

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA

RAISSA MUNHOZ CANTERA

INCORPORAÇÃO DE DIATOMITA COMO ADIÇÃO MINERAL EM ARGAMASSAS

Joinville

2018

RAISSA MUNHOZ CANTERA

INCORPORAÇÃO DE DIATOMITA COMO ADIÇÃO MINERAL EM ARGAMASSAS

Trabalho de conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Civil de Infraestrutura, da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Me. Valéria Bennack

Joinville

2018

## RESUMO

A utilização de adições porosas como a diatomita na composição de argamassas é interessante devido à redução dos carregamentos finais da estrutura pela diminuição da massa específica do material, porém a manipulação da estrutura gera diferenças comportamentais tanto no estado fresco quanto no endurecido, que precisam ser analisadas. O objetivo desta pesquisa foi avaliar o comportamento de argamassas quando substituído parte do agregado areia (AR) pela diatomita (DT) numa matriz cimentícia. A formulação das amostras foi obtida a partir do ensaio de Mesa de Consistência com abertura constante, gerando argamassas com composição de 0 a 20% de DT. A caracterização da areia e da diatomita foram feitas por meio da composição granulométrica e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Foram realizados ensaios nas argamassas no estado fresco e endurecido (resistência mecânica, densidade aparente, porosidade aberta e absorção de água – aos 28 dias). Os resultados para resistência à compressão foram de 48,49MPa para REF e decrescendo até 20,61Mpa para 20%DT. Para a tração na flexão, os melhores resultados foram nas amostras de 5%DT e 10%DT, com valores de 5,57Mpa e 5,70Mpa respectivamente. Os resultados para resistência à compressão e resistência à tração na flexão demonstram que os valores encontrados têm diminuição gradual relacionados diretamente ao percentual de substituição da areia pela diatomita. De forma semelhante, os ensaios demonstram que esta substituição influencia diretamente na densidade, na porosidade aberta e no índice de absorção de água.

Palavras chave: adição porosa, diatomita, argamassa.

## ABSTRACT

The use of porous addition like the diatomite in the composition of mortar is interesting due to the decreasing of final loads of the structure by a reduction of the specific mass of the material. However, the manipulation of the structure creates behavioral differences as much in the fresh state as in the solid state, and these differences are the ones that need to be analyzed. The purpose of this research was to analyze the mortar's behavior when part of the amount of sand is replaced by the diatomite (DT) in cement-based. The formulation of the samples were obtained from the Flow Table's test with constant variation, producing mortars with composition of 0 to 20% DT. The diatomite and sand's characterization were done by the granulometric composition and the Scanning Electron Microscope (SEM). Tests on fresh and solid states of the mortars were accomplished (mechanical strength, bulk density, open porosity and water absorption - with 28 days). The results for the comprehension resistance were 48.49MPa for reference and decreasing up to 20.61MPa to 20% DT. For the bending traction, the best results were in the samples of 5% DT and 10% DT, with values of 5,57MPa and 5,70MPa respectively. The results for comprehension resistance and bending traction demonstrate that the values found have a gradual decrease directly related to the percentage of substitution of the sand by the diatomite. In the same way, the tests demonstrate that this substitution directly influences the density, the open porosity and the water absorption index.

Key-words: porous addition, diatomite, mortar.

## SUMÁRIO

LISTA DE LIGURAS .....	5
LISTA DE TABELAS .....	6
LISTA DE GRÁFICOS .....	5
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	6
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>8</b>
5.1 OBJETIVOS .....	10
1.1.1. Objetivo Geral.....	10
1.1.2. Objetivos Específicos.....	10
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>8</b>
5.2 ARGAMASSA .....	8
2.1.1 argamassa de assentamento .....	9
2.1.2 Propriedades no estado fresco .....	10
2.1.3 Propriedades no estado endurecido .....	11
2.2 DIATOMITA.....	14
2.3 AGREGADOS.....	16
2.3.1 AGREGADOS Leves.....	17
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>19</b>
3.1. MATERIAIS.....	19
3.1.1 Areia.....	20
3.1.2 Cimento.....	21
3.1.3 Diatomita .....	22
4 MÉTODOS .....	24
4.1 ENSAIOS.....	25
4.1.1 Ensaio de MESA DE CONSISTÊNCIA ( <i>Flow Table Test</i> ).....	25
4.1.2 Resistência à compressão e à tração na compressão .....	27
4.1.3 Propriedades Físicas.....	28
4.1.4 Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	30
<b>5 RESULTADOS .....</b>	<b>31</b>
5.1 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS .....	31
5.1.1 Areia.....	31
5.2.2 Diatomita .....	32
5.3 ACOMPANHAMENTO DE MASSA .....	33
5.4 FLOW TABLE TEST.....	35

5.5	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO .....	36
5.6	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO .....	38
5.7	PROPRIEDADES FÍSICAS .....	39
<b>5.6.1</b>	<b>Densidade aparente.....</b>	<b>39</b>
<b>5.6.2</b>	<b>Absorção de água .....</b>	<b>40</b>
<b>5.6.3</b>	<b>Porosidade Aberta .....</b>	<b>41</b>
<b>5.7</b>	<b>Relações entre as propriedades .....</b>	<b>41</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>45</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>47</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Amostras de diatomita.....	15
Figura 2 – Fluxograma de Atividades.....	19
Figura 3 – Peneiramento do agregado.....	20
Figura 4 Amostra de diatomita .....	22
Figura 5 - Mesa de abatimento.....	26
Figura 6 – Molde preenchido dos Corpos de prova.....	27
Figura 7 - Equipamento Ensaio Mecânico.....	28
Figura 8 - Balança e acessório para massa imersa .....	29
Figura 10 - MEV amostra de diatomita.....	33
Figura 11 – Argamassa após ensaio.....	35
Figura 12 - Corpos de prova para ensaios mecânicos .....	37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades amostras Diatomitas .....	16
Tabela 2 - Propriedades do cimento .....	21
Tabela 3 Componentes químicos do cimento .....	21
Tabela 4 - Composição química diatomita .....	23
Tabela 5 - Formulações das argamassas .....	25
Tabela 6- Distribuição granulométrica da areia .....	31
Tabela 7 – Resultados Flow Table Test .....	35

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Propriedades das argamassas.....	9
Quadro 2 - Classificação Argamassas .....	10
Quadro 3 – Classificação dos agregados.....	17

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva granulométrica da areia .....	32
Gráfico 2 - Acompanhamento de massa. ....	33
Gráfico 3 - Acompanhamento de massa dos 21 aos 28 dias. ....	34
Gráfico 4 - Resistência à Compressão.....	37
Gráfico 5 - Resistência à flexão na tração.....	38
Gráfico 6 - Densidade Aparente.....	39
Gráfico 7 – Absorção de água.....	40
Gráfico 8 – Porosidade Aberta. ....	41
Gráfico 9 – Relação entre resistência à compressão e porosidade aberta. ....	42
Gráfico 10 - Relação entre densidade aparente e porosidade aberta. ....	43
Gráfico 11 - Relação entre absorção de água e porosidade aberta. ....	43

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

DT - Diatomita

AR – Areia

CIM – Cimento

REF - Referência

H<sub>2</sub>O - Água

MEV - Microscópio Eletrônico de Varredura

CERMAT – Núcleo de Pesquisas em Materiais Cerâmicos e Compósitos

g – Grama

ton – Toneladas

MPa – MegaPascal

N – Newtons

CP – Corpo de prova

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo dados do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES, 2009) em 2008 o subsetor de materiais de construção apresentou um PIB de R\$46,4 bilhões, correspondente à 20,3% do Produto Interno Bruto (PIB) de toda a cadeia da construção civil. Materiais principais, com cadeia produtiva expressiva como o cimento carregam consigo demais produtos com menor valor agregado, como o serviço de extração de areia.

Segundo o Ministério de Minas e Energia (MME, 2010), o cimento é o principal insumo na construção contemporânea. Este possui desvantagens quanto à baixa resistência à tração em comparação com a resistência à compressão quando materializado em concreto, além do elevado montante de sua massa. As argamassas incorporadas com agregados leves são comumente utilizadas como material de enchimento de baixo peso ou ainda revestimento interno.

Ainda segundo o MME, a produção de areia é classificada como setor básico da cadeia industrial brasileira, responsável por grandes faturamentos e empregos. O transporte corresponde a 2/3 do preço final do material, o que torna a distância dos aglomerados urbanos um fator limitante na extração (MME, 2010)

Os dados levantados pelo MME afirmam ainda que apesar dos recursos minerais da areia serem abundantes, a extração costuma ocupar uma área muito grande, tornando os grandes centros urbanos dependentes da periferia para a produção do agregado (MME, 2010).

As argamassas são o principal segmento consumidor de areia, responsáveis por 35% da participação do consumo da mesma, seguidos pelas concreteiras com 20% de destinação do insumo (ANEPAC, 2004). Segundo os dados, o elevado consumo de agregados tem efeito global, sendo o Canadá o maior consumidor per capita (19,9 ton), contra 3 ton anuais dos brasileiros.

Segundo Mehta (1994), a formulação da argamassa deve obedecer a parâmetros de resistência e trabalhabilidade para sua aplicação. A autora ainda afirma que a avaliação do ambiente a que se destina o uso da argamassa com agregados leves é fundamental na escolha e concepção do mesmo.

A introdução do agregado na matriz de cimento tem principalmente como motivação a função econômica, uma vez que o cimento é um material dispendioso em termos de energia consumida na sua produção (Mehta, 2010). Ainda, segundo a autora, a incorporação do agregado comum numa pasta cimentícia possui também carácter de redução da retração, esta advinda principalmente do cimento.

A adição de um novo agregado influencia nas propriedades da argamassa final pelos seguintes parâmetros: granulometria, resistência, propriedades químicas e pela interação com o ambiente ao qual está exposto (MEHTA, 1994). Diante dos fatos citados, estudos sobre alternativas à argamassa comum vêm tendo destaque no ramo acadêmico.

Desde o patenteamento do cimento Portland em 1824 por Joseph Aspdin até o início da década de 1970, pouca alteração na mistura para argamassas foi registrada (ROSSIGNOLO, 2009). Porém, ainda segundo o autor, nas últimas décadas o estudo do uso de novos materiais alinhados à novas técnicas e equipamentos para pesquisa impulsionou o uso de adições em argamassas, em busca por argamassas especiais, como as argamassas com agregados leves.

Segundo Silva *et al.* (2010), o uso de agregados leves incorporados em argamassas é justificado pela melhoria de desempenho no isolamento térmico e acústico, além da diminuição do peso da estrutura.

Paula (2014) afirma que várias são as alternativas para agregados leves no Brasil, sendo os mais comuns na pesquisa acadêmica a vermiculita, a perlita e as cinzas industriais, sendo que nas regiões do Norte e Nordeste brasileiros, surgem outras opções para a aplicação em argamassas, como a diatomita.

Breese (1994) define diatomita como uma matéria-prima mineral de origem sedimentar, formada pela deposição de algas diatomáceas fossilizadas, cuja extração é realizada nas regiões ao norte do Brasil, onde é mais abundante.

A produção brasileira de diatomita beneficiada e comercializada, no ano de 2003, foi de 6.920 ton (COSTA, 2004). Segundo o mesmo autor, 60% da aplicação da diatomita é direcionada como auxiliar de filtração e os demais 40% como carga funcional.

Segundo o levantamento de Costa (2004), o Estado da Bahia é o principal produtor de diatomita no Brasil, responsável por 87% do montante nacional, cuja sua produção é utilizada como auxiliar de filtração. O restante da produção brasileira vem do Rio Grande do Norte, empregada principalmente como agente de carga.

## **5.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1. OBJETIVO GERAL**

Desenvolver argamassas com diferentes montantes de adição porosa com função de assentamento de alvenarias de tijolos cerâmicos, utilizando diatomita em substituição parcial do agregado.

### **1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Definir o traço da argamassa de referência e percentuais de substituição da adição porosa;
- Analisar a granulometria dos agregados;
- Avaliar a trabalhabilidade da argamassa no estado fresco, a partir do ensaio *Flow Table Test*;
- Avaliar propriedades físicas da argamassa no estado endurecido, a partir de ensaios de resistência à compressão, resistência à tração na flexão, análise de acompanhamento de massa e dos índices físicos por Arquimedes.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção tem como objetivo a familiarização dos conceitos e princípios teóricos utilizados no estudo.

### 5.2 ARGAMASSA

Segundo a NBR 13281 (2001), argamassa tem como definição:

Mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada).

As funções da argamassa na construção civil tangem tanto à proteção de componentes da ação direta dos agentes agressivos do ambiente quanto à aderência dos demais elementos do conjunto (BAUER, 2005). Ainda segundo o autor, sua aplicação é diversificada e sua formulação varia quanto à quantidade de aglomerantes, granulometria do agregado e quantidade de água, sendo determinante para a preservação de propriedades físicas e químicas.

As argamassas são utilizadas para assentamento e revestimento de alvenarias, revestimentos de pisos, assentamento de revestimentos diversos, sendo para cada propósito final uma formulação necessária e especificações mínimas previstas em norma (BAUER, 1994).

Propriedades específicas são necessárias para garantir à argamassa suas funções previstas de assentamento, revestimento, proteção, isolamento entre outros. Segundo Baía e Sabbatini (2002), estão relacionadas ao seu estado fresco e endurecido e desta forma, as propriedades que as argamassas devem possuir são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1- Propriedades das argamassas.

<b>Estado Fresco</b>	<b>Estado Endurecido</b>
Massa específica e teor de ar	Aderência
Trabalhabilidade	Durabilidade
Aderência Inicial	Resistência mecânica

Fonte: Baía e Sabbatini, 2002

A NBR 15812 (2010) estabelece que as argamassas de cimento têm como principal composição o cimento Portland, agregado miúdo e água. As características principais evidenciam o ganho de resistência física elevada em pouco tempo e baixa porosidade, segundo a norma.

Segundo Roman (2006), a rápida secagem das argamassas causa elevada retração pela perda de água, causando fissurações e conseqüentemente, exposição à agentes externos que podem acarretar em patologias.

Segundo Carasek (2007) as argamassas podem ser classificadas com relação a vários critérios:

- Quanto à natureza do aglomerante;
- Quanto ao tipo de aglomerante (de cal, de cimento;)
- Quanto ao número de aglomerantes (simples e mista);
- Quanto à consistência da argamassa (seca; plástica e fluída);
- Quanto à plasticidade da argamassa (pobre ou magra, média ou cheia e a rica ou gorda)
- Quanto à densidade de massa da argamassa (leve; normal e pesada);
- Quanto à forma de preparo ou fornecimento (preparada em obra, misturas semiprontas, industrializada e dosada em central).

### **2.1.1 ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO**

Segundo a NBR 15812 (2010), a argamassa de assentamento é o componente utilizado na ligação entre blocos estruturais ou cerâmicos, a fim de garantir a distribuição uniforme de esforços.

Para Sabbatini (1984), o maior interesse na argamassa de assentamento está relacionado à trabalhabilidade e consistência, sendo a resistência à compressão um aspecto secundário, onde apenas é exigido que a argamassa resista aos esforços que é submetida sem comprometer o desempenho do conjunto estrutural.

A NBR 13279 (2005) especifica alguns valores quanto ao desempenho mecânico das argamassas, classificando-as em função destes valores conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 - Classificação Argamassas

Características		Identificação		Método
Estado Endurecido	Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)	I	$\geq 1,0$ e $\leq 4,0$	NBR 13279
		II	$\geq 4,0$ e $\leq 8,0$	
		III	$\geq 8,0$	

Fonte: NBR 13279, 2005

Da mesma forma, a NBR 15812 (2010) especifica que argamassas de assentamento, quando utilizadas em alvenaria estrutural de tijolos cerâmicos, devem apresentar resistência à compressão maior ou igual a 1,5 MPa e com limite superior 70% da resistência característica à compressão do bloco (fbk).

Quanto à trabalhabilidade, a norma NBR 8798 (1985) especifica o valor de  $230 \pm 10$  mm para a consistência das argamassas de assentamento, quando utilizadas em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto, valor também adotado para utilização em tijolos cerâmicos.

### 2.1.2 PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO

O estudo do comportamento no estado fresco das argamassas é necessário para garantir características de qualidade e durabilidade das misturas. Segundo

Gomes (2008), o comportamento no estado fresco está relacionado aos materiais empregados, ao traço, à mistura e à forma de aplicação e execução da argamassa.

Segundo Bauer (2005), o comportamento no estado fresco deve ser realizado de modo a relacionar os parâmetros de consistência e plasticidade, na qual determinam a trabalhabilidade das argamassas. Contudo, o autor acrescenta que propriedades como retenção de água, densidade de massa e teor de ar incorporado também são essenciais para garantir a trabalhabilidade da argamassa.

A trabalhabilidade da mistura se torna ideal quando a quantidade de aglomerante se apresenta suficiente para reter a água adicionada, garantindo a coesão e a aderência do material evitando a segregação, além de estabilizar o volume dos mesmos (RECENA, 2011).

Ainda, segundo Recena (2011), o excesso de água é prejudicial para a obtenção destes resultados, pois tanto a trabalhabilidade quanto a coesão perdem suas funções, além de haver uma diminuição na resistência final da argamassa devido à evaporação da água livre, apresentando poros e enfraquecendo a estrutura.

### **2.1.3 PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO**

As principais propriedades analisadas no estado endurecido das argamassas são a resistência mecânica, a retração volumétrica, a absorção de água, a porosidade aberta e a densidade aparente.

- Resistência mecânica:

A resistência mecânica determina a capacidade das argamassas em resistir esforços físicos de tração, compressão ou cisalhamento, gerados a partir de cargas solicitantes ou de condições advindas do ambiente (CINCOTTO e NAKAKURA, 2004). Os mesmos autores indicam a compressão como o principal esforço atuante em argamassas de assentamento, pela solicitação imposta no sistema de vedação.

Segundo Bauer (2005), as propriedades mecânicas são obtidas pelo tipo e teor de cimento, sendo ele o principal responsável pela resistência mecânica da argamassa.

Segundo Mohamad (1998), a resistência à compressão da argamassa de assentamento pouco influencia sobre a resistência à compressão das paredes de alvenaria. Para a afirmação, o autor considera apenas princípios de sobreposição de resistências dos materiais, de forma que a resistência da parede de alvenaria é uma parte da resistência do bloco e da argamassa de assentamento.

As principais propriedades no estado endurecido avaliadas neste estudo foram:

- Retração volumétrica:

É resultante da perda de água da matriz cimentícia, pela diferença de umidade com o ambiente durante o processo de cura e diminuindo a resistência da argamassa pela fissuração (BAUER, 2005).

Segundo Bastos (2001), quanto maior a perda de água da matriz cimentícia, maior será o valor de retração. O autor também destaca que, apesar da água ser o fator mais comum e relevante quanto à retração, outros fenômenos também causam a redução volumétrica, como por exemplo a carbonatação.

O fenômeno da carbonatação ocorre quando o dióxido de carbono presente no ar reage com os compostos da matriz cimentícia hidratada, além da retração autógena que ocorre em composições com baixa relação água/cimento, diminuindo assim a água necessária para a reação de hidratação do cimento (BASTOS, 2001).

Para Cavalheiro (1995), esta propriedade tem papel fundamental no desempenho da parede, pois afeta a estanqueidade e a durabilidade da estrutura. Como consequência da retração, a alvenaria pode ter seu desempenho prejudicado pela ocorrência de fissuração e outras patologias. Desta forma segundo o autor, é ideal que a retração nas argamassas de assentamento seja mínima.

- Absorção de água:

Segundo Rato (2006), a absorção de água é resultante do fenômeno da capilaridade, tendo relação direta com o tamanho e quantidade de poros da matriz cimentícia. É consequência tanto de ações isoladas da própria microestrutura da argamassa quanto resultante de ações externas, como ventos e chuvas.

O autor ainda argumenta que a absorção de água resulta em perdas na resistência mecânica e impermeabilidade das argamassas, diminuindo assim sua durabilidade.

- Porosidade aberta:

A porosidade aberta é resultante da água de amassamento livre, que não foi consumida em sua totalidade no processo de hidratação do cimento e que ao evaporar, resulta na porosidade da argamassa em seu estado endurecido (SILVA, 2011)

Segundo Silva (2011), a porosidade e a absorção de água impactam diretamente na resistência mecânica da mistura. A capacidade de suportar carga é influenciada pelos vazios, seja pelo o tamanho dos poros e da distribuição apresentada na matriz cimentícia são fatores que alteram a capacidade de carga da argamassa.

Ainda segundo Silva (2011), a resistência aos agentes externos corrosivos cresce conforme a redução da porosidade. Observa-se desta forma uma relação inversa entre a porosidade aberta e a resistência mecânica da argamassa.

- Densidade aparente:

Para Braud (2002), densidade aparente é a medida do volume de um material na forma em que naturalmente ele é encontrado. Ou seja, é o peso/litro, o peso de um decímetro cúbico de matéria contando com seus vazios. Ainda segundo o autor, a densidade aparente influencia na capacidade de absorver esforços na

argamassa, devido ao maior índice de vazios resultar em caminhos preferenciais para trincas, formando pontos de fragilidade nas argamassas.

## 2.2 DIATOMITA

A Diatomita (DT), também conhecida como terra diatomácea, é um material sedimentar amorfo, oriundo de organismos unicelulares vegetais como algas marítimas (ABREU, 1973). É uma matéria leve, com baixa massa específica (além de altamente porosa com sua microestrutura podendo conter até 90% de poros) e a composição química se resume principalmente em sílica (50 até 90%) e impurezas (SOUZA, 2003).

A diatomita é caracterizada pela morfologia distinta e a presença de sílica na forma amorfa, criando em sua microestrutura poros de dimensão variável conforme a origem do esqueleto de algas diatomáceas (SOUZA, 1973). De forma semelhante, Wakeel (2009) afirma que a diatomita é formada de sílica amorfa e impurezas como quartzo, óxidos de ferro, alumínio, sódio potássio, cálcio, magnésio, titânio, matéria orgânica, entre outros.

As principais propriedades físicas da diatomita são a baixa densidade aparente, alta porosidade e área superficial, utilizadas especialmente para o mercado de filtração (BREESE, 1994).

O Estado de São Paulo é o maior centro consumidor de diatomita beneficiada do Brasil (KLEIN, 2007). Segundo o autor, as indústrias de tintas, esmaltes e vernizes são os principais consumidores do material como agente de carga e as indústrias de bebidas são as principais consumidoras da diatomita como agente de filtração, seguido pelo setor nacional de graxas e lubrificantes.

Ainda segundo Breese (1994), a diatomita possui propriedades como alta abrasividade, alta capacidade de absorção, inércia química e capacidade isolante, que também são requeridas em diversas aplicações industriais nacionais.

Segundo Souza, (1973), a composição química em conjunto com a estrutura porosa das carapaças de algas diatomáceas conferem à diatomita um

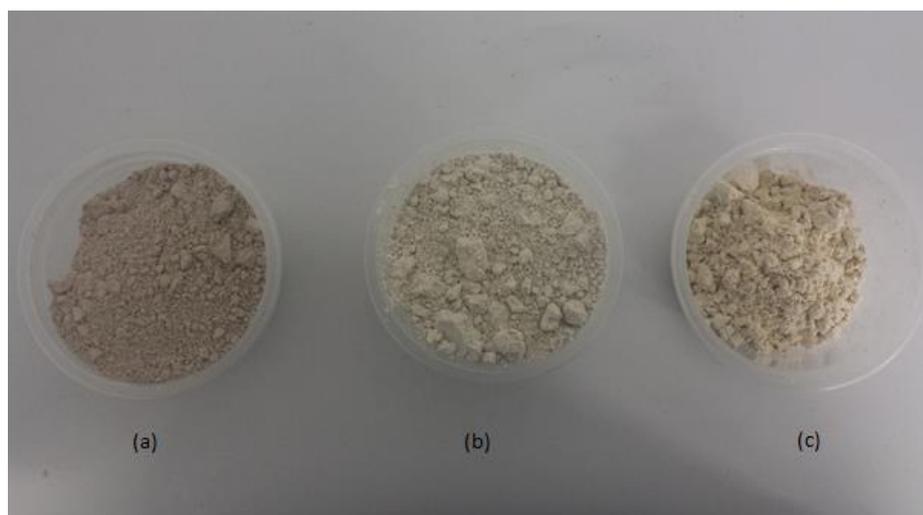
valor comercial e desempenho não encontrados em outros materiais particulados, utilizados em filtração.

A estrutura fina e porosa dos esqueletos das diatomáceas contribui para a baixa densidade e alto valor de área superficial do material, além de alta porosidade e permeabilidade, o que é responsável pela sua alta eficiência, quando usada como auxiliar de filtração (KLEIN, 2007).

A Figura 1 mostra três amostras diferentes de diatomitas, que possuem diferentes colorações. A amostra (a) foi cedida pela BrasilMinas, identificada como BRM732/100 e a amostra (b), BRM730/325 provenientes da mesma empresa e com o mesmo peso específico. A diferença entre ambas é a granulometria, sendo uma passante na peneira #100 e a outra na peneira #325. A amostra (c) foi doada pela empresa CIEMIL, com densidade livre de inferior às outras amostras.

A diferente coloração das amostras é devido ao processo de beneficiamento das mesmas, que varia de acordo com seu destino final, além das amostras mais rosadas possuírem maior teor de ferro em sua composição.

Figura 1 – Amostras de diatomita.



Fonte: Autor, 2017

O resumo das propriedades de massa específica e densidade aparente das amostras está expresso na Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades amostras Diatomitas

	<b>Diatomita BrasilMinas 732/100</b>	<b>Diatomita BrasilMinas 730/325</b>	<b>Diatomita Ciemil CI/325</b>
<b>Massa específica (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1,90 - 2,35	1,90 - 2,28	1,87 - 2,25
<b>Densidade aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	0,20 - 0,50	0,20 - 0,50	0,17 - 0,250

Fonte: Autor, 2018

Segundo Wakeel (2009), a densidade aparente da diatomita varia entre 0,12 g/cm<sup>3</sup> a 0,50 g/cm<sup>3</sup>, sendo ideal 0,20 g/cm<sup>3</sup> para a indústria de filtrantes e 0,30 g/cm<sup>3</sup> para carga industrial.

### 2.3 AGREGADOS

A NBR 7211 (2005) fixa as características exigíveis na recepção e produção de agregados, miúdos e graúdos, de origem natural, encontrados fragmentados ou resultantes da britagem de rochas. A norma também define a areia como agregado miúdo de origem natural ou resultante da britagem de rochas estáveis, cujos grãos passam pela peneira ABNT com malha de 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT de malha 0,075 mm.

Os agregados graúdos são descritos como pedregulho ou brita proveniente de rochas, cujos grãos passam por uma peneira de malha quadrada com abertura nominal de 152 mm e ficam retidos na peneira ABNT de malha 4,8 mm.

Segundo Weidmann (2008) , do ponto de vista de custos globais, os agregados são cerca de quinze vezes mais baratos que o cimento, ocupando aproximadamente três quartos do volume da argamassa e por isso merecem destaque. Além disso, segundo o autor, uma escolha adequada dos agregados miúdos pode conduzir a grandes reduções no consumo de cimento para determinada trabalhabilidade e resistência.

### 2.3.1 AGREGADOS LEVES

Os agregados de baixa massa específica podem ser classificados em leves e ultraleves e destinados para fins estruturais e não estruturais (BRANCO, 2014), conforme apresentados no Quadro 4.

Quadro 3 – Classificação dos agregados.

CLASSIFICAÇÃO DO AGREGADO	EXEMPLO DE AGREGADO	APLICAÇÕES
ULTRALEVE	Poliestireno expandido, vermiculita, perlita expandida	Funções estritamente de isolamento térmico, sem funções de resistência.
LEVE	Argila expandida, xisto, escória de alto forno expandida, pedra pome.	Funções de isolamento térmico, funções de resistência e diminuição do peso próprio

Fonte: Branco, 2014

A aplicação de agregados leves em argamassas tem como principal objetivo, segundo Campiteli e Schulz (2002), reduzir o peso global da obra, melhorar o isolamento térmico em estruturas em função da sua baixa condutividade térmica e o processo de cura interna, absorvendo a água utilizada na mistura pelo agregado leve.

A incorporação de uma estrutura porosa em substituição ao agregado é a forma utilizada para a diminuição da massa, alterando a estrutura interna na matriz cimentícia (CEB/FIP, 1977).

A estrutura interna tem um importante efeito na resistência mecânica dos agregados, pois com estruturas muito porosas resultam em uma resistência menor do que os agregados com estrutura menos porosa (HOLM e BREMMER, 1994). Segundo os autores, a distribuição e o tamanho dos poros também são fatores de relevância quanto à resistência mecânica. Para um mesmo teor de porosidade, o ideal é que a distribuição dos poros seja uniforme e de tamanhos pequenos, ao invés de poucos poros com grande diâmetro.

Segundo Mehta (1994), a necessidade de obtenção de novas matrizes para argamassas torna o uso de agregados provenientes de outras fontes mais comuns. Porém, além de questões econômicas o agregado deve satisfazer propriedades físicas, mecânicas e de estabilidade inerte com os outros componentes da argamassa.

Os fatores que mais influenciam na viabilidade de uso de agregados são a granulometria, a absorção de água, a microestrutura do grão, a resistência à compressão, retração e reatividade com o meio (MEHTA, 1994). O conhecimento de todos os parâmetros citados é importante para o conhecimento integral do comportamento da argamassa perante as propriedades do agregado utilizado

### 3. METODOLOGIA

A proposta do trabalho em questão é uma pesquisa experimental, definida segundo GIL (2007) pela determinação de um objeto em estudo e suas variáveis a serem definidas e analisadas.

A Figura 2 mostra o fluxograma de pesquisa de adotada para caracterização dos materiais e ensaios laboratoriais.



Fonte: Autor, 2018

#### 3.1. MATERIAIS

Neste capítulo estão apresentadas as características dos materiais utilizados no estudo, bem como a caracterização prevista em norma para cada elemento.

### 3.1.1 AREIA

A influência da distribuição granulométrica do agregado se manifesta tanto no estado fresco quanto no endurecido das argamassas. Segundo Carneiro (1999), no estado fresco os agregados formam capilares entre os vazios da estrutura e ocasionam a retenção da água de amassamento. Analisando o estado endurecido, o autor indica que os agregados de granulometria contínua reduzem a permeabilidade e contribuem para o aumento da resistência mecânica da estrutura, pois reduzem os vazios entre os grãos e conseqüentemente aumentam o empacotamento da mistura.

A Figura 3 apresenta a série de peneiras utilizadas para a determinação da granulometria do agregado, posicionadas no peneirador.

Figura 3 – Peneiramento do agregado.



Fonte: Autor, 2018.

Também são analisados os valores de Dimensão Máxima Característica (DMC), que consiste no valor da abertura nominal da peneira cujo agregado apresenta porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior

à 5% em massa. O Módulo de Finura (MF) também é calculado e representa a soma das porcentagens retidas acumuladas do agregado nas peneiras de série normal, dividida por 100.

### 3.1.2 CIMENTO

O cimento empregado como agente aglomerante das misturas é o CPV-ARI da Votorantim Cimentos. As propriedades do cimento são fornecidas pelo fabricante e estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Propriedades do cimento

Finura	Tempo de pega Expansibilidade Resistência à compressão (MPa)	Tempo de pega		Expansibilidade	Resistência à compressão (MPa)			
		Início	Término		A quente (mm)	1 dia	3 dias	7 dias
Resíduo na peneira 75mm(%)	Área específica (cm <sup>2</sup> /g)							
0,06	5005	03:28	04:36	0,06	23,86	33,97	38,64	47,87

Fonte: VOTORANTIM, 2017

A escolha do CPV-ARI para a pesquisa foi por este ser isento de adições pozolânicas e escórias, tornando os resultados da pesquisa mais precisos quanto à adição de diatomita. Os componentes químicos presentes no aglomerante, apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 Componentes químicos do cimento

Resíduo Insolúvel (%)	Perda ao fogo (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	K <sub>2</sub> O (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	SO <sub>3</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)
12,05	3,45	23,04	7,06	3,24	52,65	5,81	1,04	0,07	3,31	2,29

Fonte: VOTORANTIM, 2017

### 3.1.3 DIATOMITA

Segundo Souza (2003), a coloração da diatomita varia de acordo com seu grau de pureza, sendo as mais escuras resultantes de depósitos mais superficiais e com elevada presença de argila. As composições mais puras têm maior valor agregado e são utilizadas na indústria de tintas e cosméticos. A DT utilizada no estudo é apresentada na Figura 4, sob a forma de pó e coloração bege.

Figura 4 Amostra de diatomita



Fonte: Autor, 2017

A composição química e parâmetros de segurança da diatomita são fornecidas pelo fabricante. A Tabela 4 expressa os valores de maior relevância da amostra cedida pela empresa. A composição é predominantemente composta de dióxido de sílica ( $SiO_2$ ), sendo os demais compostos e impurezas representando 14%.

Tabela 4 - Composição química diatomita

<b>Características Informativas</b>	
Composição básica: Dióxido de Silício (SiO <sub>2</sub> )	
<b>Características Químicas Típicas - Referencial</b>	
SiO <sub>2</sub>	86,00%
AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,80%
K <sub>2</sub> O	0,10%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,20%
CaO	0,42%
TiO <sub>2</sub>	0,55%

Fonte: Brasilminas, 2016

De acordo com França (2002), as propriedades mais interessantes para o mercado nacional de diatomita são elevados teores de sílica, acima de 60% e baixas porcentagens de matéria orgânica, não ultrapassando 15%.

## 4 MÉTODOS

Para o desenvolvimento desta pesquisa foi elaborado um plano experimental com o objetivo de caracterizar as propriedades da argamassa no estado fresco e endurecido.

Num primeiro momento, foi necessário definir a formulação da argamassa variando a quantidade de diatomita como substituição parcial do agregado areia. Desta forma, foram estabelecidas cinco formulações contendo 0%, 5%, 10%, 15% e 20% de massa de diatomita em relação à massa total de agregados.

A quantidade de água foi fixada a partir do ensaio de mesa de consistência e o cimento foi mantido para o traço variar apenas no montante de água a fim de manter a trabalhabilidade da caracterização de cada amostra.

Após a definição inicial das formulações, foram caracterizados aspectos físicos da diatomita como a identificação da microestrutura do material por MEV, além de ensaios na argamassa final no estado fresco, Flow Table Test, e no estado endurecido, os ensaios de resistência a compressão e tração na flexão aos 28 dias, absorção de água, porosidade aberta e densidade aparente.

Os ensaios citados foram feitos no Laboratório Interdisciplinar de Construção Sustentável da UFSC Campus Joinville e no Laboratório de Materiais Cerâmicos e Compósitos (CERMAT), na UFSC Campus Florianópolis.

A composição granulométrica dos agregados foi realizada conforme prescrito na NBR 7211 (2005), que especifica parâmetros de referência para agregados. Segundo esta, os agregados devem ser compostos de grãos minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos. Além disso, não devem apresentar substâncias que influenciem na hidratação da matriz cimentícia, bem como elementos que afetem a proteção contra corrosão das armaduras.

As formulações das argamassas e suas respectivas quantidades de material estão apresentadas na Tabela 5, sendo a diatomita (DT) adicionada em porcentagem, o cimento (CIM) mantido fixo, quantidade de areia (AR) variando

conforme a adição de DT e a água (H<sub>2</sub>O) definida a partir da abertura na mesa de consistência. O traço cimento areia empregue foi de 1:2 e água variável. A escolha deste traço foi definida a partir de biografias semelhantes, que avaliaram adições minerais em argamasas.

Tabela 5 - Formulações das argamasas

Amostra	%DT	CIM(g)	AR(g)	DT(g)	H <sub>2</sub> O(g)
20%DT	20%	500	800	200	470
15%DT	15%	500	850	150	400
10%DT	10%	500	900	100	335
5%DT	5%	500	950	50	280
REF	0%	500	1000	0	220

Fonte: Autor, 2018

## 4.1 ENSAIOS

Nesta seção são descritos os ensaios para a caracterização da argamassa e a influência da adição de DT nas argamasas. Foram definidas formulações com substituição constante da AR pela DT, em 0, 5, 10, 15 e 20% (em massa), baseadas em proporções fixadas na literatura e ensaiadas as amostras de todas estas composições, em corpos de prova 4x4x16 cm para as caracterizações.

### 4.1.1 ENSAIO DE MESA DE CONSISTÊNCIA (*FLOW TABLE TEST*)

O ensaio de mesa de consistência, Flow Table Test, foi realizado de acordo com os procedimentos previstos na NBR 13276 (2002). Desta forma, foi inicialmente preparada a superfície da mesa com um pano umedecido, de modo a tornar esta região ligeiramente úmida. Na sequência, foi preenchido o molde de tronco de cone em três camadas, sendo que no final de cada uma foram feitos 15, 10 e 5 golpes com o soquete ao final de cada camada, respectivamente. Em seguida, foi feito o rasamento na borda do molde com uma espátula metálica.

Retirado o molde, foram aplicados 30 golpes em aproximadamente 30 segundos na mesa, sendo que ao término desta etapa foi verificada a medida da abertura em diâmetro da argamassa . A norma recomenda três medidas para cada amostra, sendo o índice de consistência da argamassa expresso pela média dos três valores tomados. A Figura 5 mostra a mesa de consistência, o soquete e tronco de cone utilizados.

Figura 5 - Mesa de abatimento



Fonte: Autor, 2018

A aparelhagem necessária à execução do ensaio é a seguinte:

- a) balança com resolução de 0,1 g;
- b) mesa para índice de consistência, conforme a NBR 7215 (1996);
- c) molde tronco cônico, conforme a NBR 7215 (1996);
- d) soquete metálico, conforme a NBR 7215 (1996);
- e) misturador mecânico, conforme a NBR 7215 (1996).

O *Flow Table Test* define a quantidade de água necessária para uma abertura pré-estipulada, garantindo assim uma trabalhabilidade constante e uma variação da quantidade de água incorporada em cada formulação.

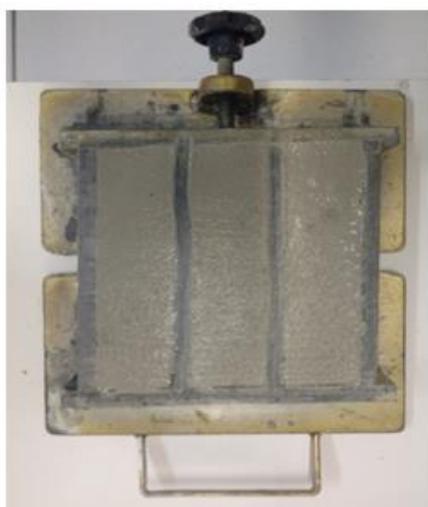
#### 4.1.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E À TRAÇÃO NA COMPRESSÃO

Ensaio realizado conforme preceitos da NBR13279 (2005) – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.

A produção dos corpos de prova para os ensaios de compressão, tração na flexão e índices físicos foi realizada a partir de formulações contendo argamassa, diatomita e água em moldes prismáticos metálicos de dimensões 4x4x16 cm.

A cura dos corpos de prova foi feita em condições ambientes durante os 28 dias antes do ensaio. O molde preenchido com a argamassa está demonstrado na Figura 6.

Figura 6 – Molde preenchido dos Corpos de prova



Fonte: Autor, 2018

Estas amostras foram ensaiadas quanto à tração na flexão, a partir do equipamento mostrado na Figura 7, modelo EMIC 23-100 da marca INSTRON e com célula de carga de 100kN (10.000kgf).

Figura 7 - Equipamento Ensaio Mecânico



Fonte: Autor, 2018

#### 4.1.3 PROPRIEDADES FÍSICAS

Para a determinação de propriedades físicas como absorção de água, porosidade aberta e densidade aparente foram analisadas as formulações com 28 dias e as medidas de massas seca, imersa e saturada de superfície seca obtidas para o desenvolvimento dos parâmetros físicos.

A massa seca corresponde à massa do corpo de prova sem influência da umidade ambiente, seca previamente em estufa a 100° por 12h antes do ensaio. Os valores de massa imersa são referentes ao corpo de prova completamente imerso em água em temperatura ambiente. Da mesma forma, a massa saturada de superfície seca corresponde ao corpo de prova que, após a imersão, teve suas faces levemente secas com panos e em sequência, pesadas.

Para as medidas, foram utilizados uma balança de precisão 0,01g e um acessório para a determinação da massa imersa, conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8 - Balança e acessório para massa imersa



Fonte: Autor, 2018

Para o cálculo, foram seguidas as equações determinadas na NBR 9778 (2006).

(1) Densidade Aparente (DA), em g/cm<sup>3</sup>:

$$DA = \frac{M_S}{M_{SSS} - M_I}$$

(2) Absorção de Água (AA), em %:

$$AA = \frac{M_{SSS} - M_S}{M_S} * 100$$

(3) Porosidade Aberta (PA), em %:

$$PA = \frac{M_{SSS} - M_S}{M_{SSS} - M_I} * 100$$

Sendo:

$M_S$  = Massa Seca

$M_{SSS}$  = Massa Saturada de Superfície Seca

$M_I$  = Massa Imersa

#### **4.1.4 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)**

Amostras da diatomita foram utilizadas para avaliar a microestrutura do material, empregando o microscópio eletrônico de varredura (Hitachi TM3030), com voltagem de 5kV. Foram obtidas imagens referentes à ampliações de 500 até 5.0k.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

#### 5.1.1 AREIA

A Tabela 6 representa os valores das porcentagens passantes e acumuladas da amostra de areia nas peneiras da série normal, conforme prescrito na NBR 7211 (2005). Também são apresentados os valores de Dimensão Máxima Característica (DMC) e o Módulo de Finura (MF).

Tabela 6- Distribuição granulométrica da areia

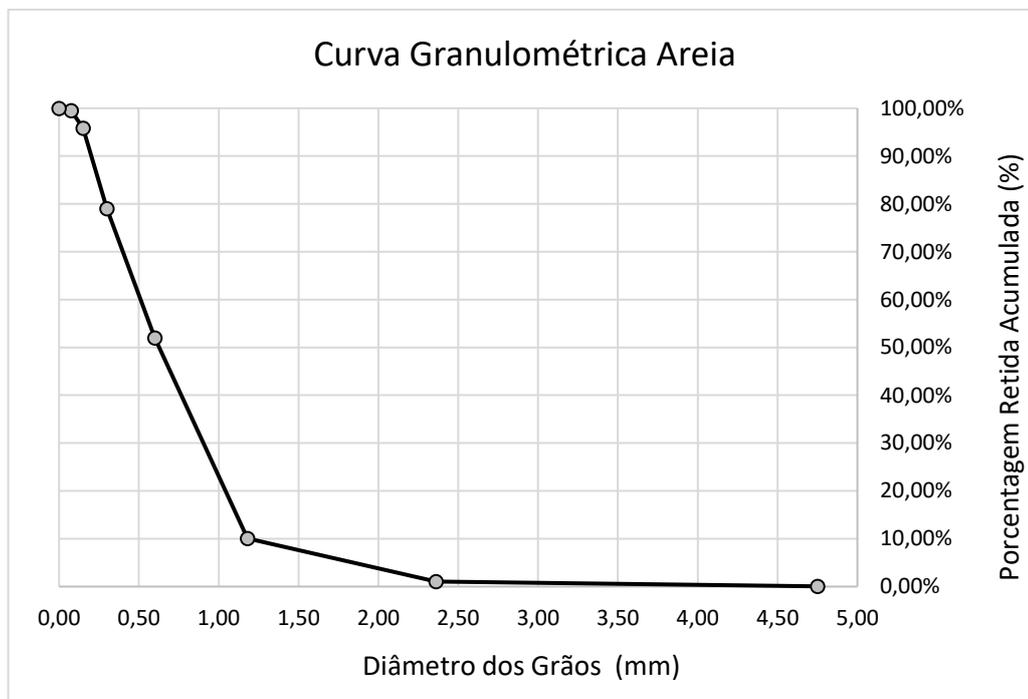
Material : Areia				
Peneira		RETIDA		PASSANTE
		Fração	Acumulada	Acumulada
Nº	mm			
4	4,75	0,05%	0,05%	99,95%
8	2,36	1,00%	1,04%	98,96%
16	1,18	9,04%	10,08%	89,92%
30	0,6	41,89%	51,97%	48,03%
50	0,3	27,04%	79,01%	20,99%
100	0,15	16,80%	95,81%	4,19%
200	0,075	3,71%	99,52%	0,48%
Fundo	0	0,47%	99,99%	0,01%
		DMC:	2,36	
		MF:	2,38	

Fonte: Autor, 2018

O Gráfico 1 mostra a curva granulométrica da areia a partir dos resultados do peneiramento. A curva é bem graduada e distribuída, representando uma areia média que irá ter um menor consumo de água por ter uma composição bem

distribuída e desta forma, na microestrutura da argamassa, não haverá espaço para água livre.

Gráfico 1 - Curva granulométrica da areia



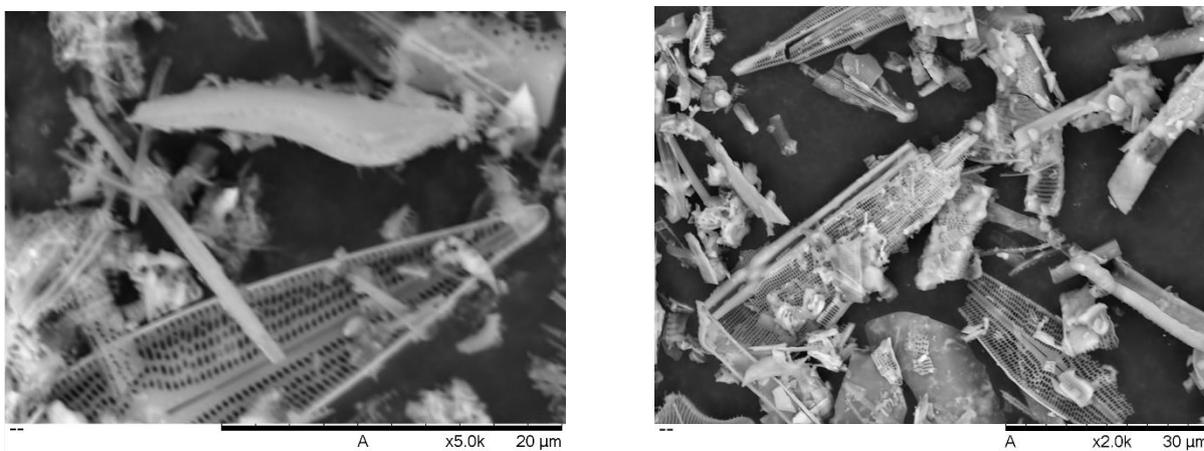
Fonte: Autor, 2018

Comparados os valores obtidos da amostra de areia e os limitantes da norma, a amostragem está dentro dos parâmetros exigidos para o uso em matrizes cimentícias para a construção civil.

### 5.2.2 DIATOMITA

Para a caracterização da diatomita, foi realizada a caracterização por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), com ampliação de 5k, a natureza porosa da partícula do material, na Figura 10. Também pode ser percebido o formato da carapaça navicular da microestrutura, característica de diatomitas com origem em áreas alagadiças às margens de rios (SOUZA, 2003).

Figura 9 - MEV amostra de diatomita.

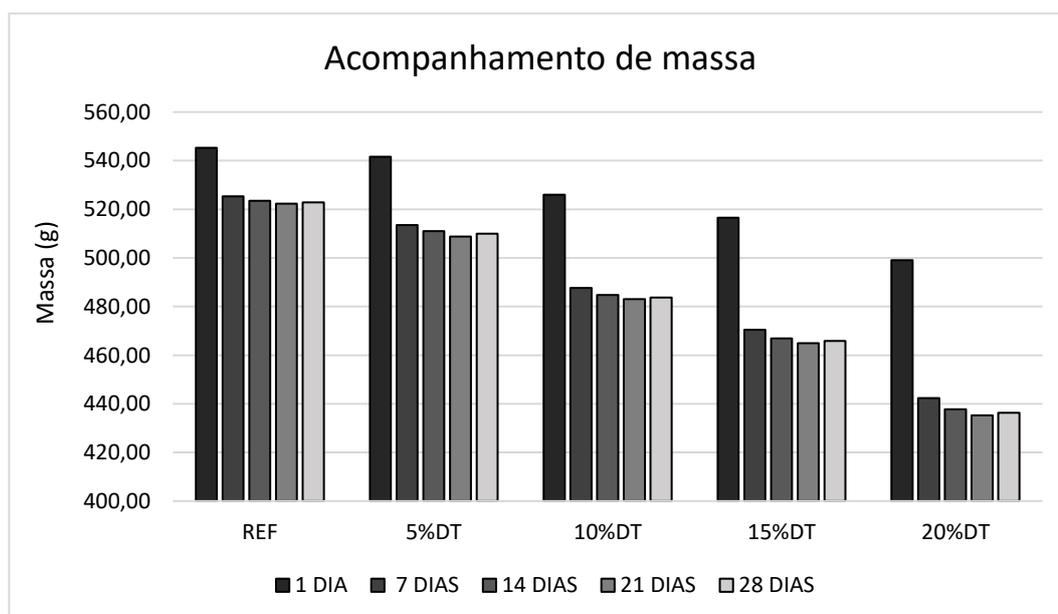


Fonte: CERMAT, 2017

### 5.3 ACOMPANHAMENTO DE MASSA

O acompanhamento da variação de massa dos corpos de prova foi feito aos 1, 7, 14, 21 e 28 dias. Os valores estão expressos no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Acompanhamento de massa.

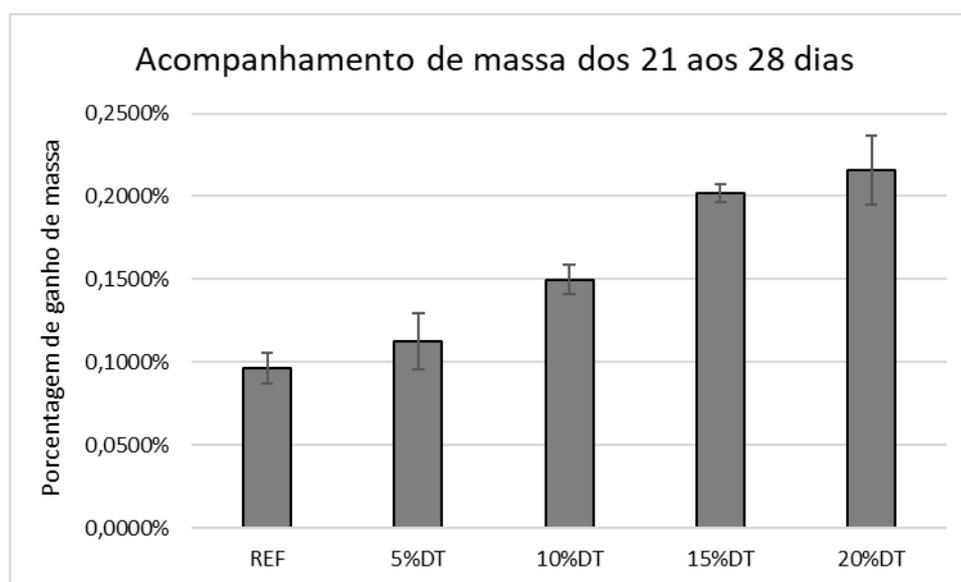


Fonte: Autor, 2018

O acompanhamento da perda de massa mostra que quanto maior o teor de DT da amostra, maior a diferença de massa no período analisado. Os resultados também evidenciam a menor massa final das amostras com maior teor de DT, conforme esperado no estudo.

Pode ser observado um ganho de massa em todas as formulações, entre os 21 e 28 dias. Os valores em porcentagem estão demonstrados no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Acompanhamento de massa dos 21 aos 28 dias.



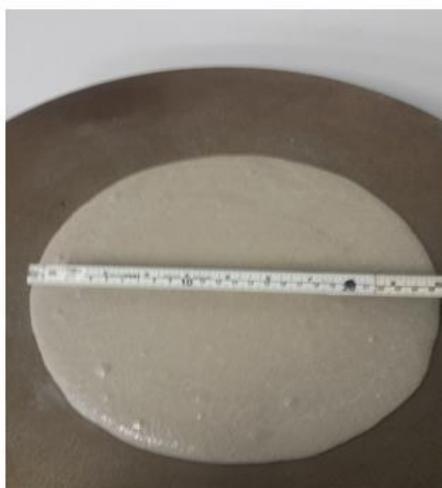
Fonte: Autor, 2018

Conforme o aumento de diatomita na composição, maior a massa incorporada pelos corpos de prova (CARNEIRO, 1999). Como as composições com maior teor de diatomita possuem uma estrutura mais porosa, o ganho de massa pode ser atribuído à incorporação da umidade do ambiente em que os corpos de prova estavam expostos para a cura. Como os valores são relativamente baixos, não interferem nos demais resultados do estudo.

## 5.4 FLOW TABLE TEST

O *Flow Table Test* definiu a quantidade de água necessária para uma abertura pré-estipulada, o que garantiu a trabalhabilidade constante e a variação da quantidade de água consumida como principal fator analisado. A Figura 11 apresenta uma medida da abertura na mesa de consistência.

Figura 10 – Argamassa após ensaio



Fonte: Autor, 2018

Para a abertura  $230\pm 20\text{mm}$ , os valores resultantes estão expressos na Tabela 7.

Tabela 7 – Resultados Flow Table Test

<b>Amostra</b>	<b>%DT</b>	<b>Abertura Flow Table (mm)</b>	<b>% H<sub>2</sub>O</b>
REF	0%	230	15%
5%DT	5%	250	19%
10%DT	10%	230	22%
15%DT	15%	250	27%
20%DT	20%	250	31%

Fonte: Autor, 2018

Percebe-se um aumento constante do montante de água necessário para cada acréscimo na porcentagem de diatomita substituída, o que se deve ao fato da alta porosidade da partícula da diatomita, que necessita de uma área de molhamento maior para preencher todos os seus vazios (SOUZA, 2003).

Conforme a adição de diatomita, percebeu-se um maior aprisionamento inicial de água na formulação durante a mistura, visto que inicialmente a massa se apresentava seca e de difícil manuseio. Porém, parte desta água aprisionada despreendeu-se e formou o efeito de exsudação, fenômeno em que a água livre desloca-se para a superfície da mistura, formando uma lâmina de água alguns minutos após a mistura. Esta água torna a abertura na mesa excessiva e maior conforme a adição de diatomita.

Este fato tornou o objetivo de manter a abertura constante mais difícil e foi necessário estipular uma variação aceitável relativamente alta de 20mm, baseado nos melhores resultados durante a execução do ensaio.

Segundo Rossignolo e Agnesini (2000), o intervalo de valores de abatimento de tronco de cone para argamassas leves é menor do que para argamassas convencionais. Este fato se deve à menor deformação da argamassa leve pela ação da gravidade pelos golpes de queda da mesa.

Ainda segundo o autor, a maior abertura em relação à argamassas convencionais é resultante do excesso de água. Durante a mistura da matriz cimentícia é possível identificar a água aprisionada subindo à superfície e tornando-se livre no momento do ensaio de consistência ou molde dos corpos de prova.

## **5.5 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO**

A Figura 12 mostra os corpos de prova para ensaios mecânicos com dimensões 4x4x16cm, após serem desmoldados e aguardando o tempo de cura.

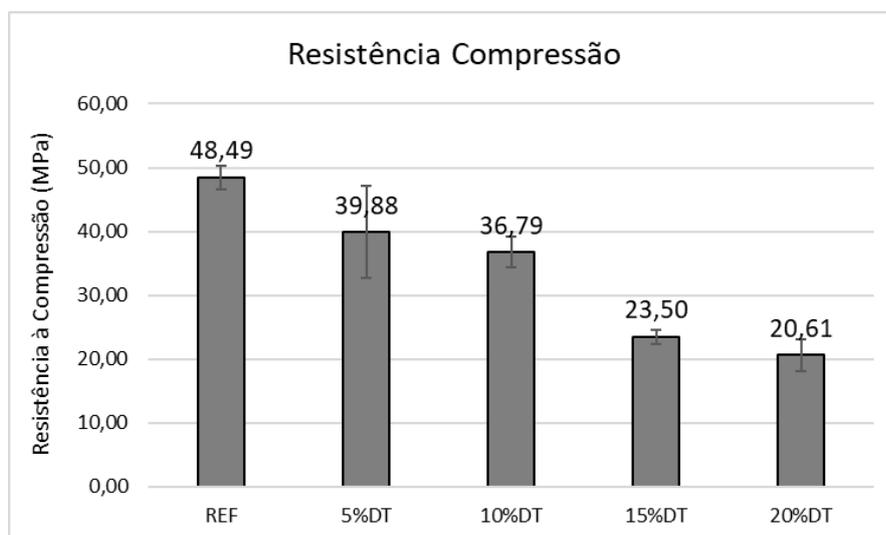
Figura 11 - Corpos de prova para ensaios mecânicos



Fonte: Autor, 2018.

Os valores médios de resistência à compressão foram obtidos a partir de amostras com 28 dias. Os resultados estão expressos no Gráfico 4, onde pode ser observado a diminuição da resistência mecânica conforme maior o teor de diatomita empregado na argamassa, possivelmente devido a quantidade de água incorporada ser elevada.

Gráfico 4 - Resistência à Compressão



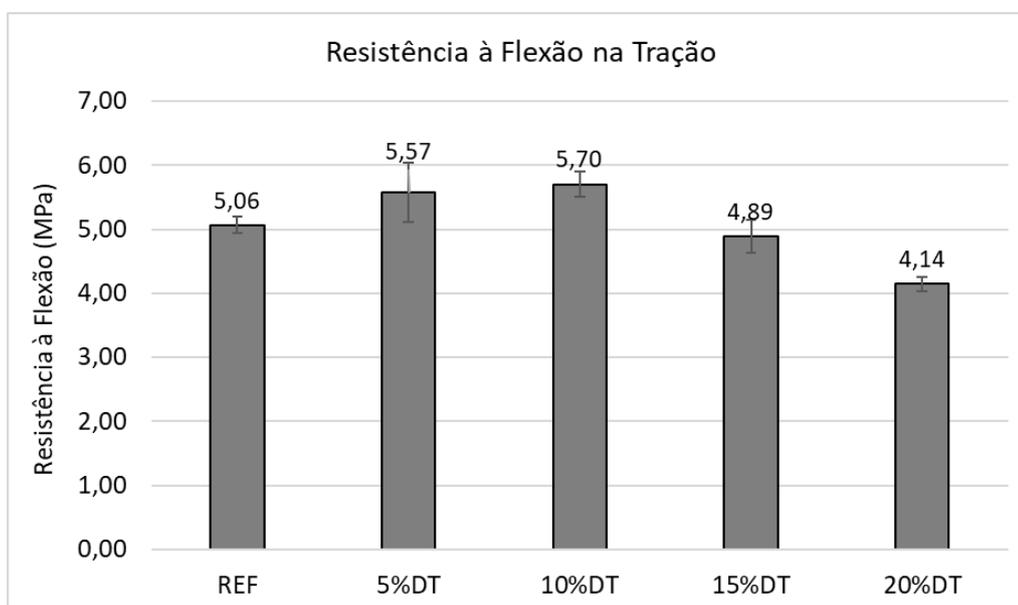
Fonte: Autor, 2018

Conforme maior a quantidade de água no sistema, haverá maior retração por secagem e a presença de poros também é elevada, diminuindo assim a resistência mecânica da argamassa (BRANCO, 2014).

## 5.6 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

Os resultados médios de resistência à tração na flexão das amostras estudadas estão apresentados na Gráfico 5. Pode ser observado um incremento de resistência nas amostras 5%DT e 10%DT em relação à REF, porém para as próximas formulações com mais diatomita, os valores são gradativamente menores do que os apresentados pela REF.

Gráfico 5 - Resistência à flexão na tração.



Fonte: Autor, 2018

O aumento de resistência à tração nas amostras com 5%DT e 10%DT podem, segundo Agopyan *et al* (1997), ser resultantes da adição ser rica em fibras naviculares, que conferem maior capacidade de absorção de energia, resistência à tração e ao impacto.

Os baixos valores resultantes da resistência à tração na flexão eram esperados devido ao fraco desempenho de estruturas cimentícias em relação a este esforço (BAUER, 1994).

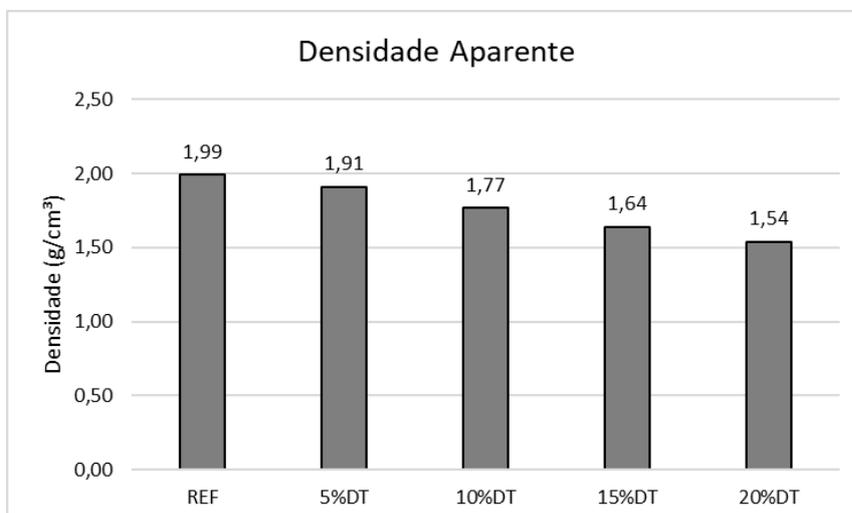
## 5.7 PROPRIEDADES FÍSICAS

Nesta seção serão apresentados os resultados referentes às propriedades físicas, obtidos pelo princípio de Arquimedes e regidas pelas equações (1), (2) e (3).

### 5.6.1 DENSIDADE APARENTE

Os resultados referentes à densidade aparente indicam uma queda conforme a quantidade substituída de areia pela diatomita, sendo REF a formulação com maior densidade aparente e 20%DT a formulação com o menor valor do parâmetro. O desempenho era esperado devido à quantidade de água utilizada em cada formulação ser crescente e formar poros, diminuindo desta forma a densidade aparente (BAUER, 1994). Os resultados podem ser analisados conforme o Gráfico 6.

Gráfico 6 - Densidade Aparente.



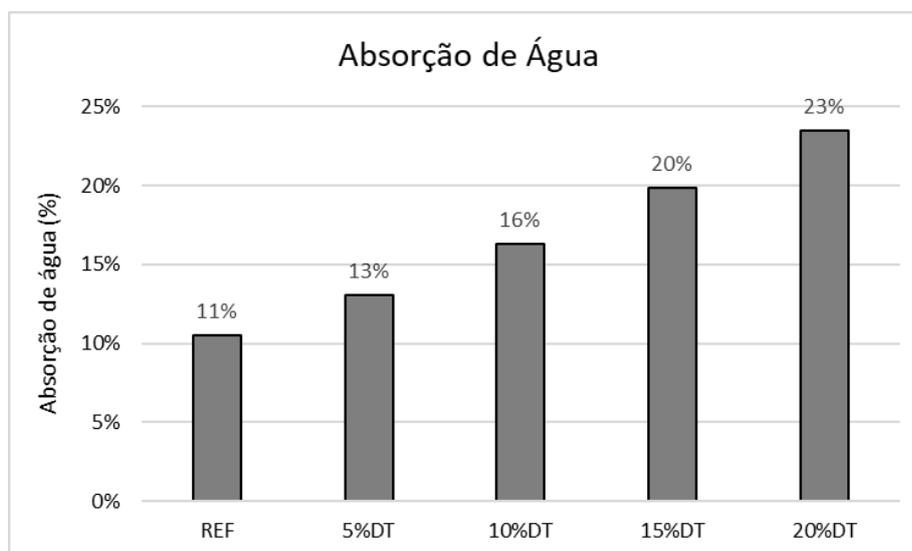
Fonte: Autor, 2018

De fato, quanto menor o valor da massa específica aparente da argamassa, maior será o volume ocupado pelo agregado na mistura e desta forma favorecerá a redução da densidade aparente das amostras com maior quantidade de diatomita.

### 5.6.2 ABSORÇÃO DE ÁGUA

Quanto à absorção de água, os valores são crescentes conforme a incorporação de DT. A microestrutura da diatomita é porosa, retendo maiores quantidade de água conforme maior a quantidade da adição mineral usada. Os resultados para absorção de água estão apresentados no Gráfico 7.

Gráfico 7 – Absorção de água.



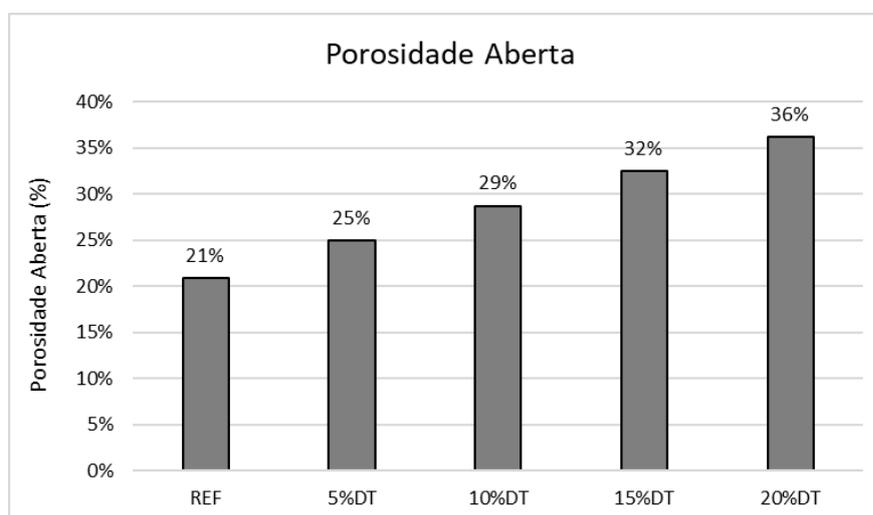
Fonte: Autor, 2018

Os parâmetros com maior influência na absorção de água são a granulometria do material, a microestrutura de cada componente bem como a estrutura final da amostra e a dosagem de água utilizada (RATO, 2006). Desta forma, a formulação 20%DT foi a que obteve maiores valores de absorção de água, enquanto a amostra REF apresentou os menores valores.

### 5.6.3 POROSIDADE ABERTA

A porosidade aberta teve um acréscimo conforme a incorporação de DT, sendo a maior média de valores alcançada pela formulação 20%DT, conforme o Gráfico 8. A porosidade é um fator diretamente ligado à quantidade de água utilizada na mistura que não foi consumida na hidratação do cimento. Esta água fica livre e forma poros na estrutura da amostra (BRANCO, 2014).

Gráfico 8 – Porosidade Aberta.



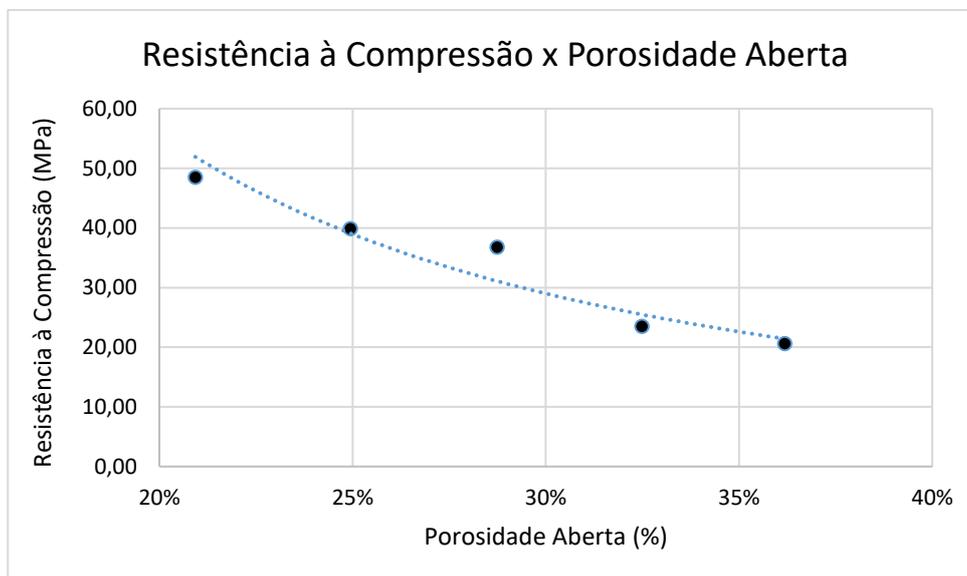
Fonte: Autor, 2018

O aumento da porosidade aberta pode ser atribuído à facilidade da diatomita absorver água e retê-la durante o processo de cura (BRANCO, 2014).

## 5.7 RELAÇÕES ENTRE AS PROPRIEDADES

A partir dos resultados das propriedades físicas e ensaios mecânicos, é possível correlacionar as propriedades. No Gráfico 9, está apresentada a tendência da relação entre a resistência à compressão e a porosidade aberta.

Gráfico 9 – Relação entre resistência à compressão e porosidade aberta.

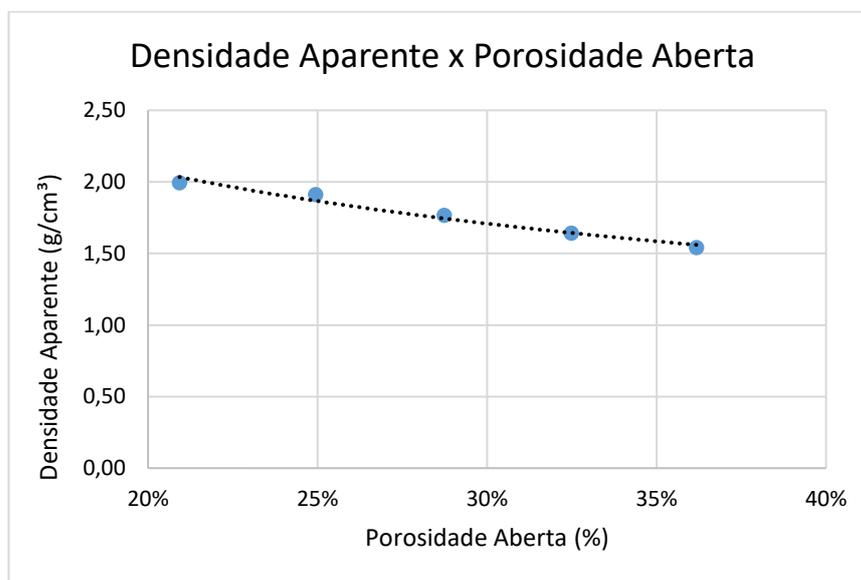


Fonte: Autor, 2018

A relação entre ambos indica uma relação de potência, visto que a resistência à compressão diminui conforme o acréscimo de diatomita, resultado esperado devido à estrutura dos corpos de prova ficar mais fragilizada com o aumento da porosidade, conforme Silva (2011).

A relação entre densidade aparente e porosidade aberta é inversamente proporcional, visto que para maiores valores de densidade aparente, concentrados em formulações com menor quantidade de diatomita, menor o resultado para porosidade aberta, conforme apresentado no Gráfico 10.

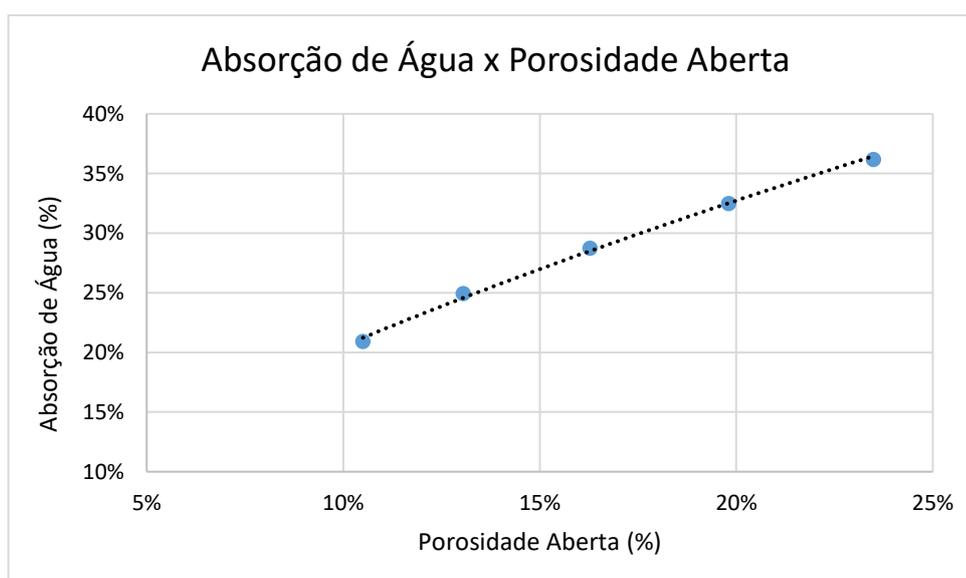
Gráfico 10 - Relação entre densidade aparente e porosidade aberta.



Fonte: Autor, 2018

Efetuada a mesma análise, as propriedades de absorção de água e porosidade aberta são diretamente proporcionais, conforme apresentado no Gráfico 11.

Gráfico 11 - Relação entre absorção de água e porosidade aberta.



Fonte: Autor, 2018

A proporcionalidade das propriedades é coerente pois são diretamente influenciadas pela quantidade de água adicionada na mistura, que por sua vez foi crescente conforme maior a quantidade de diatomita substituída no agregado.

## 6 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos neste trabalho de pesquisa, foi possível concluir que a diatomita (DT) influenciou as propriedades físicas e mecânicas das argamassas, em diferentes níveis, dependendo do teor utilizado.

Em relação à massa dos corpos de prova, o comportamento foi linear e decrescente conforme a adição de DT nos corpos de prova, sendo REF os corpos de prova com maior massa e 20%DT os mais leves. Entre os 21 e 28 dias houve um incremento de massa, o que pode ser atribuído à umidade do local que os corpos de prova estavam expostos. Este incremento de massa teve maior influência nas amostras com maior teor de diatomita, visto que estas possuem maior absorção de água.

Tais resultados comprovam a influência de adições porosas no peso das argamassas, devido à maior porosidade aparente de amostras com 20%DT e consequente menor densidade aparente para a mesma amostra. A absorção de água é proporcional à porosidade aberta, sendo a formulação com 20%DT a com maior porcentagem de absorção e porosidade.

Em relação às resistências mecânicas, o incremento de diatomita resultou em uma menor resistência à compressão, sendo a amostra sem adição, REF, com maior resistência ao esforço. Tal resultado era esperado conforme Huang *et al.* (2009), que associa à baixa resistência à crescente porosidade dos corpos de prova com maior teor de diatomita.

Considerando a resistência à tração na flexão, pode ser observado um pico de resistência nas amostras 5%DT e 10%DT em relação à REF e as demais amostras, que obtiveram menores valores conforme a variação de diatomita. Pode ser considerado um teor ótimo para a tração na flexão os valores entre 5%DT e 10%DT pelo seu melhor desempenho, ocasionado pelo melhor arranjo das partículas na estrutura cimentícia (MEHTA, 1994)

Em resumo, pode-se concluir que o acréscimo da adição mineral diatomita resultou em propriedades interessantes para aplicações não estruturais, como a menor massa das amostras com elevado teor de diatomita. Para os resultados mecânicos, pode-se perceber que os valores estariam dentro dos parâmetros

necessários para uso em assentamento de blocos estruturais, sendo que a capacidade de resistir aos esforços mecânicos de compressão supera os 16MPa, valor estabelecido pela NBR 6136 (2006).

## SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A replicação da pesquisa para concretos leves estruturais parece interessante, visto o desempenho aceitável da argamassa com agregados leves quanto às resistências mecânicas. Para suprir as deficiências do estado plástico das argamassas, é interessante também o estudo utilizando aditivos para a manutenção da trabalhabilidade, visto que os agregados porosos criam uma dificuldade quanto ao manuseio da consistência da argamassa.

O estudo de outros traços também é interessante, visto que a resistência mecânica da argamassa supriu além da necessidade para a função de assentamento de blocos cerâmicos. Esta medida reduziria os custos da mistura.

É interessante também considerar a incorporação de outras adições, como agregados ou não. As propriedades de interesse devem servir de parâmetro para a escolha de outras adições, ainda incorporando a diatomia e tendo conhecimento dos seus resultados parciais.

## REFERÊNCIAS

A. B. da Luz, F. A. F. Lins, (Eds.), **Rochas e Minerais Industriais - Usos e especificações**, CETEM/MTC, Rio de Janeiro, 2005.

ABREU, S.F. **Recursos Minerais do Brasil**. São Paulo: Edgard Blucher e EPUSP, 1973, v. 1.

AGOPYAN, V.; SAVASTANO JR., H. **Uso de materiais alternativos a base de fibras vegetais na construção civil: experiência brasileira**. In: Seminário Iberoamericano de Materiais Fibrorreforzados, 1., Cali, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. 7.ed. São Paulo, 2002. 28 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 8798: **Execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto**. Rio de Janeiro. 1985. 15p.

\_\_\_\_\_. NBR 9778: **Argamassa e concreto endurecido – Determinação da absorção de água por imersão-índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. NBR 13276 **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência**. São Paulo, 2002.

\_\_\_\_\_. NBR 13279 **Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_.NBR 13281: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos**. Rio de Janeiro. 2001. 3p.

\_\_\_\_\_.NBR 15812-2: **Alvenaria estrutural – Blocos cerâmicos**. Parte 2: Execução e controle de obras. Rio de Janeiro. 2010. 28p.

ANEPAC, Associação Nacional das Entidades de Produtos de Agregados para Construção Civil. **Seminário Internacional sobre Agregados para Construção Civil**. Campinas, 2004.

BAÍÁ, L. L. M; SABBATINI, F. H. **Projeto e execução de revestimento de argamassa**. São Paulo, 2002. 82p.

BASTOS, P. K. X., **Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas de revestimento**. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo. 2001. 190p.

BAUER, L A Falcão. **Materiais de construção**. 5ª edição. Rio de Janeiro: RJ. LTC-Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1994. 935p.

BAUER, E. **Revestimento de argamassa – Características e peculiaridades**. 1. ed.B Brasília: LEM-UnB – SINDUSCON/DF. 2005

BNDES, Banco Nacional de Desenvolvimento. **Perspectivas e desafios para inovar na construção civil**. Dez 2009. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br>>. Acesso em: Mar, 2018.

BRANCO, Fernando G. **Materiais de construção: Agregados**. Moçambique. 2014. 57 slides. Licenciatura em Engenharia Civil – Unilúrio. Apresentação em Powerpoint. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/disciplina/hidraulica-e-abastecimento>>. Acesso em: 14 abr. 2018.

BREESE, R. O. Y. **Diatomite**. In: **Industrial Minerals and Rocks**, Ed. SMME, 6a edition, Senior Editor: CARR, D. D., p.397-412. 1994.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Boletim Estatístico**. Brasília, 2017. Disponível em: <[http://www.cbicdados.com.br/media/anexos/Boletim\\_Ano13n02.pdf](http://www.cbicdados.com.br/media/anexos/Boletim_Ano13n02.pdf)>. Acesso em 19 abr. 2017.

CAMPITELI, Vicente Coney. SCHULZ, Sérgio Luiz. **Consumo de cimento em concretos de cimento Portland: A influência da massa específica dos agregados**. In: IX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Anais**. Foz do Iguaçu/PR, maio 2002. Disponível em: <[http://www.infohab.org.br/entac2014/2002/Artigos/ENTAC2002\\_1221\\_1230.pdf](http://www.infohab.org.br/entac2014/2002/Artigos/ENTAC2002_1221_1230.pdf)>. Acesso em: 14 abr. 2018.

CARASEK, H., **Notas de aula – Argamassas**, cap. 26, Universidade Federal de Goiás, 2007. Disponível em: <[http://aquarius.ime.eb.br/~moniz/matconst2/argamassa\\_ibracon\\_cap26\\_apresentacao.pdf](http://aquarius.ime.eb.br/~moniz/matconst2/argamassa_ibracon_cap26_apresentacao.pdf)>. Acesso em 20 de Abril de 2018.

CARNEIRO, A. M. P– **Contribuição ao estudo da influência do agregado nas propriedades de argamassas compostas a partir de curvas granulométricas**. São Paulo, 1999.

CAVALHEIRO, O.P. **Argamassa de Assentamento: Receita, Dosagem ou Adequação de Traço?** In: I Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, p. 134-142. Goiânia, GO, 1995.

COMITÉ EURI-INTERNATIONAL DU BETÓN e FÉDÉRATION INTERNATIONALE DE LA PRÉCONTRAÎNTE – CIB-FIP. **Lightweight aggregate concrete – Manual of design and technology**. The Construction Press, 169p, 1977.

CINCOTTO, M. A.; NAKAKURA, E. H. **Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento**. São Paulo: EPUSP, 2004. 20p.

COSTA, J. L. **Diatomita**. Sumário Mineral, DNPM, p. 43. 2004

FRANÇA, S. C. A.; LUZ, A. B. **Beneficiamento de diatomita da Bahia**. CETEM/MTC, Rio de Janeiro, 2002.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 1994.

GOMES, A. O. **Propriedades das Argamassas de Revestimentos e Fachadas**. Escola Politécnica da UFBA. Comunidade da Construção, Salvador, 2008. Disponível em: <[http://www.abcp.org.br/comunidades/salvador/ciclo3/htms/download/Propriedades\\_das\\_argamassas\\_de\\_revestimento\\_2008.pdf](http://www.abcp.org.br/comunidades/salvador/ciclo3/htms/download/Propriedades_das_argamassas_de_revestimento_2008.pdf)>. Acesso em: 28 de março de 2017.

HOLM, T.A.; BREMNER, T.W. **State-of-the-art report on high-strength, high-durability structural low-density concrete for applications in severe marine environments**. US Army Corps of Engineers – Engineer Research and Development Center. ERDC/SL TR-00-3. 116p.,1994.

HUANG, B.; HAO, W.; XIANG, S.; BURDETTE E.G. **Laboratory evaluation of permeability and strength of polymer-modified pervious concrete**. Elsevier Journal. Construction and Building Materials, 2009.

JÚNIOR, Paulo Roberto Axt. **Estudo da influência da adição da poliuretana em argamassas de cimento**. 2016. 58 f. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 1994, 573p.

MOHAMAD, G. **Comportamento mecânico na ruptura de prismas de blocos de concreto**. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 1998, 180p.

PAULA, R. F., **Vermiculita**. Sumário Mineral, v. 34, p. 122-123, 2014.

RATO, V. N. P. M., **Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas**. Lisboa, 2006. 294p.

RECENA, F. A. P., **Conhecendo Argamassa**, 2ªed, Editora EDIPURS, Rio Grande do Sul, 2011.

ROMAN, H. R. **Revestimentos de Argamassa**. Florianópolis, 2014. 19 slides, color. Disponível em: <<http://www.npc.ufsc.br/gda/humberto/09.pdf>>. Acesso em: 04 abr. 2018.

ROSSIGNOLO, J.A. **Concreto Leve Estrutural: produção, propriedades, microestrutura e aplicações**. Pini. São Paulo, 2009.

ROSSIGNOLO, J.A.; AGNESINI, M.V.C. **Propriedades no estado fresco dos microconcretos leves de alto desempenho modificados com polímero** – Estudo de caso. In: IV CONGRESSO DE ENGENHARIA CIVIL. Anais. Juiz de Fora, v.1. p.551-22, 2000.

SABBATINI, F. H. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico-cálcario**. 1984. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

SOUZA, J. F. **Perfil analítico da diatomita**. Ministério das Minas e Energia/DNPM, Boletim n. 11 - Rio de Janeiro, 1973.

TANNÚS et al. **Agregados para a construção civil no Brasil**. Contribuição para a formulação de políticas públicas. MME/SGM/CETEC – Juiz de Fora, 2007.

VITORINO, Priscilla. **Desenvolvimento de pastas geopoliméricas porosas com uso de peróxido de hidrogênio**. 2016. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina.

VOTORANTIM CIMENTOS. **Cimento: CPV ARI**. Disponível em: <<http://www.mapadaobra.com.br/produtos/cimento/linha/cimento-cp-v-ari>>. Acesso em: 24 out. 2018

WAKEEL, A. M. **Characterization and process development of the Nile diatomaceous sediment**, Int. J. Miner Process.92 p.128-136 (2009).

WEIDMANN, Denis Fernandes. **Contribuição ao estudo da influência da forma e da composição granulométrica de agregados miúdos de britagem nas propriedades do concreto de cimento Portland**. Florianópolis, 2008. 273 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina