

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**  
**CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**

**SAMUEL ALMEIDA FONSECA**

**UTILIZAÇÃO DE FILOSSILICATO HIDRATADO DE MAGNÉSIO EM**  
**COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS**

**BELO HORIZONTE**

**2015**

SAMUEL ALMEIDA FONSECA

UTILIZAÇÃO DE FILOSSILICATO HIDRATADO DE MAGNÉSIO EM COMPÓSITOS  
CIMENTÍCIOS

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado no curso de graduação em  
Engenharia de Materiais no Centro  
Federal de Educação Tecnológica de  
Minas Gerais como requisito parcial para  
obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia de Materiais

Orientador: Augusto César da Silva Bezerra

BELO HORIZONTE

2015

SAMUEL ALMEIDA FONSECA

**UTILIZAÇÃO DE FILOSSILICATO HIDRATADO DE MAGNÉSIO EM  
COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado no Curso de Graduação em  
Engenharia de Materiais do Centro  
Federal de Educação Tecnológica de  
Minas Gerais como requisito parcial  
para obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia de Materiais

Aprovado em :

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Augusto César da Silva Bezerra – Orientador

---

Profa. Aline Silva Magalhães – CEFET-MG

---

Profa. Luciana Boaventura Palhares – CEFET-MG

Dedico este trabalho de conclusão de curso ao meu orientador: Augusto César da Silva Bezerra, que me incentivou a estudar o tema proposto, bem como me apoiou em todos os momentos em que precisei. A minha família e aos meus amigos que estiveram presentes nesse tempo ao meu lado.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela vida.

Aos meus pais Francisco Santos Fonseca e Maria Rita Fonseca, a minha irmã Tamara Fonseca.

Aos meus amigos Douglas Sthéfanno, Bruna Luísa e Felipe Mateus pela convivência maravilhosa que temos e pelo interesse em sempre ajudar.

Ao técnico do laboratório Marcos Maia e a aluna de Mestrado em Engenharia de Materiais Daniela Casagrande pela ajuda e pelos conhecimentos trocados.

Ao professor Augusto César, orientador deste trabalho, respectivamente, por tudo que me proporcionou, pelas orientações e ensinamentos.

Meu muito Obrigado!

## RESUMO

A adição de materiais em compósitos cimentícios são para diversos fins, como por exemplo, modificar as propriedades mecânicas, químicas e físicas dos compósitos procurando melhorar seu desempenho. No presente trabalho, o material de estudo a ser adicionado em compósitos cimentícios é um filossilicato hidratado de magnésio ( $Mg_3(Si_2O_5)_2(OH)_2$ ) que é um mineral extremamente fino e relativamente fácil de ser encontrado na natureza. Por ser extremamente fino ele possui a capacidade de preencher espaços que muitas vezes traz mudanças nas características do material, esse efeito pode ser denominado de efeito filler. O trabalho é conduzido pela caracterização do filossilicato a fim de avaliar sua compatibilidade com os compósitos cimentícios e suas principais características. Além da caracterização do filossilicato realizou-se ensaios de resistência a compressão e flexão para as diferentes adições de material. Realizou-se também, para essas mesmas adições, análises topográficas, utilizando procedimentos de Metalografia e MEV. Os resultados mostraram que as resistências à compressão e à tração na Flexão não alteraram significativamente de um adição para outra.

Palavras chave: filossilicato, compósitos cimentícios, efeito filler, propriedades mecânicas

## ABSTRACT

The addition of cementitious composites in materials are for various purposes such as modify the mechanical, chemical and physical properties of the composite seeking to improve performance. In this study, the study material to be added in cement composites is a hydrated magnesium phyllosilicate ( $\text{Mg}_3(\text{Si}_2\text{O}_5)_2(\text{OH})_2$ ) which is an extremely fine mineral and relatively easy to be found in nature. Being extremely thin it has the ability to fill spaces that often brings changes in the characteristics of the material, this effect can be called filler effect. The work is conducted by the characterization of the phyllosilicate to assess their compatibility with the cement composites and their main characteristics. In the characterization of phyllosilicate held compressive strength and flexural tests for the different additions of material. was also performed for these same additions, topographic analysis using Metallography procedures and scanning electron microscopy. The results showed that the resistance to compression and traction in flexion did not change significantly from one to another addition.

Keywords: phyllosilicate, cementitious composites, filler effect, mechanical property

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Aplicação da argamassa .....	17
Figura 2	- Mineral pertencente ao grupo dos filossilicatos hidratados de magnésio .....	21
Figura 3	- Estrutura de um filossilicato.....	22
Figura 4	- Fluxograma do planejamento experimental .....	28
Figura 5	- Filossilicato Hidratado de Magnésio na sua forma em pó .....	29
Figura 6	- Recipiente contendo Cimento CP V ARI.....	30
Figura 7	- Areia normal.....	31
Figura 8	- Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), modelo Shimadzu (SSX – 550). 32	
Figura 9	- Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), modelo Hitachi (TM 3000) .....	33
Figura 10	- Metalizadora Sanyu Electron. ....	33
Figura 11	- Difratorômetro de raio X .....	35
Figura 12	- Amostra de Filossilicato Dissolvida em água .....	37
Figura 13	- Equipamento de Granulometria utilizado .....	37
Figura 14	- Equipamento de DTA/DGA.....	38
Figura 15	- Pesagem dos componentes da argamassa.....	40
Figura 16	- Argamassadeira utilizada na preparação das argamassas .....	41
Figura 17	- Moldes para o ensaio de Compressão .....	42
Figura 18	- Corpo de prova finalizado para o ensaio de Compressão .....	43
Figura 19	- Corpo de prova acoplado na máquina de ensaios .....	44
Figura 20	- Corpo de prova finalizado para o ensaio de Flexão .....	44

Figura 21	- Máquina de ensaio preparada para o ensaio de Flexão .....	45
Figura 22	- Amostras que foram submetidas a Metalografia.....	46
Figura 23	- Lixadeira utilizada para o procedimento de Metalografia .....	46
Figura 24	- Gráfico da Difração de Raio X para o Filossilicato Hidratado de Magnésio.....	47
Figura 25	- Micrografia de uma área com excesso de Filossilicato.....	48
Figura 26	- Micrografia de uma área com menor concentração de Filossilicato.....	49
Figura 27	- Resultados obtidos no ensaio de granulometria a laser.....	50
Figura 28	- Gráfico obtido na análise EDS para o Filossilicato.....	51
Figura 29	- Gráfico de DTA/TGA .....	52
Figura 30	- Gráfico de resistência à compressão .....	53
Figura 31	- Gráfico de resistência à tração na flexão.....	54
Figura 32	- Micrografia para a amostra sem adição de Filossilicato – Aumento de 25x .....	55
Figura 33	- Micrografia para a amostra sem a adição de Filossilicato – Aumento de 1000x	56
Figura 34	- Micrografia da superfície da amostra com 5% de Filossilicato .....	57
Figura 35	- Micrografias da superfície da amostra com adição de 10% de Filossilicato .....	57
Figura 36	- Micrografia da amostra com adição de 10% de Filossilicato – Aumento de 30x	58

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Classificação dos Silicatos de acordo com o arranjo dos tetraedros .....	21
Tabela 2	- Definição dos traços referência de comparação na adição do Filossilicato .....	39
Tabela 3	- Dados obtidos com o ensaio de Granulometria a laser .....	49
Tabela 4	- Composição química do Filossilicato indicada pelo EDS .....	51

## LISTA DE SÍMBOLOS

$f_c$  = resistência à compressão, em megapascals

$F$  = é a força máxima alcançada, em newtons

$D$  = é o diâmetro do corpo de prova, em milímetros

$R$  = resistência à flexão, em megapascals

$Q$  = é a carga máxima indicada na máquina de ensaios

$L$  = é a dimensão do vão entre apoios, em centímetros

$b$  = é a largura média do corpo de prova, em centímetros

$h$  = é a altura média do corpo de prova, em centímetros

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>16</b>
2.1	Objetivo Geral .....	16
2.2	Objetivos Específicos .....	16
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>17</b>
3.1	Compósitos Cimentícios.....	17
3.1.1	Argamassa .....	17
3.1.2	Cimento .....	18
3.1.2.1	Cimento Portland de alta resistência Inicial (CP V ARI).....	19
3.2	Filossilicatos .....	20
3.2.1	Informações Gerais:.....	20
3.2.2	Filossilicato hidratado de magnésio (Talco):.....	22
3.2.3	Aplicações do Filossilicato Hidratado de Magnésio: .....	23
3.3	Técnicas de Caracterização Mecânica .....	25
3.3.1	Ensaio de Compressão.....	25
3.3.1.1	Cálculo da resistência à Compressão.....	26
3.3.2	Ensaio de Flexão.....	26
3.3.2.1	Cálculo da Resistência à Tração.....	26
3.4	Efeito Filler.....	27
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>28</b>

4.1	Materiais .....	28
4.1.1	Filossilicato hidratado de magnésio .....	28
4.1.2	Cimento Portland CP V ARI .....	29
4.1.3	Frações de areia .....	30
4.1.4	Caracterização do Filossilicato .....	31
4.1.4.1	Microscopia eletrônica de varredura .....	31
4.1.4.2	Espectrômetro de raios-X dispersivo em energia .....	34
4.1.4.3	Difração de Raio-X.....	34
4.1.4.4	Granulometria.....	36
4.1.4.5	Análise térmica diferencial e termogravimétrica.....	38
4.1.5	Preparação dos Corpos-de-prova para os Ensaios de Compressão e para os Ensaios de Flexão .....	39
4.1.6	Preparação da Argamassa.....	39
4.1.7	Moldagem.....	41
4.1.8	Cura .....	42
4.1.9	Cura inicial ao ar.....	43
4.1.10	Cura final em água.....	43
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>47</b>
5.1	Resultados das Caracterizações do Filossilicato .....	47
5.1.1	Difração de raios-X .....	47
5.1.2	Microscopia eletrônica de varredura .....	48
5.1.3	Granulometria.....	49

5.1.4	Análise térmica diferencial e termogravimétrica.....	52
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>59</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>60</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente a sociedade está cada vez mais exigente com os materiais de construção presentes no mercado. Uma das razões é o crescente desenvolvimento de tecnologias. A escolha de um material deixou de levar em conta apenas o custo inicial. Atualmente, fatores como durabilidade, consumo energético e a interação com o meio ambiente também devem ser levados em conta, ate porque eles influenciam diretamente no custo final. (TIBONI, 2007).

O desenvolvimento de materiais e a melhor adequação dos processos de produção no âmbito da construção civil são necessários para mitigar alguns problemas no mundo contemporâneo. São significativas as interferências das atividades da construção civil, que decorrem das ações inerentes ao processo produtivo, incluindo tanto a obtenção dos insumos básicos, a produção dos componentes e elementos construtivos como a etapa de utilização do espaço construído, perante as condições impostas pelo usuário. (RODRIGUES; FERREIRA 2005).

A indústria da construção civil pode ser considerada atualmente como a que possui maior potencial para absorver resíduos e subprodutos gerados por outros setores industriais. (RODRIGUES; FERREIRA 2005). Além disso, a industria de construção civil, especificamente a indústria cimentícia utiliza de diversos minerais encontrados na natureza, por exemplo, a fim de compor o compósito final.

Além das adições minerais reduzirem o custo final da estrutura e melhorarem a resistência mecânica e durabilidade dos compósitos nos quais elas são utilizadas, elas também podem minimizar problemas ambientais com a incorporação de resíduos industriais poluentes na massa dos compósitos (TIBONI, 2007).

Algumas adições permanecem inertes e têm sua colaboração com o fíler para o empacotamento de partículas (efeito fíler), outras reagem com hidratos dos cimentos e se comportam como aglomerantes (efeito pozolânico) (TIBONI, 2007).

A utilização de minerais em compósitos cimentícios é usada já há um tempo e tem trazido “melhorias no desempenho no estado fluido quanto à diminuição da exsudação e diminuição do calor de hidratação, o que resulta numa diminuição da fissuração por retração,

além de melhorar as propriedades de durabilidade, devido ao refinamento da rede porosa das pastas de cimento, proporcionada pelo preenchimento do espaço entre as partículas de cimento pelo aditivo mineral” (AITCIN, 2000).

De acordo com Campos (2001) a utilização de talco em cerâmicos possibilita aumento na resistência mecânica. Sendo esta, uma das principais justificativas do presente trabalho. O uso do filossilicato hidratado de magnésio foi pensado partindo do pressuposto dele ser um material com granulometria fina, com isso, ele possibilitaria o preenchimento dos espaços vazios aumentando a resistência mecânica do compósito.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo do presente trabalho consiste em analisar a influência do filossilicato de magnésio hidratado em adição a compósitos cimentícios.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Caracterizar o Filossilicato Hidratado de Magnésio;
- Avaliar o comportamento mecânico de compósitos cimentícios com dois percentuais de adição de filossilicato;
- Avaliar a morfologia de compósitos cimentícios com duas adições de Filossilicato.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Compósitos Cimentícios

Compósito é definido como a combinação de dois ou mais materiais em escala macroscópica para formar material útil, frequentemente exibindo propriedades que nenhum dos outros componentes exibe independente (WOODHEAD, 1994).

##### 3.1.1 Argamassa

Uma argamassa é um produto que resulta da mistura de um agente ligante com uma carga de agregados. São conhecidas há mais de 10.000 anos, tendo sido produzidas e utilizadas inicialmente pelos Astecas e pelas populações presentes na Galiléia. Eram tradicionalmente usadas para montar paredes e muros e para revestir paredes. (BRITZ, 2007)

Na Figura 1 é mostrado a aplicação da argamassa já pronta para o uso em um muro de uma residência

**Figura 1- Aplicação da argamassa**



Fonte: FERREIRA (2001)

Argamassas são materiais de construção com propriedades de aderência e endurecimento, obtidos a partir da mistura homogênea de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo e água, podendo conter ainda aditivos e adições minerais (CARASEK, 2007).

As características e propriedades das argamassas, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, se devem principalmente às características e proporções dos materiais constituintes das mesmas. Desta forma, é importante conhecer a função de cada um destes materiais, a fim de selecionar os tipos e quantidades (dosagem) mais adequadas para cada mistura (MATOS, 2013).

Os agregados têm uma forte influência no comportamento das argamassas. Há vários fatores, como, a dureza, a forma dos grãos, a granulometria, a porosidade que afetam o comportamento da argamassa. Mas, naturalmente, também a sua origem, o estado de limpeza da areia são fatores que podem alterar as características da argamassa. Alguns destes fatores são habitualmente referidos, nos cadernos de encargos, para a seleção de areias. De fato, a areia funciona como o esqueleto da argamassa que ganha coesão pela ligação dos seus grãos ao ligante, pelo que, a qualidade do agregado é fundamental no comportamento global da pasta. Muito embora mantenham, na generalidade, a sua composição química verificou-se que, ao longo dos tempos, se podem verificar reações químicas entre a sílica da areia e o óxido de cálcio (MARGALHA, 2011).

As argamassas em estado endurecido têm vários tipos de aplicação, sendo que as suas características diferem conforme a finalidade de aplicação. Os valores são normalmente obtidos em condições de laboratório normalizados, enquanto em obra, dependendo das características de aplicação, os resultados podem ser diferentes. (MOURA, 2008)

### 3.1.2 Cimento

Conforme a norma NBR 5733 (ABNT, 1991), o cimento portland de alta resistência inicial, usado no presente trabalho é um aglomerante hidráulico que atende às exigências de alta resistência inicial, obtido pela moagem de clínquer Portland, constituído em sua maior parte de silicatos de cálcio hidráulicos, ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio.

De acordo com a Associação Brasileira do Cimento Portland (2002), o cimento portland é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece

sob ação da água. Depois de endurecido, mesmo que seja novamente submetido ação da água, o cimento portland não se decompõe mais.

O cimento portland é composto de clínquer e de adições. O clínquer é o principal componente e está presente em todos os tipos de cimento portland. As adições podem variar de um tipo de cimento para outro e são principalmente elas que definem os diferentes tipos de cimento.

Ainda de acordo com Associação Brasileira do Cimento Portland (2002) existem no Brasil vários tipos de cimento portland, diferentes entre si, principalmente em função de sua composição. Os principais tipos oferecidos no mercado, ou seja, os mais empregados nas diversas obras de construção civil são:

- cimento portland composto;
- cimento portland de alto-forno;
- cimento portland pozolânico.

Em menor escala são consumidos, seja pela menor oferta, seja pelas características especiais de aplicação os seguintes tipos de cimento:

- cimento portland de alta resistência inicial;
- cimento portland resistente aos sulfatos;
- cimento portland branco;
- cimento portland de baixo calor de hidratação;
- cimento para poços petrolíferos.

Todos os tipos de cimento mencionados são regidos por normas da ABNT, que dispõe de escritórios ou representações espalhados pelo país, nos quais poderão ser adquiridas essas normas.

#### 3.1.2.1 Cimento Portland de alta resistência Inicial (CP V ARI)

O cimento portland de alta resistência inicial (CP V-ARI) embora contemplado pela ABNT como norma separada do cimento portland comum, é na verdade um tipo particular deste, que tem a peculiaridade de atingir altas resistências já nos primeiros dias da aplicação. O desenvolvimento da alta resistência inicial é conseguido pela utilização de uma dosagem

diferente de calcário e argila na produção do clínquer, bem como pela moagem mais fina do cimento, de modo que, ao reagir com a água, ele adquira elevadas resistências, com maior velocidade.

## **3.2 Filossilicatos**

### **3.2.1 Informações Gerais:**

Os filossilicatos constituem um grupo de minerais, com grande importância para a geologia, pedologia e para a indústria. São constituintes essenciais de muitas rochas metamórficas, magmáticas, sedimentares e dos solos. Resultam de processos metamórficos, magmáticos, hidrotermais, diagenéticos e intempéricos, sendo usada na indústria como carga, matéria-prima para cerâmica, desodorizantes, entre outros (PONTES, 2005).

A palavra filossilicato deriva do grego *phylon*, que significa folha, uma vez que todos os membros desse grupo possuem hábito achatado ou em escama e clivagem basal perfeita e proeminente e as lamelas de clivagem (placas) são flexíveis elásticas ou plásticas, mais raramente quebradiças. De um modo geral, os filossilicatos exibem dureza baixa, normalmente inferior a 3,5, na escala Mohs, e densidade relativamente baixa em relação a outros silicatos (PONTES, 2005).

Conforme mostra a tabela abaixo, os filossilicatos pertencem a classe dos silicatos e são classificados quanto ao arranjo dos tetraedros da seguinte forma:

**Tabela 1 - Classificação dos Silicatos de acordo com o arranjo dos tetraedros**

Classe	Arranjo dos tetraedros
Nesosilicatos	Isolados
Sorosilicatos	Duplos
Ciclossilicatos	Anéis
Inossilicatos	Cadeias Simples ou Duplas
Filossilicatos	Folhas
Tectossilicatos	Estruturas Dimensionais

Fonte: MOSCOFIAN, 2009

As peculiaridades mais marcantes dos filossilicatos representada principalmente pela divisibilidade, dureza e hábito, residem na estruturação desse grupo de minerais, que é bastante numeroso. A estrutura constituída por tetraedros de silício compartilhados, em duas dimensões, formando uma folha, onde três dos quatro oxigênios dos tetraedros  $\text{SiO}_4^{4-}$  são compartilhados com os tetraedros vizinhos, levando a uma relação  $\text{Si}:\text{O}=2:5$ , que é denominada de "folha siloxama" ou simplesmente folha tetraédrica (T). Para a constituição dos minerais dessa classe as folhas tetraédricas são unidas a folhas octaédricas, constituídas por brucita  $[\text{Mg}(\text{OH})_2]$  ou gibbsita  $[\text{Al}(\text{OH})_3]$ , originando duas famílias ou clãs, denominados respectivamente de trioctaédrica e dioctaédrica (PONTES, 2005).

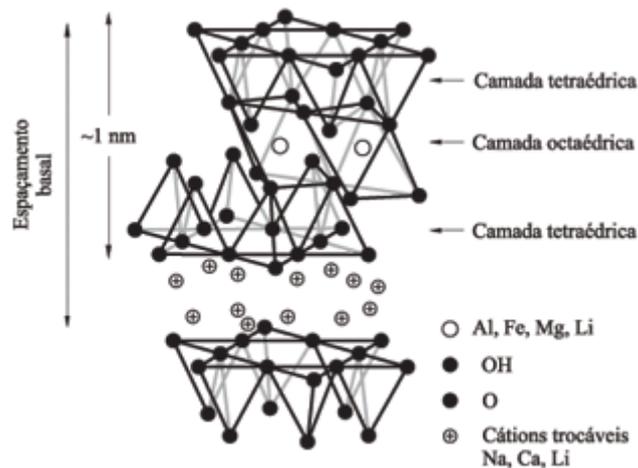
**Figura 2 - Mineral pertencente ao grupo dos filossilicatos hidratados de magnésio**

Fonte: (VAINE, 2005)

### 3.2.2 Filossilicato hidratado de magnésio (Talco):

O talco pertencente ao grupo das cloritas é uma rocha mole, untuosa ao tato, formada quer por alteração hidrotermal ou por metamorfismo de contato de rochas ígneas básicas ou de depósitos de magnesita ou dolomita. O constituinte mineral principal é o mineral talco que é um silicato hidratado de magnésio de estrutura lamelar ou em camadas com fórmula empírica  $3\text{MgO}\cdot 4\text{SiO}_2\cdot \text{H}_2\text{O}$ , contendo 63,5% de  $\text{SiO}_2$ , 37,7 de  $\text{MgO}$  e 4,8% de  $\text{H}_2\text{O}$  (SANTOS, 1975). É um mineral monoclinico, raramente cristalizado, estrutura lamelar fibrosa ou compacta, untoso ao tato, baixa dureza, clivagem perfeita em uma direção, translúcido e com massa específica em torno de  $2,7 \text{ g/cm}^3$ . As suas principais propriedades que o habilitam para uso industrial são a alta resistência ao choque térmico, leveza, baixo teor de umidade, alto poder de absorção de óleo e graxa, baixa condutividade térmica e elétrica e inércia química (Figura 3).

**Figura 3 - Estrutura de um filossilicato**



Fonte: (GUIMARÃES et al. 2006)

De acordo com Pontes (2005) os constituintes (Mg, Si, O, OH) assumem um arranjo espacial do tipo "t-o-t", isto é, uma estrutura do tipo "sanduíche" que exhibe duas folhas tetraédricas - t - formadas por átomos de silício e oxigênio (folha siloxana) que envolvem uma folha octaédrica - o - formada por magnésio e hidroxila (folha de brucita). As unidades estruturais do tipo t-o-t são ligadas entre si por ligações de van der Waals que conferem às partículas de talco algumas peculiaridades:

(i) zona de fraqueza ao longo do plano cristalográfico (0001), plano basal, cuja característica advém a clivagem basal perfeita; (ii) a quebra preferencial de ligações de van der Waals durante o processo de fragmentação confere a suas partículas uma superfície de caráter fortemente hidrofóbico. Este mesmo raciocínio explica a hidrofobicidade natural de outros minerais como a grafita e a molibdenita; (iii) untuosidade ao tato, poder lubrificante e adsorvente de óleos e gorduras (PONTES, 2005).

### 3.2.3 Aplicações do Filossilicato Hidratado de Magnésio:

O talco é utilizado em muitas aplicações desde indústrias de produtos minerais não metálicos (cerâmicos) até por exemplo, indústrias de produtos alimentares. Conforme Campos (2001) algumas aplicações do talco são:

Cerâmica – o talco é utilizado para aumentar a resistência ao choque térmico, diminuir a retração de queima, aumentar a resistência mecânica, diminuir a temperatura de maturação da massa, aumentar a resistência ao ataque de álcalis, diminuir a expansão por absorção de água, elevar a resistência elétrica em altas temperaturas e diminuir perda dielétrica. A quantidade de talco utilizada varia de acordo com o processo e o produto que se quer obter. Pode ser o componente principal (70-80%) na massa de isoladores elétricos ou secundários, como na massa para revestimentos, azulejos e cerâmica artesanal (7-15%).

Papel – a indústria de papel consome grande quantidade de talco, utilizado como carga (“*filler*”) quando incorporado à massa e como pigmento alvejante. Deve ser livre de impurezas, apresentando coloração ou alvura aceitável, ter alto índice de refração para garantir uma boa opacidade e ser quimicamente inerte, evitando reações com outros materiais usados na fabricação do papel. As principais propriedades que definem o uso do talco no fabrico do papel são: composição e propriedades químicas; geometria das partículas; densidade; abrasividade e alvura. A pirofilita é eventualmente utilizada como carga na fabricação de papéis de boa qualidade.

Borracha – o talco é utilizado como agente de pulverização para lubrificar os moldes e evitar que as superfícies se liguem durante a manufatura dos produtos; a pirofilita incorpora-se como carga inerte nas massas de borracha a serem vulcanizadas.

Tintas e Vernizes – o talco é utilizado na fabricação de tintas látex, a óleo, impermeabilizantes, fritas metálicas e tintas de baixa visibilidade. O talco lamelar é utilizado tanto como carga quanto como pigmento e o fibroso como agente de suspensão em diversos tipos de tintas, inclusive as tintas à prova de fogo. A pirofilita é usada em tintas látex e óleo para dar maior poder de cobertura.

Defensivos Agrícolas – tanto o talco como a pirofilita são utilizados como carga inerte, principalmente na fabricação de inseticidas. Têm a propriedade da fluidez, não decantando e não diminuindo a ação dos produtos químicos.

Produtos Farmacêuticos e Veterinários – o talco é utilizado na produção de comprimidos e drágeas, na fabricação de cápsulas e como carga na produção de pós, granulados, pomadas e cremes.

Perfumarias, Sabões e Velas – a indústria de cosméticos exige um talco de alta qualidade e pureza, sendo um insumo de grande importância e participação neste setor. As exigências deste mercado obrigam o desenvolvimento de técnicas e processos de beneficiamento visando à eliminação de impurezas. Em função de suas propriedades de adsorção e fluidez, o talco é utilizado como suporte para pigmentos orgânicos e inorgânicos, sendo conhecida há séculos sua função de limpeza e desodorização. Atualmente engloba um grande número de aplicações em cosméticos, as quais estão sempre se renovando. Como o talco, a pirofilita também é utilizada como carga nos sabonetes e sabões, após a saponificação e formação da base.

Materiais Plásticos – utilizam o talco como carga e reforço na produção de artefatos diversos, na fabricação de baquelite e artigos de polipropileno e na área de massa plástica para funilaria e marmoraria. Exige um talco com baixo teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e restrições quanto à granulometria. Recentemente o desenvolvimento de poliamidas com carga mineral, em função da necessidade de menor custo em relação ao polímero puro, abriram este novo mercado para o talco. A poliamida 6.6 vem sendo a cada dia mais utilizada na indústria eletroeletrônica e automobilística. Devido à sua natureza semi-cristalina, a poliamida possui limitações de deformabilidade durante o resfriamento de peças moldadas por injeção. Para a

correção deste fenômeno, utiliza-se o carregamento da poliamida com silicatos, principalmente o talco.

Têxtil – finamente moído, o talco é empregado para dar peso e alvejar tecidos de algodão, cordoalha, barbantes e fios. Exige um talco de cor clara e ausência de materiais abrasivos associados.

Produtos Alimentares – utilizam o talco para polimento em beneficiamento de arroz, elemento clarificante no óleo comestível e como agente em pó na manufatura de balas e doces.

Outras – o talco é também utilizado como escorificante e estabilizador do arco elétrico em eletrodos para solda; na composição da massa de minas para lápis e na fabricação de esculturas e peças de ornamentação na região de Ouro Preto –MG, sendo conhecido como “pedra-sabão”.

### **3.3 Técnicas de Caracterização Mecânica**

#### **3.3.1 Ensaio de Compressão**

De acordo com a norma NBR 5739 (ABNT, 2007), para o ensaio de compressão em corpos-de-prova a estrutura de aplicação de força deve ter capacidade compatível com os ensaios a serem realizados, permitindo aplicação controlada da força sobre o corpo de prova colocado entre os pratos de compressão e o corpo de prova cilíndrico deve ser posicionado de forma que, quando estiver centrado, seu eixo coincida com o da máquina, fazendo com que as resultantes das forças passem pelo centro. Deve ser feito um ajuste entre os pratos de compressão para facilitar o alinhamento e a introdução do corpo de prova entre os pratos.

Antes da execução do ensaio deve-se determinar a altura e o diâmetro dos corpos de prova e suas faces devem ser limpas, assim como a dos pratos da máquina. O corpo de prova deve ser cuidadosamente centralizado no prato inferior, com o auxílio dos círculos concêntricos de referência. O carregamento de ensaio deve ser aplicado continuamente e sem choques e a velocidade de carregamento deve ser mantida constante durante todo o ensaio.

### 3.3.1.1 Cálculo da resistência à Compressão

A resistência a compressão deve ser calculada através da seguinte expressão:

$$f_c = \frac{4F}{\pi \times D^2}$$

Onde  $f_c$  representa a resistência a compressão,  $F$  é a força máxima alcançada, em newtons e  $D$  é o diâmetro do corpo de prova, em milímetros

### 3.3.2 Ensaio de Flexão

De acordo com a norma NM 55 1996 para realizar este ensaio pode ser utilizada qualquer máquina que a distância entre apoios e pontos de aplicação de carga deve permanecer constante. Durante o ensaio, a carga deve ser aplicada normalmente a superfície do corpo-de-prova, evitando excentricidade. A direção das reações deve ser mantida paralela à direção da carga durante todo o ensaio e a carga deve ser aplicada de forma gradual e uniforme, evitando choques.

Depois que os corpos de prova passaram pelo processo de cura em câmara úmida ou submersos em água devem ser ensaiados imediatamente após terem sido retirados do local de cura. Se por algum motivo for necessário transcorrer algum tempo desde a cura até o ensaio, período que deve sempre ser inferior a 3h, os corpos de prova devem ser cobertos com um pano úmido, de forma a mantê-los também úmidos até o momento do ensaio.

Durante a realização do ensaio deve-se colocar o corpo de prova com seu lado maior, paralelo ao seu eixo longitudinal, sobre os apoios, centrando-o entre eles. No caso de corpos-de-prova moldados, as faces laterais com relação a posição de moldagem devem ficar em contato com as peças de aplicação de carga e os apoios.

A carga pode ser aplicada de forma rápida, até chegar a aproximadamente 50% da tensão de ruptura estimada, após o que deve ser mantida a condição de que um aumento de tensão na fibra externa não exceda a 0,017 MPa/s (1MPa/min).

#### 3.3.2.1 Cálculo da Resistência à Tração

A resistência à tração deve ser calculada através da seguinte expressão

$$R = \frac{Q \times L}{10 \times b \times h^2}$$

Onde R representa a resistência a flexão dos corpos de prova em megapascals, Q é a carga máxima indicada na máquina de ensaios, L é a dimensão do vão entre apoios, em centímetros, b é a largura média do corpo de prova, em centímetros e h é a altura média do corpo de prova, em centímetros.

### 3.4 Efeito Filler

O filler é um material finamente dividido sem atividade química, cuja atuação é basicamente um efeito físico de empacotamento granulométrico e ação como pontos de nucleação para a hidratação dos grãos de cimento (DAL MOLIN, 2005). Possui partículas de diâmetro médio próximo ao do cimento, podendo ser constituído de materiais naturais ou materiais inorgânicos processados.

Segundo Petrucci (1995), utiliza-se o filler principalmente nos seguintes casos: espessador de asfaltos fluidos; fabricação de mástiques betuminosos; preparação de argamassas betuminosas; preparação de concretos hidrocarbonatos; adição a cimentos; fabricação de borracha artificial; adição a concretos com consumos baixos de cimento para colmatar os vazios.

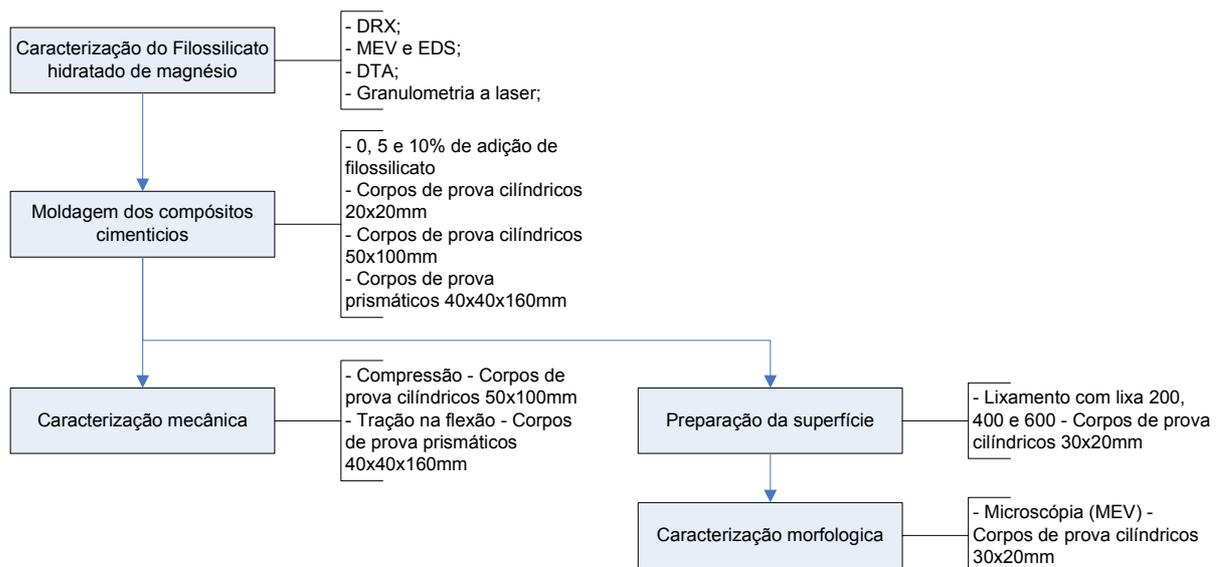
O filler possui propriedades que corrigem os finos da areia e melhoram a qualidade e durabilidade do concreto, quando presentes em pequenas quantidades no mesmo. Dentre as propriedades de melhor desempenho estão: a massa específica, a permeabilidade, a exsudação e a tendência à fissuração (NEVILLE, 1995 apud DAL MOLIN, 2005).

Outros tipos de adições minerais que podem ser citados são os materiais com características não reativas que possuem a finalidade específica de dar cor às argamassas e concretos, como o pó de tijolo (FONSECA, 2010).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi constituído basicamente por duas etapas, sendo a primeira uma revisão da literatura, que já foi apresentada anteriormente. A segunda etapa foi experimental onde foi caracterizado o filossilicato hidratado de magnésio e foram moldados corpos de prova de compósito cimentício com adição do filossilicato em questão. Na Figura 4 é apresentado o fluxograma do planejamento experimental e a seguir são detalhados os materiais e métodos utilizados.

**Figura 4 - Fluxograma do planejamento experimental**



Fonte: Próprio autor

### 4.1 Materiais

#### 4.1.1 Filossilicato hidratado de magnésio

Conforme já mencionado na revisão bibliográfica, o filossilicato hidratado de magnésio é um material pertencente a classe dos silicatos e possuem características

morfológicas lamelares (de folhas). É um material inodoro, bastante fino e leve (densidade baixa).

Pela figura 5, percebe-se que é um material de cor branca e com uma granulometria relativamente fina e homogênea.

**Figura 5 - Filossilicato Hidratado de Magnésio na sua forma em pó**



Fonte: Próprio autor

#### 4.1.2 Cimento Portland CP V ARI

O CP V ARI é recomendado no preparo de concreto e argamassas para produção de artefatos de cimento em indústrias de médio e pequeno porte, como fábricas de blocos para alvenaria, blocos para pavimentação, tubos, lajes, meio-fio, postes, elementos arquitetônicos pré-moldados e pré-fabricados. De acordo com a norma NBR 5733 (ABNT, 1991), com valores aproximados de resistência à compressão de 26 MPa a 1 dia de idade e de 53 MPa aos 28 dias, que superam em muito os valores normativos de 14 MPa, 24 MPa e 34 MPa para 1, 3 e 7 dias, respectivamente. Pode ser utilizado no preparo de concreto e argamassa em obras desde as pequenas construções até as edificações de maior porte, e em todas as aplicações que necessitem de resistência inicial elevada e desforma rápida. O desenvolvimento dessa propriedade é conseguido pela utilização de uma dosagem diferente de calcário e argila na produção do clínquer, e pela moagem mais fina do cimento. Assim, ao reagir com a água o

CP V ARI adquire elevadas resistências, com maior velocidade. Na figura 6 é mostrado o cimento Portland de alta resistência inicial (CP V ARI) armazenado em uma bombona plástica leitosa com tampa de rosca. O CPV ARI foi armazenado neste recipiente para minimizar as possíveis reações de hidratação que ocorrem quando o cimento entra em contato com a umidade do ar.

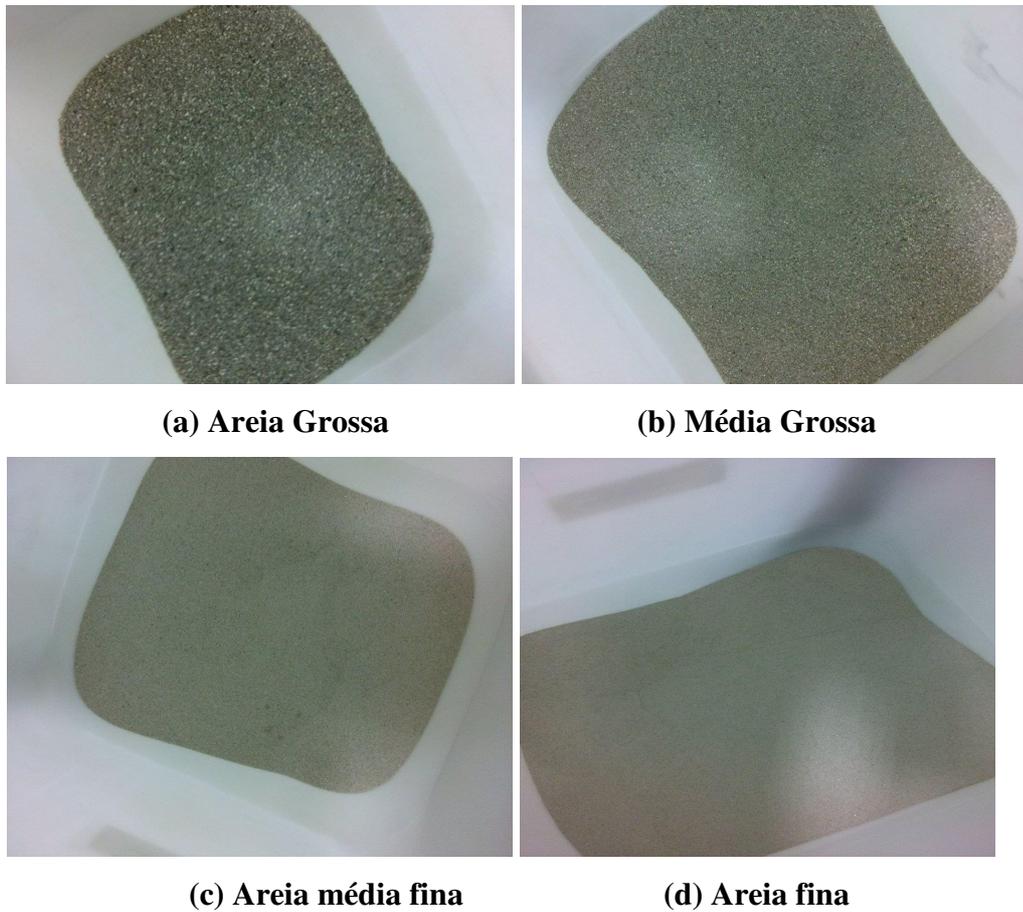
**Figura 6 - Recipiente contendo Cimento CP V ARI**



Fonte: Próprio autor

#### 4.1.3 Frações de areia

Para preparação da argamassa conforme a norma NBR 7215 utiliza-se quatro tipos de granulometria de areias diferentes: areia grossa, areia média grossa, areia média fina e areia fina. Conforme a figura 7 percebe-se a diferença granulométrica entre os quatro tipos de areia diferentes presentes na constituição da argamassa.

**Figura 7 - Areia normal**

Fonte: Próprio autor

#### 4.1.4 Caracterização do Filossilicato

A caracterização do Filossilicato foi feita a fim de avaliar a sua composição química, morfologia, comportamento térmico e granulometria. Cada técnica foi escolhida para fornecer as principais informações necessária. Quanto a caracterização do filossilicato, foram feitos os ensaios não destrutivos a seguir.

##### 4.1.4.1 Microscopia eletrônica de varredura

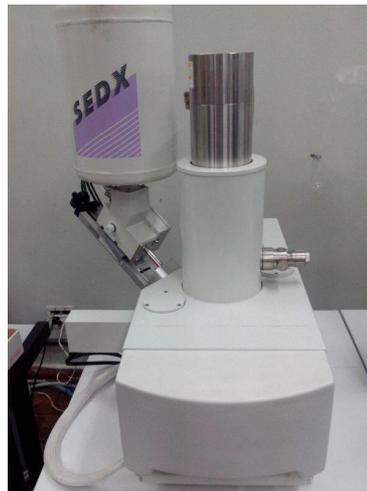
A utilização do Microscópio eletrônico de varredura (MEV) foi escolhida a fim de analisar a superfície das amostras no caso da amostra já pronta, e avaliar também o

filossilicato propriamente dito, forma dos grãos, densidade, aspectos pontuais, entre outros. Esta técnica é bastante utilizada devido a este tipo de microscópio permitir produzir imagens de alta resolução da superfície de uma amostra. Devido a maneira com que as imagens são criadas, imagens de MEV tem uma aparência tridimensional característica e são úteis para avaliar a estrutura superficial de uma dada amostra.

Neste caso, com o MEV seria possível avaliar o efeito filler nas amostras, já que o zoom na superfície que ele proporcionaria nos daria informações a respeito da quantidade de poros presentes na superfície e como o filossilicato está atuando no efeito de preenchimento.

Foram utilizados dois tipos de MEV diferentes. Para uma primeira análise, do material puro utilizou-se o modelo Shimadzu (SSX – 550) como mostra a figura 8.

**Figura 8 - Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), modelo Shimadzu (SSX – 550).**



Fonte: Próprio autor

E para a análise da topografia das amostras utilizou-se o Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), modelo Hitachi (TM 3000), como mostra a figura 9

**Figura 9 - Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), modelo Hitachi (TM 3000)**



Fonte: Próprio autor

Para que se consiga visualizar uma amostra no microscópio eletrônico de varredura, a mesma deve ser condutora elétrica. Com a amostra de flossilicato não é condutora, ela deve passar por um sputtering, que é um processo em que uma fina camada (a nível atômico) de ouro é depositada sobre a superfície das amostras, formando um filme, também realizado na metalizadora ilustrada na figura 10. O ouro é escolhido para este processo por ser um bom condutor térmico e elétrico, bom dissipador de energia, não se oxidar e pela facilidade de se arrancar elétrons do mesmo. O revestimento de ouro deve ser espalhado uniformemente sobre a superfície da amostra.

**Figura 10 - Metalizadora Sanyu Electron.**



Fonte: Próprio autor

Para cada amostra a ser analisada, ajusta-se o foco das imagens, assim como o contraste, a luz e o brilho das mesmas. Fotos são tiradas e armazenadas para posterior análise.

Por fim, analisaram-se as imagens obtidas a partir da microscopia eletrônica de varredura de cada amostra.

#### 4.1.4.2 Espectrômetro de raios-X dispersivo em energia

Apesar da técnica Espectrômetro de raios-X dispersivo em energia (EDS) ser uma análise de espectroscopia, ela é usualmente apresentada junto com a microscopia eletrônica de varredura pela sua disponibilidade nestes equipamentos. Os microscópios eletrônicos de varredura possuem um equipamento de microanálise que permite a obtenção de informações químicas. As informações, qualitativas e quantitativas, sobre os elementos presentes são obtidas pela captação dos raios-X característicos resultantes da interação do feixe primário com a amostra.

A preparação das amostras é semelhante a preparação das amostras para o MEV. As amostras passam por um processo de secagem, na metalizadora para eliminar qualquer umidade existente, já que o microscópio trabalha em vácuo e a água evaporaria estragando o equipamento e/ou alterando os resultados. E passam também pelo sputtering, que também é realizado na metalizadora.

Quando o elemento é detectado, enquanto o feixe primário varre a área em análise, um ponto brilhante é mostrado na tela e a sua localização está relacionada com o local de detecção na amostra.

#### 4.1.4.3 Difração de Raio-X

A Difração de Raios-X (DRX) é a uma das principais técnicas de caracterização microestrutural de materiais cristalinos. Isto é possível porque na maior parte dos sólidos (cristais), os átomos se ordenam em planos cristalinos separados entre si por distâncias da mesma ordem de grandeza dos comprimentos de onda dos raios-X. A Difração de Raios-X possibilita a identificação dos minerais presentes e também permite estudar as características cristalográficas destes minerais.

O equipamento de Difração de Raios-X é basicamente um tubo emissor de raios-X, uma câmara circular onde se situa a amostra, o goniômetro, e um detector que recebe os raios difratados. A técnica de ensaio consiste em incidir um feixe de raios-X de comprimento de onda conhecido, sobre uma camada fina de pó, que gira no centro do goniômetro. Como consequência o feixe se difrata e reflete ângulos que são característicos do retículo cristalino, obtendo-se o correspondente difratograma.

O método de difração de raios-X em relação a outros métodos físicos ou químicos, oferece a vantagem de que o difratograma apresenta um número grande de picos, o que facilita a identificação, principalmente no caso de misturas, onde pode haver superposição de alguns picos. Além disso, outras vantagens da técnica de difração de raios-X para a caracterização de fases, são a simplicidade e rapidez do método, a confiabilidade dos resultados obtidos, a possibilidade de análise de materiais compostos por uma mistura de fases e uma análise quantitativa destas fases.

Para a obtenção do Difratograma do material em questão usou-se o Shimadzu XRD – 7000 (X-RAY DIFFRACTOMETER). Uma representação de um modelo de DRX está mostrado na figura 11.

**Figura 11 - Difratômetro de raio X**



Fonte: Próprio autor

No procedimento em questão, primeiramente foi feita a preparação da amostra em seu respectivo porta-amostra. Colocou-se a amostra na cavidade circular do porta-amostra, e, com o auxílio de uma lâmina de vidro, fez-se o aplainamento e compactação do pó a fim de se evitar desnivelamento, retirando o excesso do pó em seguida.

O procedimento de preparação da amostra e aplainamento é feito com o intuito de se evitar o diagnóstico errado do resultado do processo, pois, caso o pó não esteja plano, o feixe vai incidir e se concentrar em apenas um local, ou no vale ou no pico do desnivelamento. A compactação do material também é desejada pelo mesmo motivo.

#### 4.1.4.4 Granulometria

A análise granulométrica é o processo que visa definir, para determinadas faixas pré-estabelecidas de tamanho de grãos, a porcentagem em peso que cada fração possui em relação à massa total da amostra em análise. A técnica de análise de tamanho de partículas por granulometria a laser é um método pelo qual as partículas são dispersas num fluido em movimento, no caso a água, causando descontinuidades no fluxo do fluido, que são detectadas por uma luz incidente, e correlacionadas com o tamanho de partícula.

Este método tem como princípio afirmar que o ângulo de difração é inversamente proporcional ao tamanho da partícula. Assim, ao atingir uma quantidade de partículas, a luz incidente sofre uma interação segundo os fenômenos de difração, refração, reflexão e absorção, formando um envoltório tridimensional de luz. O formato e o tamanho deste envoltório são afetados pelo índice de refração relativo da partícula no meio dispersante, pelo comprimento de onda da luz, e pelo tamanho e formato da partícula. Detectores são estrategicamente posicionados e medem a intensidade e o ângulo da luz espalhada. O sinal dos detectores é então convertido para a distribuição de tamanho de partícula através softwares matemáticos.

Primeiramente realizou-se uma limpeza no sistema do equipamento e ajustou-se os parâmetros de forma adequada. O equipamento foi ligado e a bomba começou a movimentar a água que estava dentro. Despejou-se duas colheres pequenas da amostra na água que estava se movimentando. O objetivo de agitar a água é evitar que o pó se deposite ao fundo do recipiente ou se torne um sobrenadante. Por fim, o laser foi incidido sobre a amostra, fazendo gerar os resultados obtidos.

O equipamento usado para fazer a Granulometria foi o CILAS 1090 Particle Size Analyzer, e primeiramente teve-se que dissolver o filossilicato numa certa quantidade de água para depois ser colocado no fluxo de água do equipamento, como mostra a figura 12.

**Figura 12 - Amostra de Filossilicato Dissolvida em água**



Fonte: Próprio autor

A presença de bolhas na figura confere que foi adicionado gotas de detergente na mistura a fim de melhorar a polaridade da mistura e possibilitar a completa dissolução do Filossilicato na água. A interferência da adição do detergente no valor do diâmetro médio seria mínima, portanto não compensaria para o objetivo proposto no momento avaliar isso.

Este procedimento de adição do detergente foi feito porque observou-se que o filossilicato apresentou características bastante hidrofóbicas na presença de água, o que impossibilitaria a medição no equipamento de granulometria do material. A figura 13 é uma imagem do equipamento de granulometria utilizado.

**Figura 13 - Equipamento de Granulometria utilizado**



Fonte: Próprio autor

#### 4.1.4.5 Análise térmica diferencial e termogravimétrica

Essas técnicas, também chamadas de termogravimetria analisam a mudança na massa dos compostos a medida que aumenta-se a temperatura. Nesse caso, esse ensaio servirá para avaliar a diferença de massa do pó a medida que aumenta-se a temperatura e a partir daí definir parâmetros de temperatura de fusão, de degradação, etc. Ambos fazem uso de dois sensores sendo um a referência, no qual o sinal depende da diferença entre a resposta dos dois (origem do nome "diferencial" das duas técnicas).

A principal função do acoplamento Análise térmica diferencial e termogravimétrica (DTA-TGA) é prover maior resolução em temperaturas específicas nas quais a variação de massa é pequena e sucessiva a outras perdas de massa deixando a visualização apenas pelo gráfico de massa por temperatura, típico de TGA. (Figura 14).

**Figura 14 - Equipamento de DTA/DGA**



Fonte: Próprio autor

Além das técnicas de ensaios não destrutivos, realizou-se as técnicas de ensaio destrutivos. Os ensaios escolhidos foram a resistência a compressão e a resistência a tração na flexão.

#### 4.1.5 Preparação dos Corpos-de-prova para os Ensaios de Compressão e para os Ensaios de Flexão

A preparação dos corpos de prova, tanto para a flexão quanto para a compressão segue o mesmo princípio, no que diz respeito a preparação da argamassa, moldagem, tempo de cura, etc.

A primeira etapa é a preparação da argamassa, seguida da moldagem, a cura, para posterior ensaio do corpo de prova. Definiu-se que seriam três traços diferentes e que o filossilicato atuaria como componente de adição na argamassa e não como substituição. Conforme mostra a tabela 2 abaixo, foi definido o “traço referência”, sem a adição de filossilicato e os outros dois traços com a adição de 5% e 10% de Filossilicato em relação ao cimento, respectivamente.

**Tabela 2 - Definição dos traços referência de comparação na adição do Filossilicato**

Traço	Cimento (g)	Água (g)	Filossilicato (g)	Areia Grossa (g)	Areia Média Grossa (g)	Areia Média Fina (g)	Areia Fina (g)
0%	624	300	0	468	468	468	468
5%	624	300	31,2	468	468	468	468
10%	624	300	62,4	468	468	468	468

Fonte: Próprio autor

#### 4.1.6 Preparação da Argamassa

Utilizou-se a norma NBR 7215 para a preparação, moldagem, cura e ensaio dos corpos de prova de compressão. Num primeiro momento preparou-se a argamassa por meio de um misturador mecânico para posterior compactação manual em um molde, por um procedimento normalizado.

Os componentes da argamassa são as quatro frações de areia normal, água (a água usada na mistura da argamassa deve ser potável e estar na temperatura de  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ ), cimento (se caso entre a amostragem e o ensaio transcorrerem mais de 24 h, a amostra deve

ser conservada em recipiente hermético que não reaja com o cimento e que esteja completamente cheio.

Num primeiro momento, os componentes foram pesados em uma balança e deixados próximos ao misturador mecânico, na figura 15 mostra o filossilicato sendo pesado para o traço de 5%.

**Figura 15 - Pesagem dos componentes da argamassa**



Fonte: Próprio autor

Para a confecção da mistura propriamente dita, primeiro foi colocado na cuba toda a quantidade de água juntamente com o cimento. Conforme a norma NBR 7215:(1996), a mistura destes materiais deve ser feita com o misturador na velocidade baixa, durante 30 s. Após este tempo, e sem paralisar a operação de mistura, iniciar a colocação da areia (quatro frações de  $(468 \pm 0,3)$  g de areia normal, previamente misturadas), com o cuidado de que toda esta areia seja colocada gradualmente durante o tempo de 30 s. Imediatamente após o término da colocação da areia, mudar para a velocidade alta, misturando-se os materiais nesta velocidade durante 30 s. Após este tempo, desligar o misturador durante 1 min e 30 s. Nos primeiros 15 s, retirar, com auxílio de uma espátula, a argamassa que ficou aderida às paredes da cuba e à pá e que não foi suficientemente misturada, colocando-a no interior da cuba. Durante o tempo restante (1 min e 15 s), a argamassa deve ficar em repouso na cuba, coberta com pano limpo e úmido. Imediatamente após este intervalo, ligar o misturador na velocidade alta, por mais 1 min. Deve ser registrada a hora em que o cimento é posto em contato com a água de mistura (Figura 16).

**Figura 16 - Argamassadeira utilizada na preparação das argamassas**



Fonte: Próprio autor

Importante destacar que, para a preparação dos corpos de prova de 5% e 10%, o Filossilicato foi adicionado na mistura no início, juntamente com a água e o cimento.

#### 4.1.7 Moldagem

Após essa etapa ocorre a moldagem dos corpos de prova. É definido para a compressão no mínimo cinco corpos de prova a serem ensaiados, e para a flexão no mínimo três, para cada traço. Sendo assim, para a compressão foram confeccionados 15 corpos de prova ao todo, para os três traços e para a flexão foram 9 corpos de prova para os três traços.

Os moldes para os corpos de prova de compressão são compostos de forma cilíndrica e base, rosqueada ou não, ambas de metal não corrosível. A forma cilíndrica deve ser de aço ABNT 1020 e ter no mínimo três mm de espessura.

Os moldes foram untados com óleo lubrificante na parte interior (fica em contato com a argamassa). O óleo utilizado como desmoldante deve ser mineral e de baixa viscosidade a fim de ajudar na desmoldagem dos corpos de prova.

Para exemplificar, a figura 17 é uma imagem dos quinze moldes que foram utilizados para confecção dos corpos de prova para o ensaio de resistência a compressão, juntamente com o óleo lubrificante utilizado.

**Figura 17 - Moldes para o ensaio de Compressão**



Fonte: Próprio autor

De acordo com a norma NBR 7215:1996, a moldagem dos corpos-de-prova deve ser feita imediatamente após o amassamento e com a maior rapidez possível. Para tanto, é necessário que o recipiente que contém a argamassa esteja junto aos moldes durante o adensamento. A colocação da argamassa na forma é feita com o auxílio da espátula, em quatro camadas de alturas aproximadamente iguais, recebendo cada camada 30 golpes uniformes com o soquete normal, homogeneamente distribuídos.

Esta operação deve ser terminada com a rasadura do topo dos corpos-de-prova, por meio da régua que o operador faz deslizar sobre as bordas da forma em direção normal à régua, dando-lhe também um ligeiro movimento de vaivém na sua direção.

#### 4.1.8 Cura

A cura dos corpos de prova, tanto para a o ensaio de resistência a compressão quanto para a os de resistência a flexão foi feita num período de sete dias, contando a partir do dia em que eles são colocados no reservatório. Os corpos-de-prova devem ser submetidos a um período de cura inicial ao ar e a um período final em água.

#### 4.1.9 Cura inicial ao ar

Logo após a moldagem, os corpos-de-prova, ainda nos moldes, foram deixados na bancada do Laboratório de Departamento de Transportes, onde permaneceram durante 20 h a 24 h, com a face superior protegida por uma placa de vidro plano

#### 4.1.10 Cura final em água

Terminado o período inicial de cura, os corpos-de-prova foram retirados das formas e identificados. Foram imersos, separados entre si no tanque de água (não corrente) saturada de cal da câmara úmida, onde devem permanecer até o momento do ensaio. Desde que são retirados da câmara úmida e até o instante do ensaio de compressão, os corpos-de-prova devem ser protegidos de maneira que toda a superfície exterior permaneça úmida. Os corpos de prova possuem formato cilíndrico, conforme mostra a figura 18.

**Figura 18- Corpo de prova finalizado para o ensaio de Compressão**



Fonte: Próprio autor

O método de ensaio foi de acordo com a norma NBR 7215, com isso a taxa de incremento de tensão foi de 0,25 MPa/s. Os corpos de prova são acoplados na máquina universal de ensaios de forma que eles fiquem centralizados como mostra a figura 19.

**Figura 19 - Corpo de prova acoplado na máquina de ensaios**



Fonte: Próprio autor

O mesmo ocorreu para os corpos de prova de flexão, após a cura de sete dias, ensaiou-se de acordo com a norma NBR 13279 com uma taxa de incremento de força de 50,00 N/s. Os corpos-de-prova possuem formato prismático, conforme mostra figura 20.

**Figura 20 - Corpo de prova finalizado para o ensaio de Flexão**



Fonte: Próprio autor

Para o ensaio de Flexão, os corpos-de-prova também são acoplados de forma centralizada em relação aos dois apoios de aplicação de força conforme mostra a figura 21.

**Figura 21 - Máquina de ensaio preparada para o ensaio de Flexão**



Fonte: Próprio autor

#### 4.2.3 Preparação dos Corpos-de-prova para a Metalografia

Outro procedimento realizado foi a análise dos corpos-de-prova em um procedimento de Metalografia. Foram preparadas três amostras para serem analisadas, uma para cada traço.

Parte da argamassa confeccionada na moldagem dos corpos-de-prova para os ensaios de resistência foi utilizada para confeccionar os três corpos de prova para a Metalografia. Eles foram desmoldados num período de 24 horas assim como os outros e com isso, também tiveram o período de cura inicial ao ar. Além da cura ao ar, eles passaram por uma cura no reservatório de água por 4 dias.

A figura 22 mostra as amostras para a Metalografia já desmoldadas e curadas por um período de cura de 4 dias.

**Figura 22 - Amostras que foram submetidas a Metalografia**



Fonte: Próprio autor

Foram utilizadas três tipos de lixas diferentes para o procedimento de Metalografia, lixas de 600, 400 e 200 mesh. A figura 23 abaixo mostra a lixadeira em que as amostras foram lixadas.

**Figura 23 - Lixadeira utilizada para o procedimento de Metalografia**



Fonte: Próprio autor

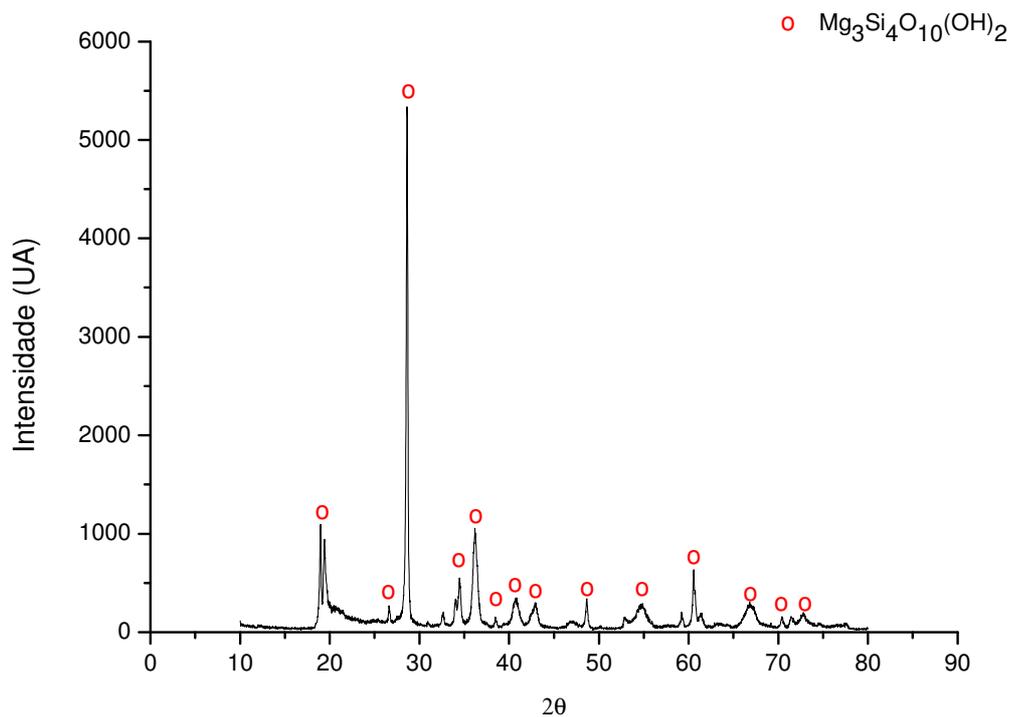
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Resultados das Caracterizações do Filossilicato

#### 5.1.1 Difração de raios-X

Após a análise no equipamento de DRX, plotou-se o gráfico Intensidade x  $2\theta$  no Origin e obteve-se o seguinte gráfico, como mostra a figura 24.

**Figura 24 - Gráfico da Difração de Raio X para o Filossilicato Hidratado de Magnésio**



Fonte: Próprio autor

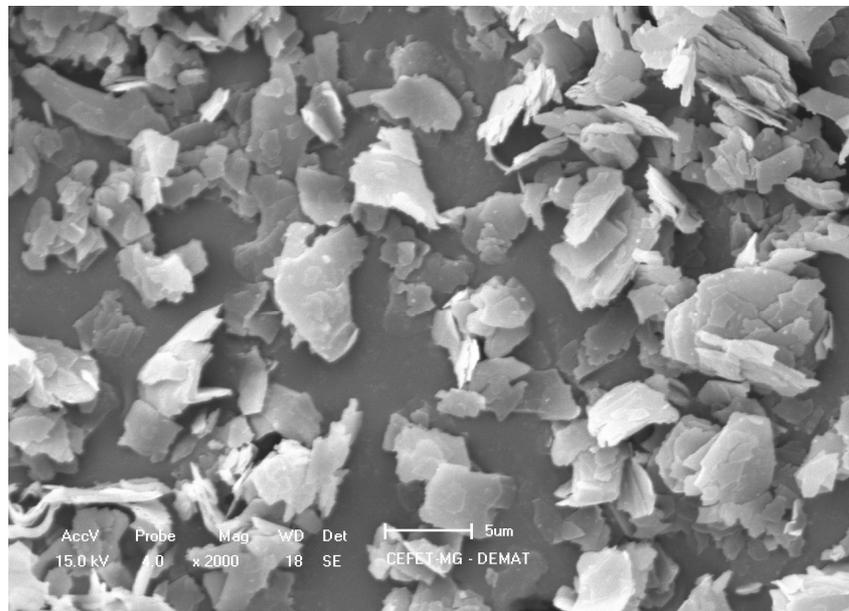
Com uma análise no programa X-Powder da curva de DRX, pôde-se perceber a presença do Filossilicato Hidratado de Magnésio nos seguintes picos indicados com o círculo.

Essa análise serviu para comprovar que o material é composto por uma única fase (indicada nos picos) e que se trata de um talco.

### 5.1.2 Microscopia eletrônica de varredura

Após realizar os procedimentos de análise no MEV descritos na Metodologia, foi possível realizar algumas imagens do material, como sua morfologia. A figura 25 mostra uma imagem de uma região com grande concentração de Filossilicato.

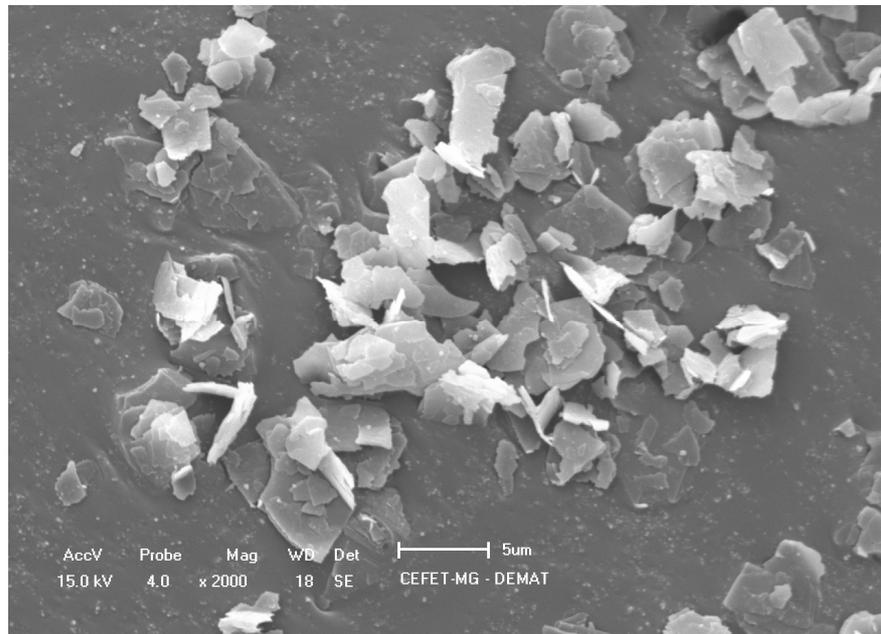
**Figura 25 - Micrografia de uma área com excesso de Filossilicato**



Fonte: Próprio autor

Obteve-se imagens de regiões densas de Filossilicato, como mostra a figura 23, mas também foi possível obter imagens de regiões com menor concentração de material como mostra a figura 26.

**Figura 26 - Micrografia de uma área com menor concentração de Filossilicato**



Fonte: Próprio autor

Com uma análise dessas figuras, pode-se perceber claramente que o material possui uma granulometria fina e morfologia do tipo lamelar, o que confere ele ser classificado como Filossilicato.

### 5.1.3 Granulometria

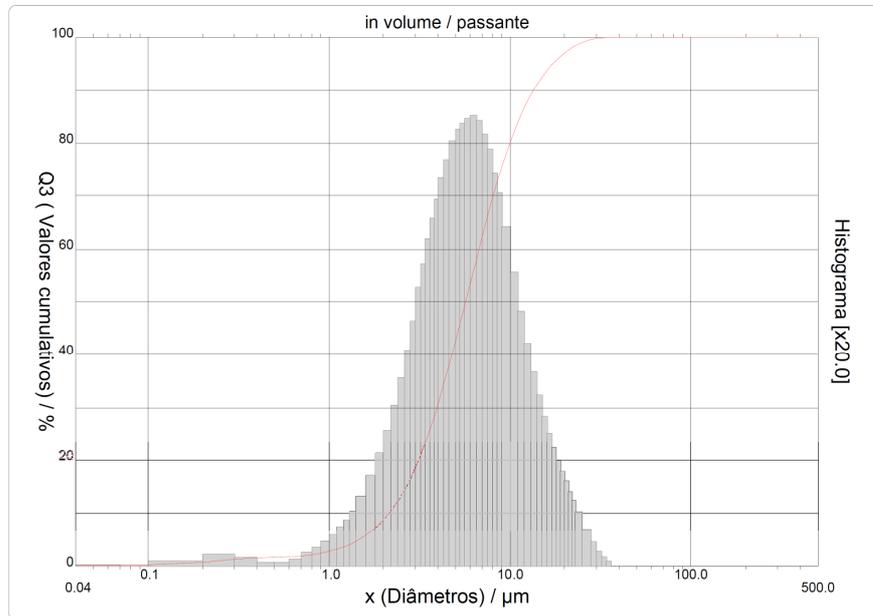
Após a análise granulométrica do material no equipamento, usando como meio de dispersão a água, obteve-se o seguinte resultado mostrado na tabela 3 juntamente com o gráfico mostrado na figura 27.

**Tabela 3 - Dados obtidos com o ensaio de Granulometria a laser**

Ultrassom	60 s
Obscuração	14%
Diâmetro a 10%	2.19 $\mu\text{m}$
Diâmetro a 50%	5.71 $\mu\text{m}$
Diâmetro a 90%	13.22 $\mu\text{m}$
Diâmetro médio	6.93 $\mu\text{m}$

Fonte: Próprio autor

**Figura 27 - Resultados obtidos no ensaio de granulometria a laser**



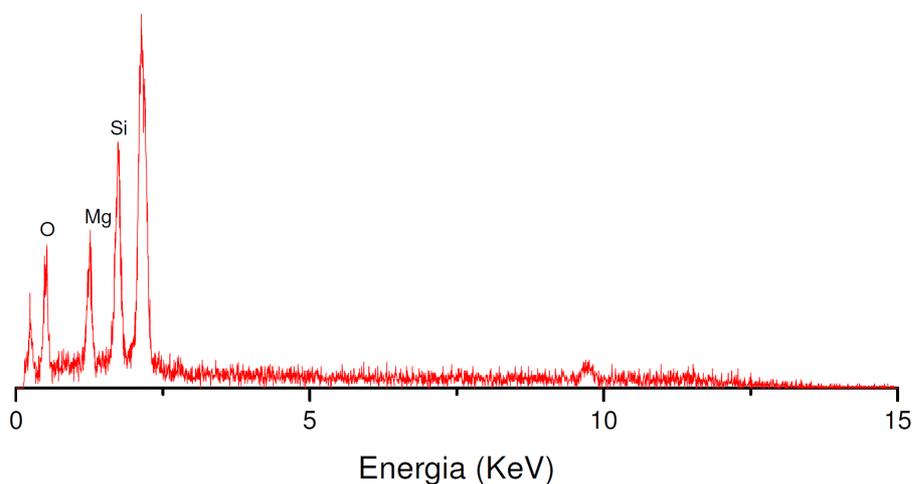
Fonte: Próprio autor

Fazendo uma análise do gráfico pôde-se perceber que o diâmetro médio para as partículas do material foi de cerca de 6,93  $\mu\text{m}$ . O que está coerente com o resultado do MEV, considerando as imagens de micrografia apresentadas acima juntamente com a escala dessas imagens, pode-se deduzir uma tamanho médio de cerca de 5  $\mu\text{m}$  à 7  $\mu\text{m}$  para os grãos.

#### 5.1.4 Espectrômetro de raios-X dispersivo em energia

Com a análise de Espectrômetro de raios-X dispersivo em energia (EDS) foi possível avaliar cada elemento químico presente no Filossilicato e avaliar semi-quantitativamente cada um deles. O resultado está representado no gráfico da figura 27.

**Figura 28 - Gráfico obtido na análise EDS para o Filossilicato**



Fonte: Próprio autor

Foi possível com os resultados criar a tabela 4 relacionando cada elemento químico encontrado com sua respectiva quantidade em porcentagem.

**Tabela 4 - Composição química do Filossilicato indicada pelo EDS**

<b>Elemento Químico</b>	<b>Quantidade (%)</b>
Silício (Si)	21,27%
Magnésio (Mg)	13,37%
Oxigênio (O)	65,36%

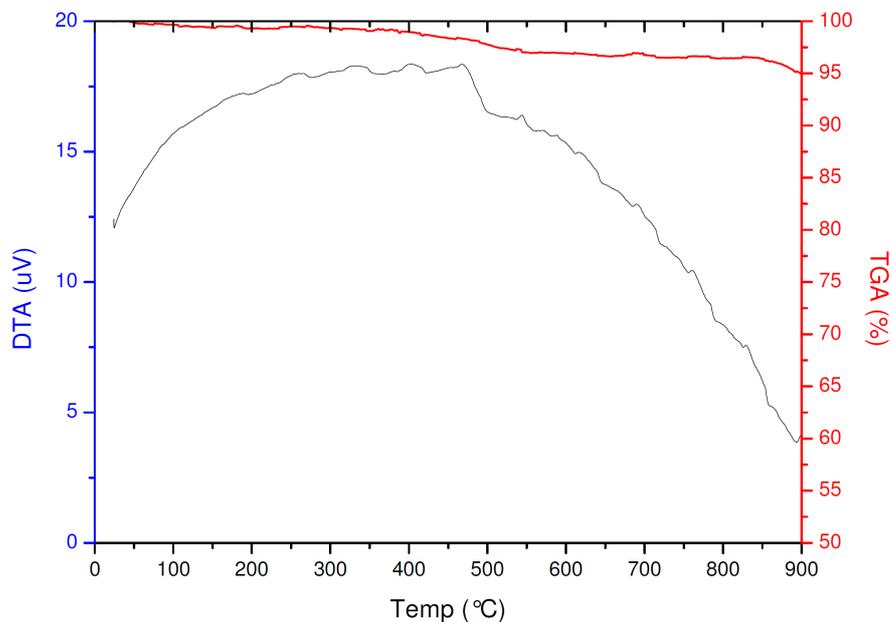
Fonte: Próprio autor

Fazendo-se uma análise do gráfico e da tabela pode-se perceber que o material é composto basicamente por Mg, Si e O, o que está coerente com a fórmula química do Filossilicato. Quando o elemento é detectado, enquanto o feixe primário varre a área em análise, um ponto brilhante é mostrado na tela e a sua localização está relacionada com o local de detecção na amostra.

#### 5.1.4 Análise térmica diferencial e termogravimétrica

Com os resultados da caracterização de Análise térmica diferencial e termogravimétrica (DTA/TGA) avaliou-se a resistência de degradação do material ao longo de uma faixa de temperatura. Com os resultados obtidos, plotou-se um gráfico a fim de avaliar como foi essa degradação em função da temperatura, como mostra a figura 29.

**Figura 29 - Gráfico de DTA/TGA**



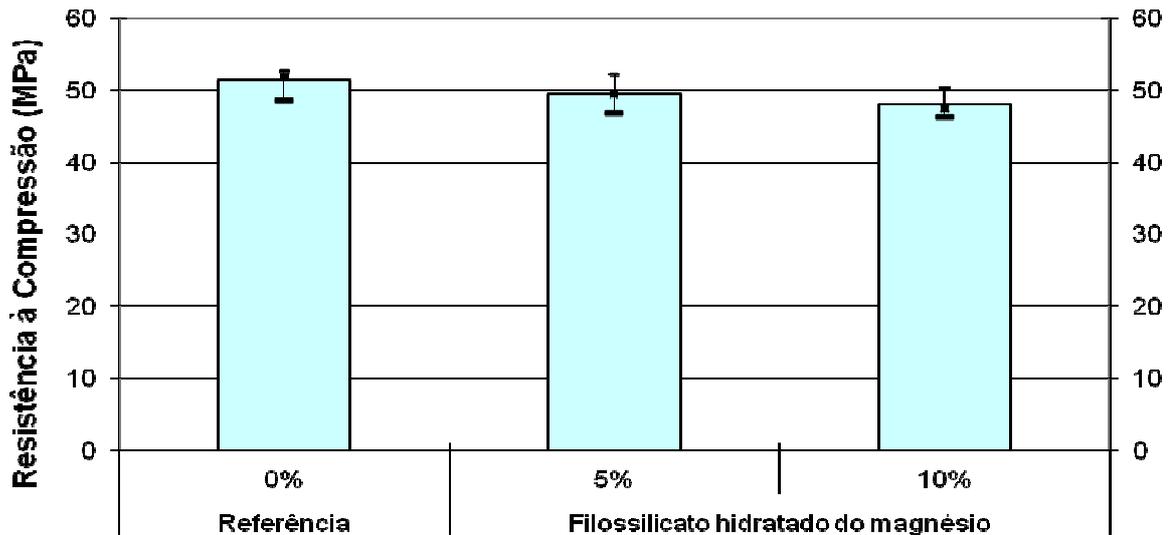
Fonte: Próprio autor

Com uma análise do gráfico percebe-se que a perda de massa do material foi insignificante, mostrando que a degradação de material foi mínima ao longo da faixa de temperatura.

#### 5.2 Ensaio de Compressão

Após a realização do ensaio para os quinze corpos de prova referentes a cada traço obteve-se o seguinte gráfico, como é mostrado na figura 30.

**Figura 30 - Gráfico de resistência à compressão**



Fonte: Próprio autor

A partir do gráfico obtido percebe-se que a resistência a compressão praticamente não alterou de um traço para o outro. Esses resultados são para 7 dias de cura, e segundo a norma NM 55 1996 a resistência mínima a compressão para sete dias de cura é de no mínimo 34,0 MPa, o que mostra que os resultados estão coerentes com o período que os corpos-de-prova ficaram na cura.

Para melhor analisar o porquê das resistências não terem alterado de um traço para o outro, seria necessário fazer-se um ensaio de porosidade a fim de avaliar se o Filossilicato foi eficiente ou não no preenchimento dos espaços vazios. Neste caso, é importante destacar também a relação da semelhança de resistências com a trabalhabilidade e aspectos reológicos do material, observou-se durante a moldagem que com a adição do Filossilicato a argamassa ficou mais “seca”.

Segundo RILEM (1982, p.481) e a ASTM C270-08 (2008, p.6), a trabalhabilidade é a propriedade mais importante de uma argamassa no seu estado fresco. À falta de

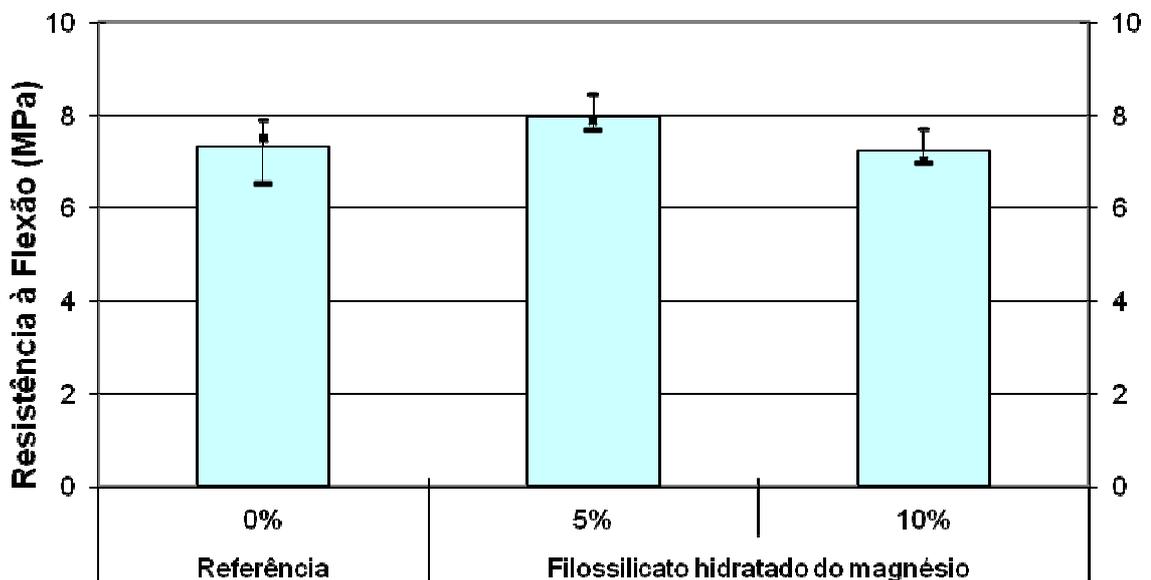
trabalhabilidade corresponde uma argamassa de difícil manuseamento, podendo apresentar-se áspera, muito seca ou demasiado fluida, com segregação e exsudação excessiva ou falta de aderência. Este comportamento no estado fresco irá influenciar também as suas propriedades após endurecimento.

Acredita-se que, como trabalhabilidade foi diminuída a probabilidade de aumentar a quantidade de fissuras ou poros no manuseio da argamassa e nos corpos de prova é maior, sendo esta uma explicação para os resultados encontrados.

### 5.3 Ensaio de Flexão

Após a realização do ensaio para os nove corpos de prova referentes a cada traço obteve-se o seguinte gráfico, como é mostrado na figura 31.

**Figura 31 - Gráfico de resistência à tração na flexão**



Fonte: Próprio autor

A partir do gráfico obtido percebe-se que a resistência a flexão, assim como a compressão, praticamente não alterou de um traço para o outro.

Percebeu-se também pelo gráfico, que os corpos de prova com adição de 5% de Filossilicato apresentaram-se com um aumento, mesmo que pequeno, na resistência a flexão.

E para melhor analisar o porquê disso, seria necessário também fazer-se um ensaio de porosidade a fim de avaliar como o Filossilicato modificou a porosidade nesses corpos-de-prova.

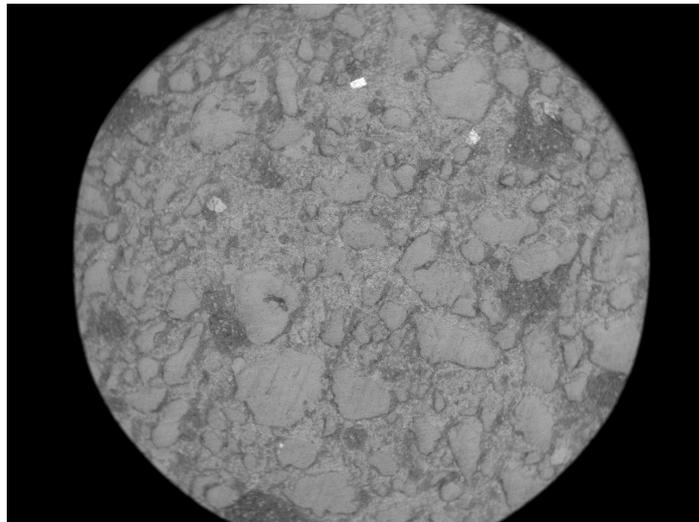
## 5.4 Metalografia e MEV

Após os procedimentos de metalografia com as três amostras de concreto, uma para cada traço, foi possível analisar a superfície lixada dessas amostras no MEV avaliando aspectos superficiais, aspectos de interface e de como o material ficou aderido na argamassa.

### 5.4.1 Amostra com 0% de adição de Filossilicato

Para a amostra com zero adição de Filossilicato foi possível obter imagens como mostra a figura 32.

**Figura 32 - Micrografia para a amostra sem adição de Filossilicato – Aumento de 25x**

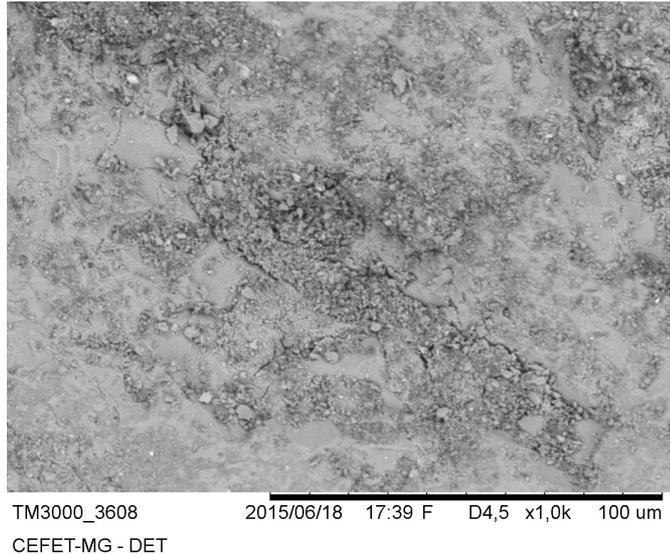


TM3000\_3607 2015/06/18 17:36 F D4,6 x25 4 mm  
CEFET-MG - DET

Fonte: Próprio autor

Observou-se uma superfície com uma maior nitidez nos contornos entre pasta e agregados ocasionando uma superfície mais rugosa. Em outras imagens como mostra a figura 33.

**Figura 33 - Micrografia para a amostra sem a adição de Filossilicato – Aumento de 1000x**



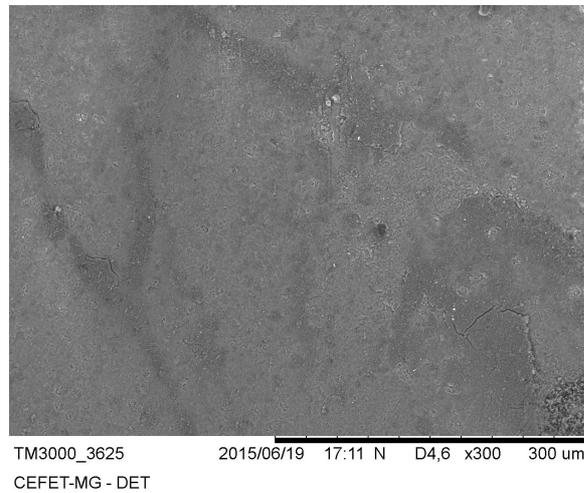
Fonte: Próprio autor

Percebeu-se que a superfície sem a adição de filossilicato ficou mais porosa em relação as outras. Este fato poderia explicar a resistência a flexão ter se mostrado com um valor um pouco menor se comparado ao corpos de prova com adição de 5% de Filossilicato.

#### 5.4.2 Amostra com 5% de adição de Filossilicato

Para a amostra com 5% de adição de Filossilicato foi possível obter imagens como mostra a figura 34.

**Figura 34 - Micrografia da superfície da amostra com 5% de Filossilicato**



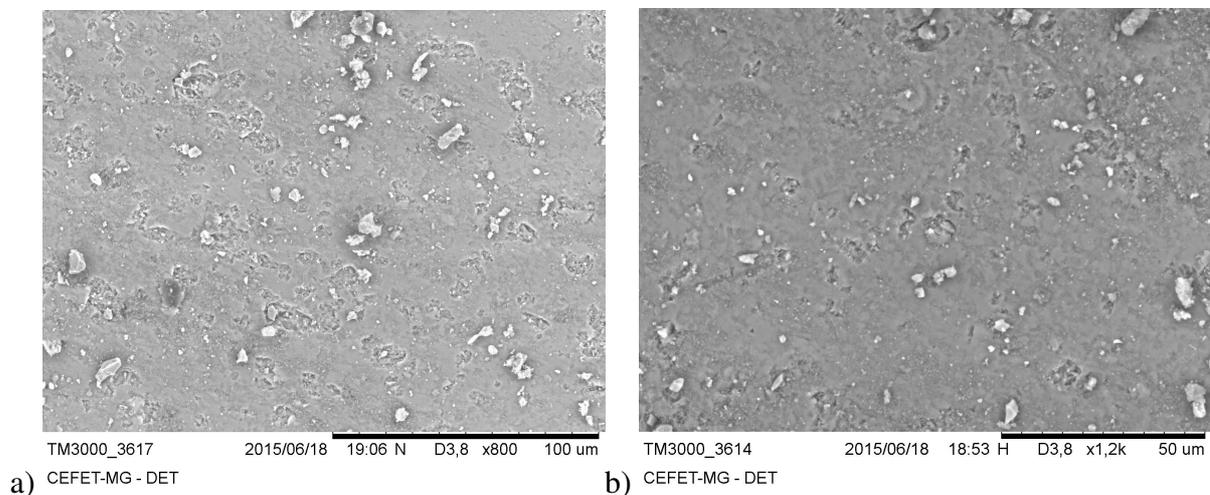
Fonte: Próprio autor

Uma das conclusões que se pode chegar a partir dessa imagem é de que a superfície apresentou-se mais uniforme os contornos entre pasta e agregados ficaram menos perceptíveis, isso poderia ter proporcionado um leve aumento na resistência a flexão para o traço de 5%.

#### 5.4.3 Amostra com 10% de Filossilicato

Para a amostra com 10% de adição de Filossilicato foi possível obter imagens como mostra a figura 35.

**Figura 35 - Micrografias da superfície da amostra com adição de 10% de Filossilicato**



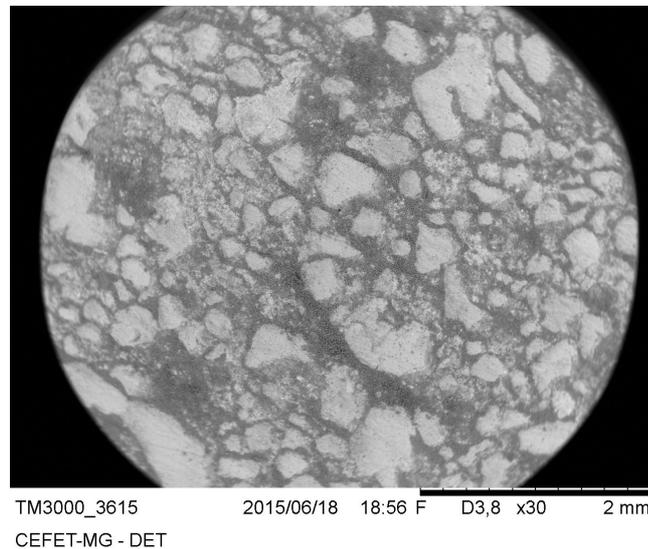
Fonte: Próprio autor

Com um aumento de 800 vezes (Figura 37a) observou-se uma superfície mais homogênea e “fechada” mostrando uma boa compactação e interação dos materiais. Obteve-se também imagens com um aumento de 1200 vezes (Figura 37b).

Nesta imagem percebeu-se a presença de pequenas “placas” esbranquiçadas aparentando formato lamelar, com uma análise prévia de Difração de raio-x ou um EDS pontual poderia nos afirmar de que se trata do Filossilicato aderido na superfície.

Quando observou-se uma imagem com menor aumento, como mostra a figura 36 abaixo

**Figura 36 - Micrografia da amostra com adição de 10% de Filossilicato – Aumento de 30x**



Fonte: Próprio autor

Pode-se perceber que a superfície apresentou-se mais nivelada, os contornos entre a pasta e os agregados também se mostraram menos perceptíveis, mostrando que houve uma melhor mistura e interação dos componentes, com isso, podendo-se explicar uma possível causa da resistência à tração na flexão ter se apresentado maior.

## 6 CONCLUSÃO

Considerando a caracterização do Filossilicato Hidratado de Magnésio pode-se inferir que o que foi obtido nas caracterizações está de acordo com as características do material propriamente dito. É um material com granulometria fina, com composição basicamente de silício, magnésio e oxigênio, resistente à degradação térmica, com morfologia lamelar e composto por uma única fase.

Em relação ao comportamento mecânico pode-se inferir que a resistência à compressão não alterou significativamente, o que mostra que a intenção de preencher os espaços vazios com o material não foi tão propriamente alcançada e com a adição de filossilicato.

E por último, não houve um aumento da resistência à tração com a adição do filossilicato. A resistência dos corpos de prova com 5% de adição mostrou-se um pouco mais elevada em relação as outras duas. A trabalhabilidade da argamassa pode ter influenciado os resultados nos dois casos, já que observou-se que com a adição de Filossilicato a massa ficou mais seca, diminuindo a trabalhabilidade e dificultando o processo de moldagem.

Como continuidade a pesquisa, sugere-se avaliar a porosidade, o comportamento mecânico em idades mais avançadas, a durabilidade e a reologia das misturas. Sugere-se também a moldagem das misturas com a mesma trabalhabilidade, seja por variação do consumo de água de emassamento ou pela adição de aditivos superplastificantes.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITCIN, P. (2000). Concreto de alto desempenho. São Paulo: Editora Pini.

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

ASTM. (2008). ASTM C270-08 Standard Specification for Mortar for Unit Masonry. EUA: American Society for Testing and Materials (ASTM).

BRITTEZ, A.A. **Diretrizes para especificação de pinturas externas texturizadas acrílicas em substrato de argamassa.** São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), 2007. 148p. (Dissertação, Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana).

CAMPOS, Luiz Eduardo de Gaia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Balanço Mineral Brasileiro. Brasília, 2001.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, G. C. (Ed.) *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências e Engenharia de Materiais.* Ispis Gráfica e Editora, São Paulo, 2007. Cap. 26. p. 863 - 904.

DAL MOLIN, D.C.C. **Adições Minerais para Concreto Estrutural.** In: *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações.* São Paulo: IBRACON, 2005. p. 345-379. 101

FERREIRA, R. **Revestimento de argamassa para fachada.** Disponível em: <<http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/120/artigo299508-1.aspx>> Acesso em: 26 Jan 2014

FONSECA, GUSTAVO CELSO DA. **Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil: uma abordagem epistêmica** – 2010 - 105 f.- Belo Horizonte, MG – UFMG

GUIMARÃES, T.R et. al. **Propriedades mecânicas de nanocompósitos de polipropileno e montmorilonita organofílica.** Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-14282006000200014](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282006000200014)> Acesso em: 26 Jan 2014

MATOS, P.R. **Estudo da utilização de argamassa estabilizada em alvenaria estrutural de blocos de concreto.** Disponível em: <[https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/115462/TCC\\_Paulo\\_Matos.pdf?sequence=1](https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/115462/TCC_Paulo_Matos.pdf?sequence=1)> Acesso em: 26 Jan 2014

MARGALHA, M.G. **Argamassas.** Disponível em: <<http://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/4969/1/Argamassas.pdf>> Acesso em: 26 Jan 2014

MOSCOFIAN, Andrea. **Filossilicatos de Magnésio e Sílicas Mesoporosas Organofuncionalizados para uso na remoção de corantes industriais.** Disponível em: <<http://www.biq.iqm.unicamp.br/arquivos/teses/000469896.pdf>> Acesso em: 26 Jan 2014

MOURA, Raquel. **Características e Estado de Conservação de Pinturas em Fachadas – Caso da Alta de Coimbra.** Coimbra: Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade de Coimbra, 2008. 88p. (Dissertação, Mestrado em Construção Civil).

NEVILLE, A. M., 1997, **Propriedades do concreto**, 2 ed. São Paulo: Editora Pini, 828p.

**NM 55:** Concreto: Determinação da resistência a tração na flexão de corpos-de-prova prismáticos. Comitê Mercosul de Normalização, 1996.

**NBR 7215.** Cimento Portland – Determinação da resistência a compressão. Rio de Janeiro, 1996.

**NBR 05733.** Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991.

**NBR 05739.** Concreto – Ensaio de Compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

**NM 101.** Concreto – Ensaio de Compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Comitê Mercosul de Normalização, 1996

OMENA, T.H. **Argamassa modificada com Poliestireno sulfonado a partir de copos plásticos descartados.** Disponível em: <[http://www.bdtd.ufu.br/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=4607](http://www.bdtd.ufu.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=4607)> Acesso em: 26 Jan 2014

PETRUCCI, E.G.R. **Concreto de cimento Portland.** 13. ed. São Paulo, 1995.

PONTES, I.V. ALMEIDA, S.L.M.d. **Talco Capítulo 9.** Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2005-141-00.pdf>> Acesso em: 26 Jan 2014

RILEM, (1982). TC MR-13 on Mortars and Renderings. Final recommendations. Materials and Structures, Réunion International des Laboratoires d'Essais et Matériaux, 15 (89), 475-519.

RODRIGUES, M.R.P; FERREIRA, O.P. **Argamassa com partículas derivada da reciclagem de pneus inservíveis.** Disponível em

<[http://www.apfac.pt/congresso2010/comunicacoes/Paper%2074\\_2010.pdf](http://www.apfac.pt/congresso2010/comunicacoes/Paper%2074_2010.pdf)> Acesso em: 26 Jan 2014

SANTOS, P.S. Tecnologia de Argilas. v.1, Edgard Blücher Ltda, São Paulo, p. 3-5, 1975.

TIBONI, R. **A utilização da cinza da casca de arroz de termelétrica como componente do aglomerante de compósitos à base de cimento Portland.** Disponível em: <[http://scholar.google.com.br/scholar\\_url?hl=ptBR&q=](http://scholar.google.com.br/scholar_url?hl=ptBR&q=)> Acesso em: 26 Jan 2014

VAINE, M.E..E **Rochas e Minerais.** Disponível em <<http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/escola/cadernos/caderno4.pdf>> Acesso em: 20 Jun 2015

Woodhead L.H. Handbook of Polymer Composites for Engineers. Cambridge: Pubishing Limited: 1994