico de mistura giratória, com capacidade nominal de 40 litros.
- Misturador de argamassa, com capacidade nominal de 6 litros.
- Balança industrial digital, com capacidade máxima de 100 kg e mínima de 0,4 kg.
- Conjunto para determinação da consistência do concreto pelo abatimento do tronco de cone (Slump test), de acordo com a NBR 16889 (ABNT, 2020).
- Máquina eletromecânica de ensaio com estrutura auxiliar de compressão de 2000 kN.
- Máquina universal de ensaio com capacidade de carga de 300 kN.

3.3 Materiais utilizados

Os materiais utilizados para o desenvolvimento do trabalho foram disponibilizados por uma concreteira de Florianópolis.

3.3.1 Aditivos

O primeiro aditivo utilizado foi denominado de ADITIVO A.

Tabela 7 - Especificações e Validade

Característica:	Teor:
Cor	Marrom
Aspecto	Líquido
Massa Específica (g/cm ³) :	1,19 +/- 0,02
pH	4,0 +/- 1,0
Base química	Lignossulfonato

Fonte: Empresa de tecnologia para produtos da construção civil

O segundo aditivo utilizado foi denominado de ADITIVO B.

Tabela 8 - Especificações e Validade

Característica:	Teor:
Cor	Marrom escuro
Aspecto	Líquido
Massa Específica (g/cm ³) :	1,09 - 1,13
Validade	6 meses a partir da data de fabricação
Base química	Lignossulfonato

Fonte: Empresa de tecnologia para produtos da construção civil

3.3.2 Agregados graúdos

Foram utilizadas britas de dois tamanhos diferentes com a mesma origem mineralógica e localização. A brita 1 e a brita 0, também conhecida como pedrisco, são de origem granítica e provenientes de uma pedreira localizada no Rio Tavares – Florianópolis, Santa Catarina.

3.3.3 Agregados miúdos

Dois tipos de areia de origem diferentes foram utilizados nos procedimentos, areia fina e areia de britagem ou também conhecido como pó de pedra. A areia fina tem fonte em uma empresa de extração de areia localizada na Palhoça - São José, Santa Catarina e a areia industrial é obtida do mesmo local o qual os agregados graúdos foram retirados.

3.3.4 Aglomerante

O cimento utilizado para efetuar os ensaios necessários foi o Cimento Portland composto com filer – CP II-F-40.

Tabela 9 – Resultados médios das análises físicas, químicas e mecânicas do CP II-F-40

Análise Física	
Ensaio	Teor
Expansibilidade a quente (mm)	0,17
Início de pega (min)	161
Fim de pega (min)	214
Consistência normal (%)	28,8
Blaine (cm ² /g)	4374
Peneira # 0,075 mm (%)	0,06
Peneira # 0,045 mm (%)	0,30
Massa específica (g/cm ³)	3,05
Al ₂ O ₃ (%)	4,40
SiO ₂ (%)	18,32
Fe ₂ O ₃ (%)	2,95
CaO (%)	60,61
MgO (%)	3,46
SO ₃ (%)	3,14
Perda ao fogo (%)	5,78
CaO Livre (%)	1,74
Resíduo insolúvel (%)	1,28
Equivalente alcalino (%)	0,63
Idade: 3 dias	Resistência à compressão: 38,5 MPa
Idade: 7 dias	Resistência à compressão: 43,7 MPa
Idade: 28 dias	Resistência à compressão: 51,9 MPa

Fonte: Cimento Portland composto com filer | Cimento Itambé (cimentoitambe.com.br) (2023)

Todos os dados apresentados nas tabelas acima são a média dos valores dos relatórios de ensaios emitidos pelo fabricante no mês de agosto de 2023.

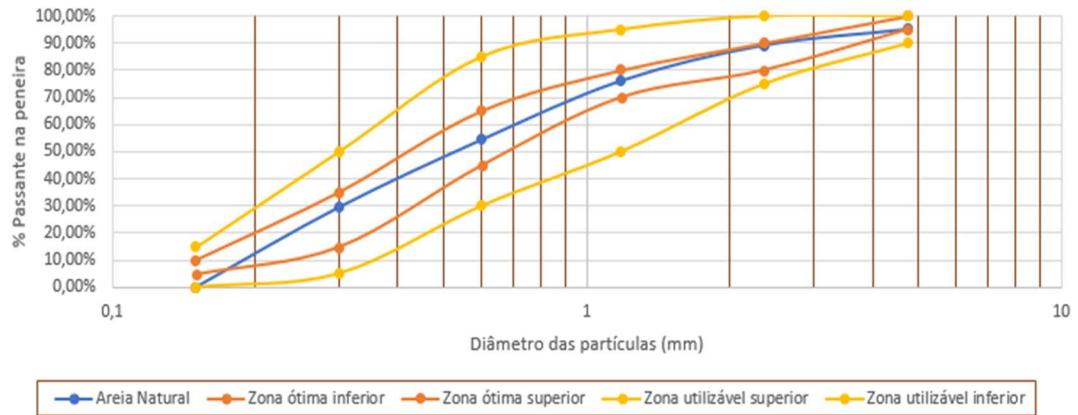
3.4 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

Tabela 10 - Resultado dos ensaios de caracterização

Abertura das Peneiras (mm)	Areia natural	Areia Industrial	Brita 1	Brita 0
	Percentual Retido acumulado (%)	Percentual Retido acumulado (%)	Percentual Retido acumulado (%)	Percentual Retido acumulado (%)
38	0	0	0	0
25	0	0	0	0
19	0	0	3,24	0
12,5	0	0	69,40	0
9,5	0	0	91,48	11,09
6,3	0	0	99,32	52,50
4,8	0	0,83	99,96	84,95
2,4	0	16,17	99,98	98,59
1,2	0,4	37,40	99,99	99,54
0,6	2,74	56,57	99,99	99,64
0,3	13,4	80,27	99,99	99,70
0,15	86,37	90,07	99,99	99,73
0,075	99,54	96,94	99,99	99,73
Fundo	100	100	100	100
Módulo de Finura	1,03	2,81	6,95	5,93
Diâmetro Máximo (mm)	0,6	4,8	19	12,5
Massa específica (kg/dm ³)	2,63	2,87	Agregado Saturado: 2,89	Agregado Saturado: 2,85
			Agregado Seco: 2,87	Agregado Seco: 2,82
Material pulverulento (%)	0,6	6,9	-	-

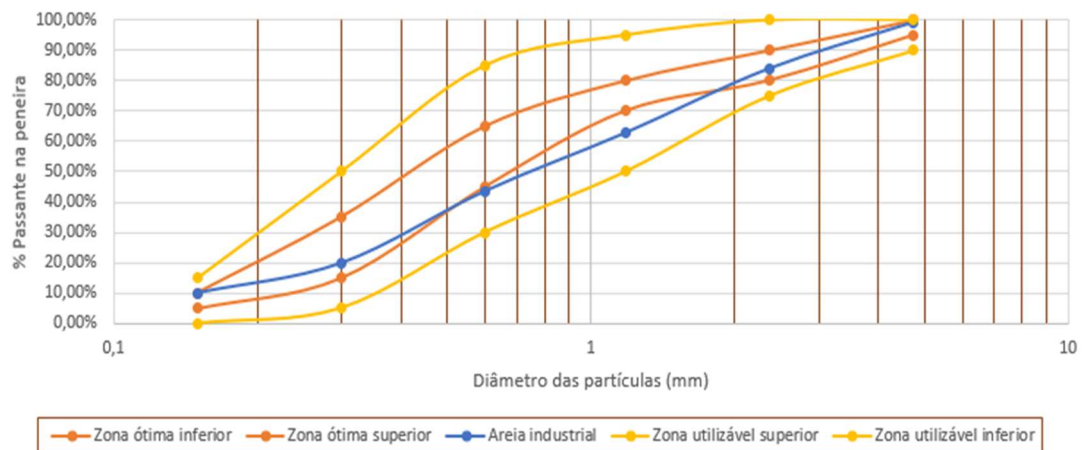
Fonte: Autor (2023)

Gráfico 1 – Curva granulométrica Areia Natural



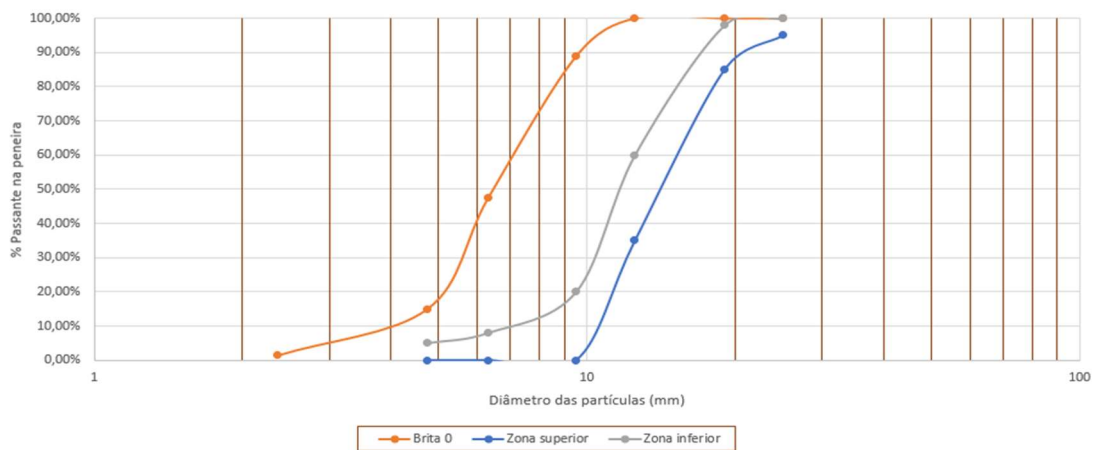
Fonte: Autor (2023)

Gráfico 2 – Curva granulométrica Areia Industrial



Fonte: Autor (2023)

Gráfico 3 – Curva granulométrica brita 0



Fonte: Autor (2023)

F40S12CA	40	(12 +/- 2)	4,35	5,16	5,58	1,75	10,27	2,41	38,5
----------	----	------------	------	------	------	------	-------	------	------

Fonte: Cimento Portland composto com fíler | Cimento Itambé
(cimentoitambe.com.br) (2023)

Para iniciar o teste de validação do traço do concreto, foi umedecido o recipiente o qual foi feita a mistura com o objetivo de imprimá-lo e, assim, evitar a perda de água de amassamento para o equipamento. Feita essa etapa, foram introduzidos no misturador os materiais para a produção do concreto e a sequência de colocação deles foi a seguinte:

- 1º Todos Agregados graúdos;
- 2º Todo Cimento;
- 3º Todos Agregados miúdos;
- 4º 100% da água;

Assim que os agregados miúdos e graúdos juntamente com o cimento e a água foram misturados, foi adicionado após um minuto e trinta segundos (1:30min) o aditivo na mistura. Sendo sua quantidade ajustada para atingir o abatimento especificado de (12 +/- 2 cm).

O tempo de mistura para a primeira verificação de consistência foi estabelecido em 8 minutos, 1:30min antes do aditivo e mais 6:30min para mistura dos componentes com o aditivo, tempo adotado pela orientação da concreteira e estabelecido nesse trabalho, com o intuito de proporcionar um tempo de reação favorável entre os componentes e adicionar água até o abatimento necessário. Assim que foi finalizado o tempo de 8 minutos e alcançado o slump test desejado, foram moldados 2 corpos-de-prova cilíndricos, de acordo com a NBR 5738:2016, um para cada idade, para determinação da resistência à compressão axial aos 7 e 28 dias. Logo após finalizado o procedimento anterior, foi coletada uma quantidade de concreto para determinar a massa específica do concreto no estado fresco segunda norma NBR 9833 (ABNT, 2008).

Com a intenção de simular o período de transporte do concreto em caminhão-betoneira, o material restante, após os 8 minutos e a moldagem dos corpos-de-prova, permaneceu no misturador descansando por mais 22 minutos, totalizando

o procedimento em 30 minutos de mistura dos materiais. Assim, passado essa meia hora, o ensaio de abatimento foi novamente realizado para medir o slump test final.

Após efetuada a moldagem dos corpos-de-prova, todos eles permaneceram descobertos, até o período de 24 horas, em temperatura ambiente com 21,8°C no dia da moldagem e 22,1°C no dia seguinte. Após esse período, eles foram desmoldados e direcionados para um tanque de cura, onde ficaram submersos em água saturada com cal, até a idade do rompimento.

3.6 Argamassa

Após os procedimentos realizados em concreto, foram efetuados os ensaios em argamassa de consistência e resistência à compressão de 7 e 28 dias.

Os procedimentos realizados em argamassa foram semelhantes aos desenvolvidos em concreto, e o traço utilizado foi o mesmo, porém com a exclusão dos agregados graúdos e um volume menor de materiais.

Os procedimentos para efetuar a mistura da argamassa foram de acordo com a ordem citada a seguir:

1. Toda a areia de britagem
2. Todo o Cimento CP II-F-40;
3. Toda a areia fina;
4. Quantidade total de água;
5. Aditivo após um minuto e trinta segundos de mistura dos componentes;

Logo após juntar os componentes foi mantida a mistura na argamassadeira que manteve a rotação por 1:30min antes do aditivo e mais 6:30min após o aditivo totalizando o tempo de 8 minutos de mistura e, dessa forma, realizar o primeiro ensaio para averiguar a fluidez da argamassa.

O ensaio de consistência para argamassa foi realizado através do método da mesa de índice de consistência – Flow Table –, segundo procedimento descrito na NBR 7215:2019, sendo efetuadas algumas alterações, sendo elas, 5 golpes iniciais e depois mais 10 golpes.

Assim que o ensaio de consistência foi finalizado, foram moldados 2 corpos-de-prova, para a ruptura a compressão aos 7 e 28 dias.

Para similar ao período de execução do concreto, a argamassa também permaneceu descansando por 22 minutos e, assim, totalizar o período de 30 minutos. Decorrido o tempo estipulado, foi novamente realizado o ensaio de índice de consistência na mesa de consistência, tanto na abertura inicial quanto após o procedimento de golpes na mesa.

Dessa forma, foi adicionada a quantidade de aditivo idêntica à que foi inserida no concreto para ajuste de Slump e, por fim, foi realizada mais uma leitura de diâmetro da argamassa na sua abertura inicial e após a realização dos golpes na mesa de consistência

Após os ensaios de consistência necessários no estado fresco, foram moldados 2 corpos-de-prova para realizar o ensaio de resistência à compressão com idade de 7 e 28 dias, da mesma forma que foi realizada a moldagem anteriormente. O processo de cura dos corpos-de-prova e a determinação da massa específica será o mesmo realizado no concreto, estipulado pela norma argamassa NBR 13280 (ABNT, 2005).

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O primeiro aspecto submetido à análise foi a validação do traço de concreto fornecido pela concreteira. A execução do traço proposto teve como objetivo confirmar se o slump de 12 cm, com uma margem de variação de mais ou menos 2 cm, era efetivamente alcançado. Durante esse processo, observou-se que a concreteira empregava um percentual de argamassa de 52% para esse traço, os materiais utilizados eram da mesma concreteira mas de lotes diferentes. Entretanto, ao desenvolver o traço, constatou-se que o teor de argamassa original não era suficiente, resultando em um concreto excessivamente britado. Diante dessa constatação, foi decidido ajustar o teor de argamassa para 56%.

Outro ponto crucial na validação do concreto foi a determinação da quantidade de aditivo A necessária para atender ao slump de 12 cm estabelecido pelo traço da concreteira. Embora o traço indicasse a necessidade de 38,5g de aditivo, a execução prática do experimento demandou apenas 16g de aditivo para atingir o valor

desejado do slump test. Assim, a validação do traço foi concluída com êxito, adotando-se um teor de argamassa de 56% e a adição de 16g de aditivo para atingir o slump de 12 cm, com uma variação aceitável de mais ou menos 2 cm.

Considerando o traço validado com a quantidade necessária de aditivo para atender à consistência desejada, foi empregada a mesma composição na execução da argamassa utilizando tanto o aditivo A quanto o aditivo B, permitindo assim a realização de uma comparação entre esses dois.

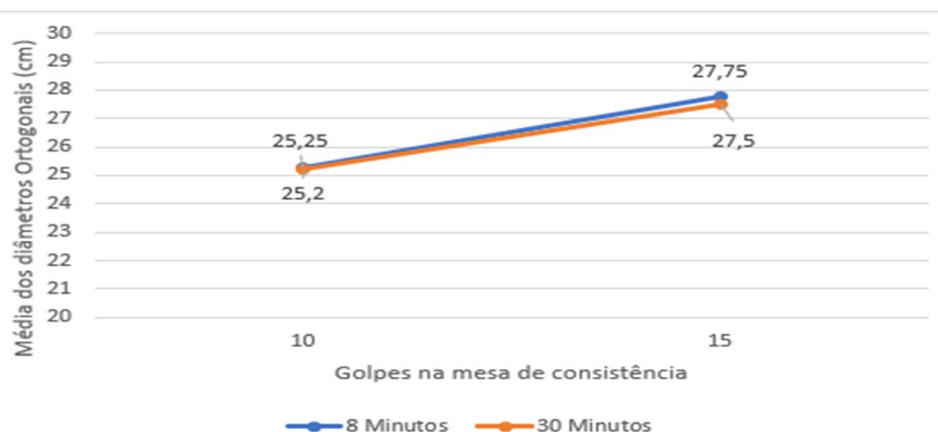
No que se refere à consistência da argamassa com o aditivo A, durante o intervalo de 8 e 30 minutos, em ambos os casos, não foi observada uma perda significativa na abertura dos diâmetros da massa, conforme pode ser observado na tabela 12 e no gráfico 5, que apresenta a evolução da consistência com o tempo e com a quantidade de golpes.

Tabela 12 – Consistência da argamassa com aditivo A e aditivo B

Aditivo	Consistência 8 minutos	Tempos de mistura	Diâmetro Ortogonal 1	Diâmetro Ortogonal 2	Média dos Diâmetros Ortogonais
A	10 golpes	8 minutos	25,0cm	25,50cm	25,25cm
	+5 golpes		28,0cm	27,50cm	27,75cm
	10 golpes	30 minutos	25,40cm	25,0cm	25,20cm
	+5 golpes		28,0cm	27,0cm	27,50cm
B	10 golpes	8 minutos	24,50cm	24,50cm	24,50cm
	+5 golpes		26,80cm	26,50cm	26,65cm
	10 golpes	30 minutos	24,0cm	23,0cm	23,50cm
	+5 golpes		26,0cm	25,20cm	25,60cm

Fonte: Autor (2023)

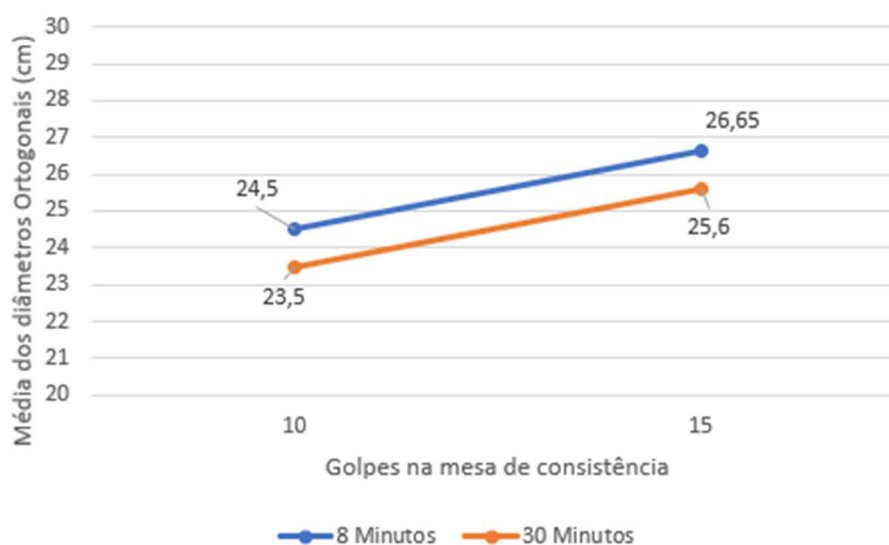
Gráfico 5 – Consistência da argamassa com aditivo A



Fonte: Autor (2023)

Por outro lado, na argamassa com o aditivo B, o ensaio de consistência aos 8 minutos resultou em uma abertura de 1 centímetro maior em comparação ao teste realizado aos 30 minutos. Conforme apresentado na tabela 12 e demonstrado no gráfico 6, tanto para 10 golpes quanto para 15 golpes.

Gráfico 6 – Consistência da argamassa com aditivo B



Fonte: Autor (2023)

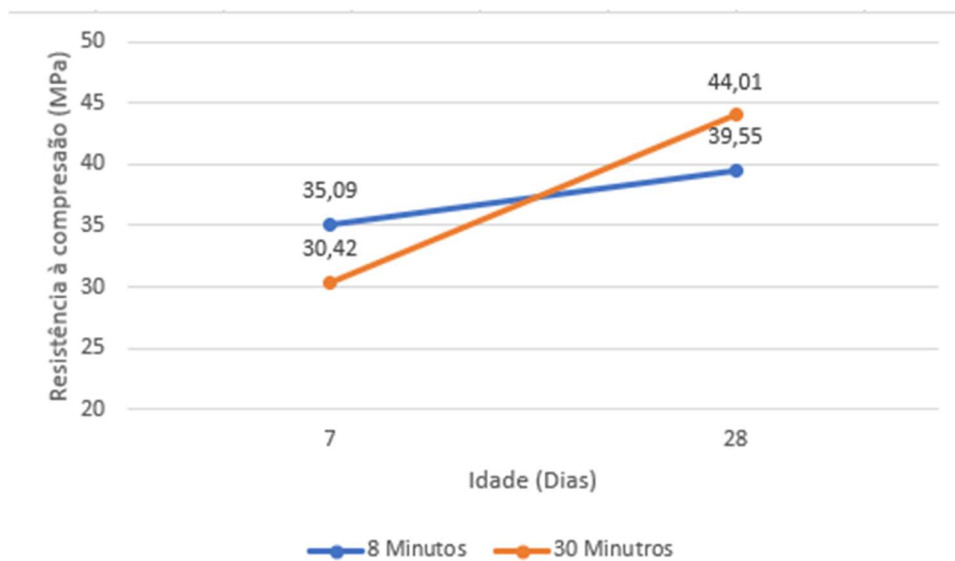
Outro aspecto submetido à análise compreendeu a avaliação da consistência entre a argamassa com o aditivo A e a argamassa com o aditivo B. Observou-se que, no primeiro caso, a abertura dos diâmetros ortogonais foi superior ao segundo caso como demonstrado na tabela 12.

No que diz respeito à resistência à compressão nas argamassas, constatou-se que, aos 7 dias e com 8 e 30 minutos de mistura, a argamassa com o aditivo A demonstrou resistência superior à argamassa com o aditivo B. Entretanto, ao atingir a maturidade de 28 dias e com 30 minutos de mistura, a tendência se inverteu, revelando que a argamassa com o aditivo B apresentou uma resistência superior mas, em contrapartida, com 8 minutos de mistura e com idade de 28 dias resistência à compressão foi praticamente a mesma, como pode ser verificado no gráfico 7, gráfico 8 e na tabela 13.

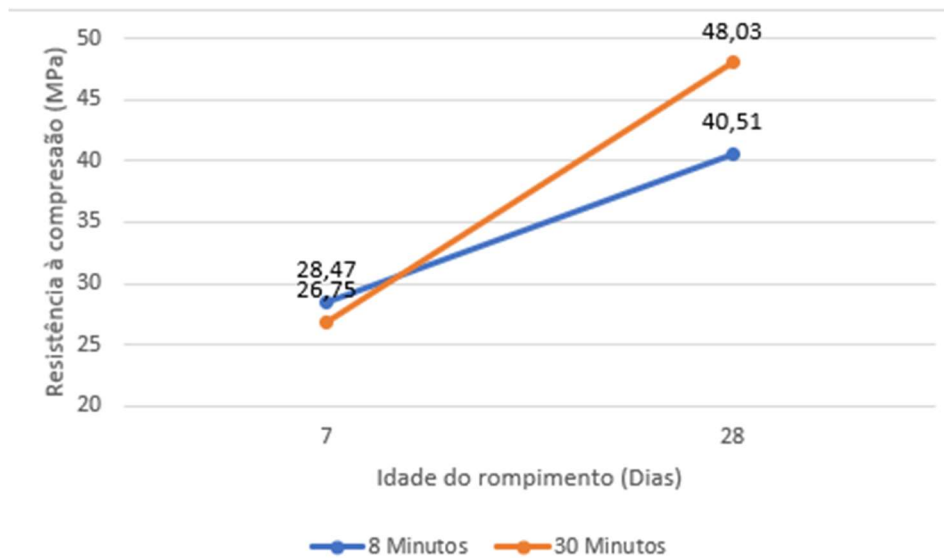
Tabela 13 – Dados obtidos da argamassa com aditivo A e aditivo B

Aditivo	Tempo de mistura	Ensaio de resistência à compressão 7 dias	Ensaio de resistência à compressão 28 dias
A	8 minutos	35,09MPa	39,55MPa
	30 minutos	30,42MPa	44,01MPa
	Massa específica	2.204,93kg	
	Temperatura ambiente	22°C	
	Aditivo	16g	
B	8 minutos	28,47MPa	40,51MPa
	30 minutos	26,75MPa	48,03MPa
	Massa específica	2.182,01kg/m ³	
	Temperatura ambiente	22,3°C	
	Aditivo	16g	

Fonte: Autor (2023)

Gráfico 7 – Resistência à compressão Argamassa aditivo A

Fonte: Autor (2023)

Gráfico 8 – Resistência à compressão Argamassa aditivo B

Fonte: Autor (2023)

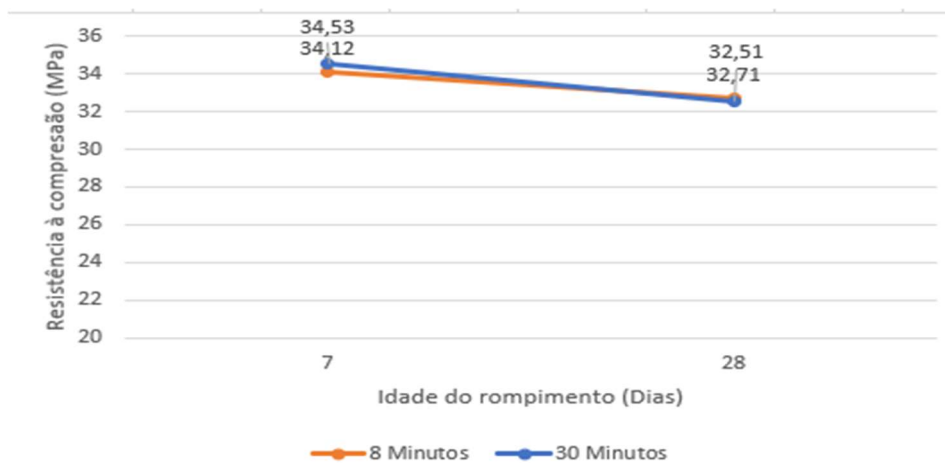
Em relação aos resultados de resistência à compressão no concreto, os resultados demonstraram uma igualdade entre os dois aditivos com idade de 7 dias, porém com 28 dias a resistência a compressão do concreto com aditivo A demonstrou um resultado inesperado, sendo a resistência a compressão de 28 dias menor que a de 7 dias, isso pode ter ocorrido devido a ser utilizado uma prensa manual e não ser um equipamento servo controlado onde a velocidade de aplicação da carga é manual. Nota-se também que o tempo de mistura de 8 minutos e 30 minutos não influencia na resistência à compressão de ambos os aditivos, como pode ser observado na tabela 14 e no gráfico 9.

Tabela 14 – Dados obtidos do concreto com aditivo A e aditivo B

Aditivo	Tempo de mistura	Slump test	Ensaio de resistência à compressão 7 dias	Ensaio de resistência à compressão 28 dias
A	8 minutos	13cm	34,12MPa	32,71MPa
	30 minutos	9cm	34,53MPa	32,51MPa
	Massa específica		2.410,00kg/m ³	
	Temperatura ambiente		21,1°C	
	Massa de aditivo		16g	
B	8 minutos	12,5cm	34,25MPa	39,10MPa
	30 minutos	5,5cm	34,18MPa	38,51MPa
	Massa específica		2.350,08kg/m ³	
	Temperatura ambiente		21°C	
	Massa de aditivo		16g	

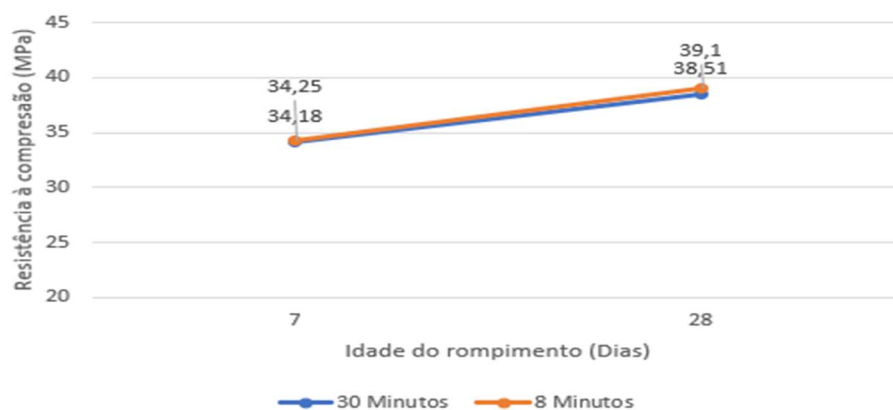
Fonte: Autor (2023)

Gráfico 9 – Resistência à compressão Concreto aditivo A



Fonte: Autor (2023)

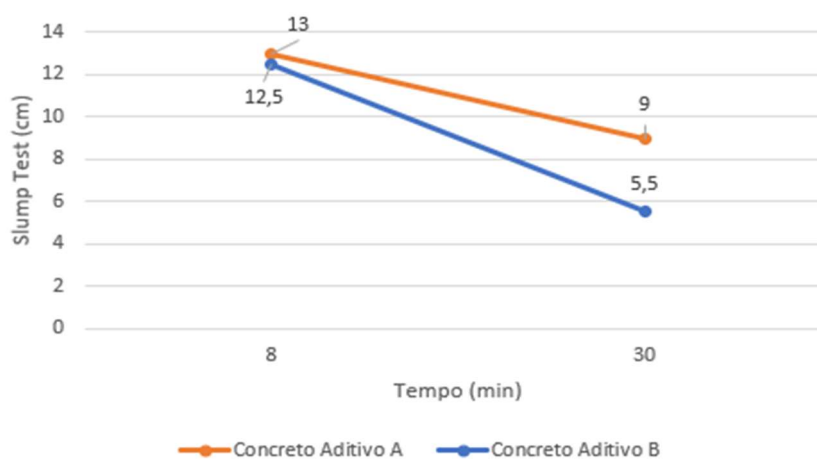
Gráfico 10 – Resistência à compressão Concreto aditivo B



Fonte: Autor (2023)

Conforme pode ser observado no gráfico 11 e na tabela 14, a consistência entre os concretos manteve-se praticamente a mesma com 8 minutos de mistura. No entanto, ao realizar a avaliação da consistência aos 30 minutos, foi evidenciada uma perda de fluidez significativa para ambos os concretos, porém mais acentuada para o aditivo B, sendo uma queda de 4cm com o concreto com aditivo A e uma queda de 7cm com o concreto com aditivo B, 3,5 centímetros de diferença de abatimento aos 30 minutos de mistura, no concreto com aditivo B em comparação ao concreto com aditivo A.

Gráfico 11 – Consistência do concreto com aditivo A e com aditivo B



Fonte: Autor (2023)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados obtidos na análise das propriedades do concreto e da argamassa e do embasamento da pesquisa desenvolvida por Martins (2005), foram extraídas conclusões sobre a influência de dois aditivos no concreto e argamassa. O primeiro ponto focal foi a validação do traço de concreto fornecido pela concreteira, uma etapa crucial para garantir a adequação do slump test desejado. A constatação de uma insuficiência no teor inicial de argamassa, resultando em um concreto excessivamente britado, evidenciou a necessidade de ajustes que, por sua vez, um dos motivos para esse fator pode ter ocorrido por conta do formato dos agregados. Assim, os ajustes realizados, aumento do teor de argamassa e a quantidade de aditivo, culminaram em uma composição satisfatória que atendeu às expectativas

para a execução do concreto até os 30 minutos, após esse tempo a consistência ficou inadequada.

No que tange aos ensaios realizados, a análise comparativa das consistências entre a argamassa com aditivo A e aditivo B revelou uma tendência mais acentuada à perda de abatimento no traço com o aditivo B. Isso é evidenciado pela maior abertura dos diâmetros ortogonais no primeiro caso em relação ao segundo. Adicionalmente, nota-se que a perda de abatimento ao longo do tempo é mais expressiva na argamassa com aditivo B. Diante das análises realizadas, foi possível antecipar, por meio da argamassa com aditivo B, a tendência de perda de abatimento no concreto com o mesmo aditivo.

Em relação à resistência à compressão, os resultados apresentados evidenciam discrepâncias entre os valores obtidos nos corpos de prova de argamassa e de concreto. Ao analisar as resistências à compressão do concreto, observa-se que, após 7 dias, ambos os aditivos alcançaram praticamente a mesma resistência. No entanto, não é possível concluir as análises referentes à idade de 28 dias devido a possíveis falhas na execução. Pode-se notar também que, comparando as misturas de 8 minutos e 30 minutos, utilizando o mesmo aditivo, revelou ausência de diferença na resistência.⁵⁶

Dessa forma, mediante a análise dos dados apresentados dos aditivos A e B, e considerando que possuem o mesmo preço de mercado, percebe-se que as propriedades do aditivo A possuem melhores desempenho do que as do aditivo B. Entretanto, para uma conclusão definitiva sobre qual aditivo é mais vantajoso, são necessários ensaios e análises mais aprofundados. Esta conclusão se fundamenta na constatação de que o aditivo B apresenta uma perda de abatimento ao longo do tempo, o que resultará em uma demanda maior de aditivo ou água até a conclusão do processo de concretagem. Dessa maneira, caso seja requerida uma quantidade superior de água, será necessária uma maior quantidade de cimento para evitar a redução da resistência do concreto.

Por fim, apesar da limitada quantidade de experimentos e resultados comparado a dissertação de Martins (2005), é possível evidenciar a existência de uma correlação entre as propriedades de consistência da argamassa e do concreto. Além

disso, por meio dos estudos prévios realizados em argamassa, torna-se possível auxiliar na escolha da determinação do aditivo utilizado no concreto.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Para sugestões futuras que poderão acrescentar nos estudos realizados na correlação entre concreto e argamassa, o que pode ser efetuado é: englobar nos experimentos o teor de ar incorporado, tempo de pega do concreto, realizar o experimento com tipos diferentes de cimentos, aumentar as idades de ensaios de resistência para acompanhar melhor a evolução de resistência sendo de 1, 3 e 14 dias, mistura em betoneira e fazer uma manutenção aos 30 minutos, utilizar agregados graúdos e miúdos de outras origens mineralógicas, utilizar equipamento de ultrassom antes do rompimento dos corpos de prova para observar possíveis inconsistências no ensaio, módulo de elasticidade, realizar o experimento com um teor de pasta de argamassa maior pois a consistência é mais influenciada pela pasta.

REFERÊNCIAS

- NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. 5ª ed. Pearson, 2016.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Microestrutura, Propriedades, e materiais. 3ª ed. McGraw-Hill, 2006.
- NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. Tecnologia do Concreto. 2. ed. Tradução de Ruy Alberto Cremonini. Porto Alegre: Bookman, 2013. 448 p.
- FALCÃO BAUER. Materiais de Construção. 5. ed. São Paulo: Falcão Bauer, 1979.
- PASSUELLO, Alexandra et al. Concreto: Ciência e Tecnologia. Edição de Geraldo Cechella Isaia. São Paulo: IBRACON, 2011.
- FUSCO, Péricles Brasiliense. Tecnologia do Concreto Estrutural. 1ª ed. Editora Pini, 2008. 184p.
- Associação Brasileira de Cimento Portland. Guia básico de utilização do cimento portland. 7.ed. São Paulo, 2002. 28p.
- MARTINS, Vanessa da Costa. Otimização dos Processos de Dosagem e Proporcionamento do Concreto Dosado em Central com a Utilização de Aditivos: Estudo de Caso. Florianópolis, 2005.
- BRASIL. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7211: Agregados para Concreto - Especificação. 3ª ed. Rio de Janeiro, 2022.
- BRASIL. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7212: Execução de Concreto Dosado em Central - Procedimento. 4ª ed. Rio de Janeiro, 2021.
- BRASIL. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 11768: Cimento Portland - Determinação da Resistência à Compressão. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2019.
- BRASIL. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12655: Concreto de Cimento Portland - Preparo, Controle e Recebimento - Procedimento. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2022.
- BRASIL. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16889: Aditivos para Concreto de Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.
- BRASIL. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7215: Agregado Graúdo para Concreto - Especificação. 3ª ed. Rio de Janeiro, 2019.
- BRASIL. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13276: Concreto - Ensaio de Concreto - Determinação do Módulo de Deformação Dinâmico e Estático. Rio de Janeiro, 2015.
- BRASIL. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5738: Concreto - Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos de Prova. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2015.
- BRASIL. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16889: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. 1ª ed. Rio de Janeiro, 2020.

BRASIL. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13276: Argamassa - Determinação da consistência pelo aparelho de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16697: Concreto endurecido - Determinação do módulo de deformação dinâmico em corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2018.