

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

FERNANDO AUGUSTO MATTOS DE SOUZA

**ANÁLISE DO ENSAIO DE COMPRESSÃO DE UM COMPÓSITO FORMADO PELO
SUBPRODUTO DO PROCESSO DE DESSULFURIZAÇÃO DOS GASES DE
COMBUSTÃO E ESPUMA VINÍLICA ACETINADA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**BAGÉ
2016**

FERNANDO AUGUSTO MATTOS DE SOUZA

**ANÁLISE DO ENSAIO DE COMPRESSÃO DE UM COMPÓSITO FORMADO PELO
SUBPRODUTO DO PROCESSO DE DESSULFURIZAÇÃO DOS GASES DE
COMBUSTÃO E ESPUMA VINÍLICA ACETINADA**

Trabalho de conclusão de curso da
Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Me. Vanderlei Eckhardt

Coorientador: Prof. Dr. Allan Seeber

**BAGÉ
2016**

FERNANDO AUGUSTO MATTOS DE SOUZA

**ANÁLISE DO ENSAIO DE COMPRESSÃO DE UM COMPÓSITO FORMADO PELO
SUBPRODUTO DO PROCESSO DE DESSULFURIZAÇÃO DOS GASES DE
COMBUSTÃO E ESPUMA VINÍLICA ACETINADA**

Trabalho de Conclusão de curso da
Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia de Produção.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em 08 de dezembro de 2016.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Me. Vanderlei Eckhardt
Orientador
Unipampa

Prof. Dr. Allan Seeber
Coorientador
Unipampa

Prof. Me. Cesar Antônio Mantovani
Unipampa

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradecer a Deus por guiar meus passos e me manter no caminho durante a minha jornada.

Ao meu pai, que sempre me apoiou e tornou possível o início da minha caminhada até meus objetivos.

À minha mãe, que sempre me incentivou e me confortou quando precisei.

À minha namorada que teve paciência e me apoiou nos momentos difíceis.

À todos que estiveram do meu lado e me apoiaram durante esta difícil jornada.

Ao Professor Vanderlei, pelo apoio, incentivo, conselhos e dedicação.

RESUMO

Com o aumento populacional a demanda por energia elétrica cresce na mesma amplitude, visto que o ser humano utiliza da vez mais utensílios elétricos no seu cotidiano. Conseqüentemente isso faz com que o setor responsável pela geração de energia elétrica no Brasil cresça na mesma proporção. Parte desta geração de energia é realizada por usinas termelétricas a carvão mineral. Porém estas usinas geram resíduos, como o resíduo do processo de dessulfurização dos gases de combustão. A necessidade de buscar um destino técnico e economicamente viável aos resíduos provenientes do processo de dessulfurização na geração de energia em uma usina termoelétrica visa dar uma utilidade para este composto residual, buscando ajudar nas necessidades socioambientais da região. Este resíduo é composto por sulfato e sulfito de cálcio (CaSO_4 e CaSO_3), de inertes (cinzas, resíduos não reagentes) e de outros subprodutos de reação como carboneto de cálcio e hidróxido de cálcio (CaCO_3 , Ca(OH)_2), entre outros. Este trabalho tem por objetivo estudar as características de um compósito a partir da mistura deste resíduo (sulfato de cálcio) com espuma vinílica acetinada (EVA) moída, oriunda principalmente da indústria calçadista, que também é um resíduo do processo industrial. A partir deste compósito serão produzidos corpos de prova para que possa ser caracterizado através de ensaios mecânicos de compressão, além da realização de análise morfológica. Todos os ensaios serão realizados com observância da norma da ABNT NBR 12129 de gesso para a construção civil, assim como para a análise dos resultados. Como resultado do desenvolvimento e análise dos ensaios, espera-se obter informações relevantes para verificar se é possível e viável o desenvolvimento de um compósito de baixo custo para uso na construção civil, contribuindo para a reciclagem destes dois resíduos industriais.

Palavras - chave: Compósito, Sulfato de Cálcio, Espuma Vinílica Acetinada.

ABSTRACT

With the population increasing the demand for electricity grows in the same range, as the human use of more electrical appliances in their daily lives. Consequently it makes the industry responsible for electricity generation in Brazil grow in the same proportion. Part of this power generation is performed by thermal power plants to coal. However, these plants generate waste, such as waste from the desulphurization process of the flue gases. The need to seek a technical destination and economically viable waste from the desulfurization process in power generation in a power plant is intended to give a utility for this residual compound seeking help with social and environmental needs of the region. This residue consists of sulfate and calcium sulfite (CaSO_4 and CaSO_3), inert (ash residues nonreactive) and other reaction products such as calcium carbonate and calcium hydroxide (CaCO_3 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$), between others. This work aims to study the characteristics of a composite from the mixture of this residue (calcium sulphate) with ground satin vinyl (EVA) foam, mainly from the footwear industry, which is also a waste from the industrial process. From this composite will be produced test specimens so that it can be characterized by mechanical compression tests, besides the performance of morphological analysis. All tests shall be carried out in compliance with the ABNT NBR 12129 standard for plaster for civil construction, as well as for the analysis of the results. As a result of the development and analysis of the tests, it is expected to obtain relevant information to verify if it is possible and feasible the development of a low cost composite for use in construction, contributing to the recycling of these two industrial wastes.

Keywords: Composite, Calcium Sulfate, vinyl foam Satin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução da produção de alguns materiais nos EUA	18
Figura 2 - Classificação dos compósitos de acordo com a matriz.....	18
Figura 3 – Esquema de Classificação dos Compósitos de acordo com o reforço	21
Figura 4 – Representações esquemáticas de compósitos reforçados com fibras: (a) contínuas e alinhadas, (b) descontínuas e alinhadas e (c) descontínuas e orientadas aleatoriamente	26
Figura 5 - Empilhamento de camadas sucessivas reforçadas com fibras orientadas camadas em um compósito laminar	28
Figura 6 - Empilhamento de camadas sucessivas reforçadas com fibras orientadas camadas.	29
Figura 7 – Foto do dessulfurizador instalado na UPME	32
Figura 8 – Esquema de funcionamento do dessulfurizador instalado na UPME	33
Figura 9 - processo tradicional de conformação do gesso.....	36
Figura 14 – Tipos de ensaios de compressão: (A) Ensaio de compressão longitudinal e (B) Ensaio de compressão transversal	41
Figura 15– Curva característica do ensaio de compressão	42
Figura 19- Molde para corpos de prova cúbicos de 50 mm de aresta	48
Figura 20- Geometria do corpo de prova para ensaio de compressão.....	49
Figura 22 – Folha de EVA residual da indústria calçadista.	52
Figura 23 – Sulfato de Cálcio, Sulfito de Cálcio e Cinzas Provenientes do Processo de FGD.	53
Figura 24- Processo de preparação das amostras de EVA.	54
Figura 25 – Sistema de peneiramento.....	55
Figura 26- Recipientes com as amostras de EVA devidamente separadas e pesadas.	56
Figura 27 - Molde para corpos de prova para ensaios de compressão.	59
Figura 28 - Pesagem dos materiais para construção dos corpos de prova.....	60
Figura 29 - Segunda etapa da confecção dos corpos de prova.	61
Figura 30 – Terceira etapa da confecção dos corpos de prova.....	61
Figura 31 - Corpos de prova para ensaio de compressão.	62
Figura 32- Etapas do ensaio de compressão.....	66

Figura 33 - Curva da Força x Deformação Mesh 16 - 10% EVA.	68
Figura 34 - Curva da Força x Deformação Mesh 16 - 20% EVA.	68
Figura 35 - Curva da Força x Deformação Mesh 16 - 30% EVA.	69
Figura 36 - Análise das resistências à compressão dos corpos de prova nas três proporções de EVA com Mesh 16.	70
Figura 37 - Curva da Força x Deformação Mesh32 - 10% EVA.	71
Figura 38 - Curva da Força x Deformação Mesh 32 - 20% EVA.	71
Figura 39- Curva da Força x Deformação Mesh 32 - 30% EVA.	72
Figura 40 – Análise das resistências à ruptura dos corpos de prova nas três proporções de EVA com Mesh 32.	73
Figura41 - Curva da Força x Deformação Mesh 60 - 10% EVA.	74
Figura 42-Curva da Força x Deformação Mesh 60 - 20% EVA.	74
Figura 43 - Curva da Força x Deformação Mesh 60 - 30% EVA.	75
Figura 44 - Análise das resistências à compressão dos corpos de prova nas três proporções de EVA com Mesh 60.	76
Figura 45 - Curva da Força x Deformação Sulfado de Cálcio e Cinzas.....	77
Figura 46 -Curva da Força x Deformação Gesso Comercial.	77
Figura 47 - Forças de ruptura e resistência a compressão para corpos de prova com granulometria grande.	78
Figura 48 - Médias das resistências à compressão	79
Figura 49 - Médias das Resistências à Compressão dos compósitos	80
Figura 50 - Imagem reproduzida pelo estéreomicroscópio	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características de diversos materiais usados como reforço	27
Tabela 2 - Classificação dos sistemas de dessulfurização.....	30
Tabela 3 - Classificação do dessulfurizador conforme o material absorvente e o subproduto gerado.	34
Tabela 4 - Proporção da mistura de EVA / sulfato de cálcio nos três níveis de granulometria, antes da hidratação.....	47
Tabela 5 - Proporção da mistura de água/ (sulfato de cálcio + EVA).....	47
Tabela 6 – Propriedades mecânicas exigidas para o gesso na construção civil	51
Tabela 7– Massas das amostras em todos os níveis de proporção e granulometria.	58
Tabela 8 – Dimensões dos corpos de prova com granulometria grande.	62
Tabela 9 - Dimensões dos corpos de prova com granulometria média.	63
Tabela 10 - Dimensões dos corpos de prova com granulometria pequena.	64
Tabela 11 - Dimensões dos corpos de prova sem EVA em sua composição.	65
Tabela 12 - Forças de ruptura e resistência a compressão para corpos de prova com granulometria grande.....	69
Tabela 13 - Forças de ruptura e resistência a compressão para corpos de prova com granulometria média.....	72
Tabela 14 - Forças de ruptura e resistência a compressão para corpos de prova com granulometria pequena.	75
Tabela 15 - Forças de ruptura e resistência a compressão para corpos de prova “puros”.....	78
Tabela16 – Médias de Resistência à Compressão dos corpos de prova ensaiados	79

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas;
ASTM - American Society for Testing and Materials,
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente;
CMP - Compósitos com Matriz Polimérica;
CMC - Compósitos com Matriz Cerâmica;
CMM - Compósitos com Matriz Metálica;
DIN – Deutsches Institut für Normung;
EVA - Espuma Vinílica Acetinada;
FGD – Flue Gas Desulfurization;

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
Objetivos	14
1.1.1 Objetivo geral	14
1.1.2 Objetivos específicos	14
1.1.3 Justificativa	15
1.1.4 Estrutura do trabalho.....	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
Compósitos	16
2.1.1 Classificação dos compósitos de acordo com a matriz.....	18
2.1.1.1 Compósitos de matriz polimérica.....	18
2.1.1.2 Compósitos de matriz cerâmica	19
2.1.1.3 Compósitos de matriz metálica	20
2.1.2 Classificação dos compósitos de acordo com o reforço	21
2.1.2.1 Compósitos reforçados com partículas.....	22
2.1.2.1.1 Compósitos de partícula grande	22
2.1.2.1.2 Compósitos particulados fortalecidos por dispersão	23
2.1.2.2 Compósitos reforçados por fibras.....	24
2.1.2.2.1 Características dos compósitos reforçados com fibras.....	25
2.1.2.3 Compósitos estruturais	27
2.1.2.3.1 Materiais compósitos laminares	28
2.1.2.3.2 Painéis sanduíche	29
Dessulfurização dos gases de combustão	30
2.1.3 Processo de dessulfurização semi-seco com cal	32
2.1.4 Gesso (Sulfato de cálcio)	34
2.1.4.1 Conformação do gesso	35
2.1.4.2 Características do gesso.....	36
2.1.4.3 Normas técnicas do gesso para construção civil	37
Espuma Vinílica Acetinada	38
2.1.5 Características do EVA.....	38
2.1.6 Mecânica da Fratura em materiais cerâmicos.....	39
Ensaio Mecânicos	40
2.1.7 Ensaio de Compressão	41
Microscopia óptica	42
3 METODOLOGIA DE PESQUISA	44
Classificações das pesquisas.....	44
Métodos de abordagem.....	46
Etapas metodológicas	46
3.1.1 Preparação dos materiais	47
3.1.2 Confecção dos corpos de prova	48
3.1.2.1 Corpo de prova para ensaio de compressão	48
3.1.3 Ensaio mecânicos	50
3.1.3.1 Ensaio de compressão	50

3.1.3.1.1	Determinação da resistência à compressão	50
3.1.4	Caracterização morfológica do compósito	51
3.1.5	Análise dos resultados dos ensaios do compósito.	51
4	DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL	52
	Preparação das Amostras.....	53
	Construção do Molde dos Corpos de Prova	58
	Confecção dos Corpos de Prova.....	59
	Ensaio Mecânico de Compressão.....	61
5	Análise dos resultados	67
5.1	Análise dos resultados do ensaio de compressão (Mesh 16).....	67
5.2	Análise dos resultados do ensaio de compressão (Mesh 32).....	70
5.3	Análise dos resultados do ensaio de compressão (Mesh 60).....	73
5.4	Análise dos resultados do ensaio de compressão (“Puros”).....	76
5.5	Análise das médias de resistência à compressão	79
5.6	Análise de microscopia óptica	81
6	conclusões	83
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85

1 INTRODUÇÃO

Um dos grandes problemas enfrentados pela sociedade é a produção direta ou indireta de resíduos resultantes dos processos industriais, que na maioria das vezes são descartados de maneira incorreta pela falta de estudos e pesquisas para encontrar alguma aplicação e ou a melhor destinação dos mesmos, evitando-se que não acabem poluindo o meio ambiente. Com o aumento desenfreado da população, a produção dos bens de consumo cresce proporcionalmente na busca do atendimento destas necessidades. Um dos insumos básicos para que a sociedade possa viver confortavelmente é a energia elétrica, que pode ser gerada de diversas maneiras, seja por sistemas hidroelétricos, solares, eólicos e termoelétricos.

No Rio Grande dos Sul, o sistema de geração de energia principal é o termoelétrico, através da queima de carvão mineral, para aquecimento da água até o estado de vapor que irá acionar uma turbina ligada a um gerador de energia elétrica. Como garantia no atendimento dos padrões de emissão atmosférica fixados pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), as usinas termoelétricas em seu projeto adotam tecnologias modernas de limpeza dos gases altamente poluentes oriundos da queima do carvão mineral, como a técnica FGD (*Flue Gas Desulfurization*), para a dessulfurização dos gases da combustão, tecnologia de remoção do dióxido de enxofre (SO_2) a partir da lavagem dos gases de combustão. Na FGD, o efluente gasoso contendo SO_2 , entra em contato com um absorvente alcalino (em geral hidróxido de cálcio- $\text{Ca}(\text{OH})_2$), essas reações geram um subproduto que é formado por uma mistura de 49% de sulfato e sulfito de cálcio (CaSO_4 e CaSO_3), 35% de inertes (cinzas, resíduos não reagentes) e 16% de outros subprodutos de reação como carboneto de cálcio e hidróxido de cálcio (CaCO_3 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$).

O popularmente conhecido gesso, é um sulfato de cálcio hemihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$), ou seja, apresenta meia molécula de água agregada a ele. Já o sulfito de cálcio pode ser transformado em sulfato também, com a adição de uma molécula de oxigênio em sua estrutura, resultando no CaSO_4 . Por este resíduo ser formado em sua maior proporção por sulfato de cálcio, é pensado então em uma alternativa para utilização do mesmo na composição de um material compósito.

Um compósito ou conjugado, é o resultado da união de dois ou mais materiais, com propriedades distintas, mas pensando na complementação destas propriedades de um material para o outro. Em outras palavras, a mistura de diferentes materiais para gerar um novo, pode

resultar em um material com características próprias. Pois suas propriedades mecânicas e morfológicas podem ser satisfatoriamente melhoradas.

Para a obtenção de um material com características diferentes, será acrescido ao sulfato de cálcio, o EVA (Etileno Acetato de Viníla) popularmente conhecido no Brasil como espuma vinílica acetinada, e desta forma estaremos obtendo um material compósito com características diferentes do produto original.

O reaproveitamento de EVA no setor da construção civil já é alvo de pesquisas no Rio Grande do Sul, devido ao fato de abrigar grande parte das indústrias calçadistas do País, que são grandes geradoras deste resíduo. No Rio Grande do Sul já existem indústrias que utilizam os resíduos de EVA como agregados leves de concretos e argamassas.

São poucas as pesquisas voltadas para o aproveitamento do resíduo a base de sulfato de cálcio, por o mesmo não possuir um índice de pureza desejada pela indústria da construção civil. A fabricação de um material compósito, com resíduo a base de sulfato de cálcio e EVA pode ser a solução dos problemas voltados à geração de resíduos de ambos os setores indústrias e proporcionar a criação de um material de baixo custo com propriedades diferenciadas.

Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O trabalho tem por objetivo geral o estudo das propriedades mecânicas de um compósito de sulfato de cálcio (CaSO_4) e espuma vinílica acetinada (EVA) através do ensaio mecânico de compressão.

1.1.2 Objetivos específicos

- Construir corpos de prova a partir de sulfato de cálcio e espuma vinílica acetinada em diferentes proporções e granulometrias;
- Realizar ensaios mecânicos de compressão no compósito para as diferentes proporções;
- Analisar os resultados dos ensaios do compósito.

1.1.3 Justificativa

O desenvolvimento deste trabalho que envolve a utilização de resíduo industrial da dessulfurização dos gases oriundos da combustão do carvão mineral utilizado em usinas termelétricas e dos resíduos de EVA gerados na fabricação de calçados justifica-se, pois são resíduos descartados na natureza em locais apropriados ou não, sem nenhuma utilidade ou reutilização, podendo se tornar um novo produto para uso da sociedade e ainda contribuindo com a manutenção do meio ambiente.

1.1.4 Estrutura do trabalho

A estrutura deste trabalho foi dividida em capítulos que estão dispostos da seguinte forma:

No capítulo um, a introdução, os objetivos gerais e específicos a justificativa do tema e a estrutura do trabalho.

No capítulo dois é apresentada a fundamentação teórica que embasará o desenvolvimento deste trabalho.

No capítulo três, a metodologia utilizada para execução do trabalho e no capítulo quatro o cronograma de execução.

No capítulo quatro e cinco serão apresentados o desenvolvimento experimental e a análise dos resultados obtidos.

Nos capítulos seis, é apresentada a conclusão do estudo feito no trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Compósitos

Para Askland; Phulé (2008), os materiais compósitos (conjugados), são produzidos quando dois ou mais materiais (ou fases) são processados juntos para dar origem a uma combinação de propriedades em um novo material que não podem ser recriadas de outra maneira.

Na visão de Padilha (2000), os compósitos são materiais projetados de modo a conjugar características desejáveis de dois ou mais materiais. Onde apresenta a fase matriz, que pode ser dividida em três tipos: Polimérica, cerâmica ou metálica. E a outra fase é o reforço, que pode ser na forma de fibras, dispersão de partículas, bastonetes, plaquetas ou lâminas. Os materiais compósitos podem ser também chamados de materiais compostos ou materiais conjugados. Já Callister (2008) diz que muitos materiais compósitos são compostos de 2 fases: uma é denominada matriz e a outra chamada de fase dispersa.

As tecnologias atuais requerem materiais com propriedades combinadas que não podem ser oferecidas por materiais poliméricos, ligas cerâmicas e metálicas. Isso ocorre principalmente em aplicações aeroespaciais, de transporte e subaquáticos. Na engenharia buscam-se cada vez mais materiais estruturais fortes, rígidos, de baixa densidade, resistentes à corrosão e impactos (CALLISTER, 2008).

Na linha de pensamento de Daniel; Ishai (1994), os compósitos podem ser definidos como materiais compostos de duas ou mais fases, cujas propriedades mecânicas são projetadas para serem superiores às dos seus constituintes. Uma das fases é geralmente descontínua, mais forte e resistente, sendo denominada dispersa (reforçador), enquanto que a fase menos resistente é denominada matriz.

Segundo Callister (2008), combinações de propriedades de materiais e de suas faixas têm sido estendidas pelo desenvolvimento de materiais compósitos (conjugados). É considerado um compósito qualquer material multifásico que apresente uma significativa proporção de propriedades de ambas as fases constituintes, resultando em uma melhor combinação de propriedades. Neste princípio de ação combinada, as combinações de propriedades de dois ou mais materiais distintos são moldadas por suas judiciosas combinações.

No que se refere à fase matriz, um compósito pode ser classificado em três grupos: metálico, cerâmico e polimérico, Já a fase dispersa, também pode ser classificado em três grupos: compósitos reforçados por partícula, compósitos reforçados por fibra e compósitos estruturais (CALLISTER, 2008).

Um exemplo mais comum de material conjugado é o compósito de fibra de vidro em matriz polimérica, onde a matriz polimérica, de resina epóxidica, é responsável pela flexibilidade, enquanto a fibra de vidro confere resistência mecânica ao compósito. Um exemplo de compósito natural é a madeira, onde a matriz e o reforço são poliméricos (PADILHA, 2000).

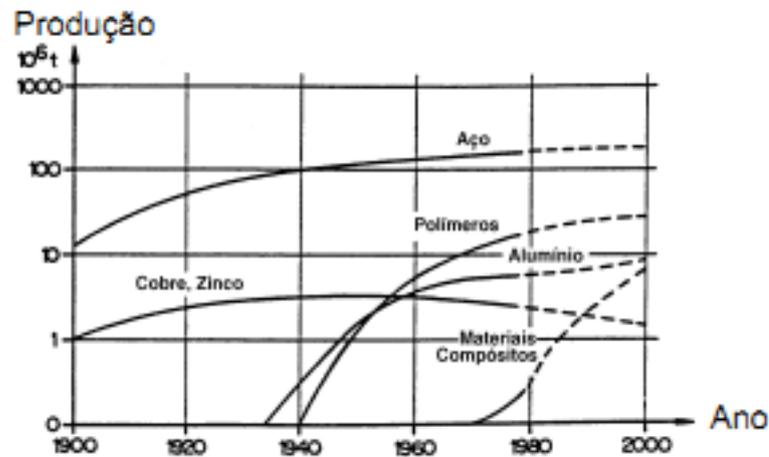
Outros exemplos de materiais compostos encontrados na natureza são a concha de abalone que é constituída predominantemente de carbonato de cálcio e o osso que é composto por proteína de colágeno, apresenta características como maciez e força e por mineral apatita que é duro e frágil (ASKLAND; PHULÉ, 2008).

O concreto é outro compósito comumente utilizado, que apresenta matriz e reforço cerâmicos. Sua matriz é cimento Portland e seu reforço é constituído de 60 a 80% em volume de um agregado fino (areia) e de um agregado grosso (pedregulho). O concreto também pode ser reforçado com barras de aço (PADILHA, 2000).

De acordo com Callister (2008), no desenvolvimento de materiais conjugados, engenheiros e cientistas criam várias combinações de cerâmicos, metais e polímeros para produzirem uma nova geração de materiais com propriedades diferenciadas. Vários compósitos foram criados para combinar características mecânicas tais como tenacidade, rigidez e grande resistência mecânica à temperatura ambiente e à temperaturas elevadas.

Conforme Padilha (2000), a expansão no desenvolvimento e no uso dos materiais compósitos iniciou-se na década de 1970, como mostra a Figura 1, onde é possível observar que até os anos 30, os materiais mais utilizados eram o aço, cobre e zinco. Apartir do final dos anos 30 e início dos 40, o alumínio e polímeros começam a ser produzidos e por fim nos anos 70 os materiais compósitos tiveram seu início na produção nos Estados Unidos da América.

Figura 1 - Evolução da produção de alguns materiais nos EUA.



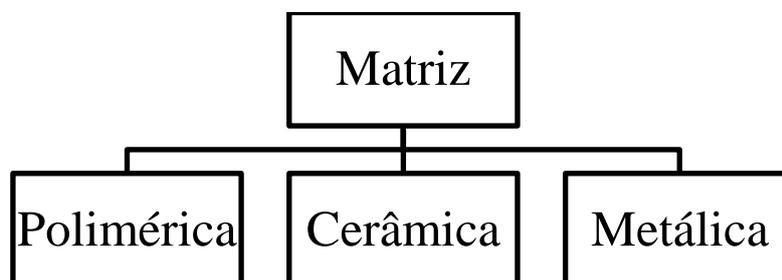
Fonte: Padilha (2000, p. 22).

2.1.1 Classificação dos compósitos de acordo com a matriz

Na visão de Padilha (2000), na fase matriz, os compósitos podem ser divididos em três tipos (Figura 2):

- Compósitos de matriz polimérica;
- Compósitos de matriz cerâmica;
- Compósitos de matriz metálica.

Figura 2 - Classificação dos compósitos de acordo com a matriz.



Fonte: Elaborado pelo autor.

2.1.1.1 Compósitos de matriz polimérica

Os compósitos de matriz polimérica (CMP) são particularmente comuns, grande parte dos materiais, termofixos e termo plásticos, disponíveis com uma diversidade de graus de

reforço, usando fibras de vidro descontínuas, ou seja, curtas. São moldados na forma desejada, normalmente são vendidos em forma de blocos ou chapas. Em temperaturas elevadas, utiliza-se termofixos, como polímidas aromáticas (ASKLAND; PHULÉ, 2008).

Para Almeida; Monteiro (1998) apud Panzera (2007), os polímeros são os materiais mais comuns para matrizes de conjugados. Possuem resistência e dureza inferiores aos metais e cerâmicas. Normalmente, são inadequadas para aplicações estruturais, devido a suas propriedades. Mas quando são adicionados polímeros reforçadores, há um ganho considerável nas propriedades do compósito, a princípio, esses reforçadores nem precisam ter propriedades extraordinárias.

Já Callister (2008), os compósitos de matriz polimérica, são constituídos de uma matriz de resina, reforçada por fibras. Apresentam uma diversidade de aplicações na engenharia. Uma de suas características é sua facilidade e seu baixo custo de fabricação. São comumente mais utilizados com reforços de fibra de vidro, carbono e aramida.

Uma outra vantagem do compósito de matriz polimérica apresentada por Almeida; Monteiro (1998) apud Panzera (2007), é que sua fabricação é feita em temperaturas relativamente baixas e altas pressões, o que evita a degradação do reforçador durante a fabricação. Por esses motivos o desenvolvimento deste tipo de compósito aumentou rapidamente bem como suas aplicações estruturais.

Segundo Callister (2008), os materiais conjugados de matriz polimérica apresentam algumas características negativas, pois não é possível utilizá-los em altas temperaturas, são muito sensíveis à radiação, absorvem umidade em alguns casos e devido a elevados coeficientes de expansão térmica apresentam instabilidade dimensional.

2.1.1.2 Compósitos de matriz cerâmica

Para entender melhor os compósitos de matriz cerâmica (CMC), é possível explicar o conceito de material cerâmico através de Van Vlack (1984), que conceitua esse tipo de material como sendo constituído de metais e não-metais, podendo ser unidos por ligações iônicas e/ou covalentes, o que faz apresentarem propriedades que os difere dos metais. Normalmente, são materiais isolantes, translúcidos, estáveis em condições de clima intenso e são não-deformáveis. Para exemplificar os materiais cerâmicos mais comuns, temos o vidro, pedra, tijolo, concreto, refratários para temperaturas elevadas, entre tantos outros.

Callister (2008) apresenta os materiais cerâmicos como resistentes à oxidação e grande resistência à deterioração em elevadas temperaturas. Em contrapartida, apresentam uma grande tendência à fratura frágil, o que lhes torna inapropriado para algumas aplicações que exigem tensões severas a altas temperaturas, como motores de automóveis.

Os compósitos de matriz cerâmica têm boas propriedades em temperaturas elevadas e são mais leves do que os compósitos de matriz metálica para uso em altas temperaturas, porém apresentam baixos valores de tenacidade à fratura (ASKLAND; PHULÉ, 2008).

Os materiais cerâmicos são significativamente melhorados pela adição de fibras, particulados ou *whiskers*, dando origem a uma nova geração de materiais conjugados cerâmicos. A tenacidade à fratura é uma das propriedades melhoradas nos compósitos de matriz cerâmica (CALLISTER, 2008).

Para Smith (1998), os compósitos de matriz cerâmica podem apresentar o reforço particulado de fibras descontínuas e de fibras contínuas. O principal e mais comum tipo de partículas e fibras descontínuas utilizadas são carboneto de silício (SiC), já os principais tipos de fibras contínuas que têm sido utilizadas nos conjugados cerâmicos são as de óxido de alumínio (Al_2O_3) e as de carboneto de silício.

Os principais métodos de fabricação dos compósitos de matrizes cerâmicas são aprensagem a quente, técnicas de sinterização na fase líquida e estampagem isostática a quente (CALLISTER, 2008).

2.1.1.3 Compósitos de matriz metálica

O início do desenvolvimento da tecnologia dos compósitos de matriz metálica (CMM) deu-se entre os anos 60 e início dos anos 70, reforçando metais leves, como ligas de alumínio, utilizando fibras de carbetto de silício e boro (DENÍCULI, 1999, apud FARIA, 2007).

Callister (2008), explica que como o próprio nome diz, a matriz dos CMM é um metal dúctil, Askland; Phulé (2008) demonstram que dentro da variedade de compósitos com matriz metálica, destacam-se o cobre, magnésio, níquel, alumínio e compostos intermetálicos. Os materiais reforçadores utilizados nestes compostos geralmente são fibras cerâmicas ou metálicas. Várias aplicações automotivas e aeroespaciais são obtidas pelos CMM.

Para Herakovich (1998), os conjugados metálicos apresentam temperaturas de trabalho mais elevadas do que seus metais-base. O reforço utilizado melhora a resistência, rigidez, resistência à abrasão e a condutividade térmica entre outras propriedades. Já Askland (2008),

explica que a matriz metálica permite que o compósito opere em altas temperaturas, porém, seu processo de produção é mais difícil e mais caro do que a fabricação dos CMP.

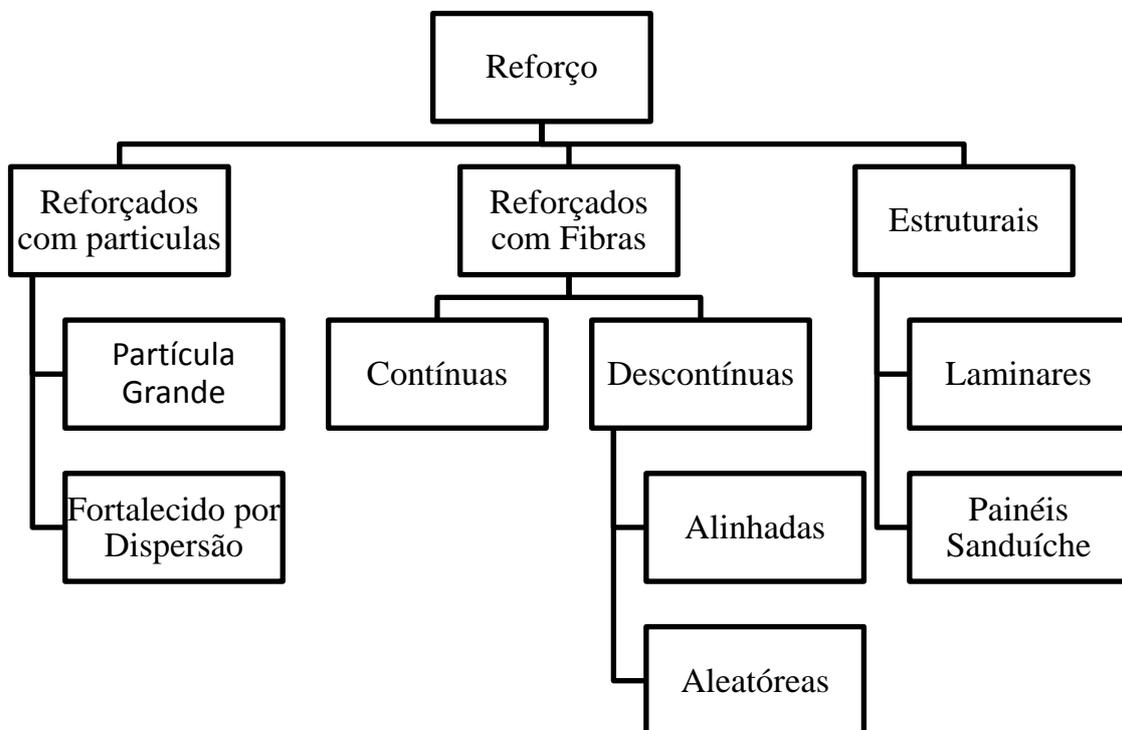
Para Callister (2008), o processo mais utilizado na fabricação de conjugados metálicos, apresenta duas etapas, sendo uma delas a síntese, que consiste em introduzir o reforçador na matriz, e a outra etapa a operação de modelagem. Os CMM com fibras descontínuas podem ser modelados através de laminação, extrusão e forjamento.

2.1.2 Classificação dos compósitos de acordo com o reforço

De acordo com a abordagem de Callister (2008) os materiais conjugados (compósitos) são classificados em 3 tipos (Figura 3):

- Compósitos reforçados por partículas;
- Compósitos reforçados por fibras;
- Compósitos estruturais.

Figura 3 – Esquema de Classificação dos Compósitos de acordo com o reforço.



Fonte: Elaborado pelo autor.

2.1.2.1 Compósitos reforçados com partículas

Segundo Van Vlack (2000), se as partículas que reforçam um material composto fossem esferas perfeitas, a determinação do tamanho das partículas seria uma simples medida de diâmetro. A maior parte das partículas apresentam formas que diferem um pouco da esfera perfeita, mas assim mesmo, é desejável medir o tamanho das mesmas.

Os compósitos reforçados por partícula apresentam duas subdivisões, compósito partícula de grande e compósito fortalecido por dispersão. A diferenciação entre essas é baseada no sistema de reforço e melhoramento de resistência mecânica. Onde o que os difere são as interações partícula-matriz, podendo ser em níveis atômicos ou não (CALLISTER, 2008).

2.1.2.1.1 Compósitos de partícula grande

A terminologia "grande" é utilizada para indicativo de que as interações partícula-matriz não devem ser tratadas nos níveis molecular ou atômico. Na maioria dos compósitos, a fase particulada é mais dura e rígida do que a matriz. Estas partículas reforçadoras restringem o movimento da fase matriz na vizinhança de cada partícula. Em contrapartida, a matriz transfere alguma tensão aplicada às partículas, que suportam uma fração da carga. O grau de reforço ou melhoria do comportamento mecânico depende da forte ligação na interface matriz-partícula (CALLISTER, 2008).

Para Askland; Phulé (2008), os compósitos particulados contêm grandes quantidades de partículas grossas que impedem o deslizamento de discordâncias de forma eficaz. Os compostos particulados são projetados visando a obtenção de combinações incomuns de propriedades mais do que aumentar a resistência mecânica.

Segundo Callister (2008), as partículas podem apresentar uma boa variedade de geometrias, mas elas devem ser de aproximadamente a mesma dimensão em todas as direções. Para obter um reforço efetivo, as partículas devem ser pequenas e igualmente distribuídas através de toda a matriz. Além disso, as propriedades mecânicas são melhoradas com o aumento do teor de particulados. Existem expressões matemáticas que foram formuladas para calcular o módulo elástico sobre a fração de volume das fases constituintes para um compósito bifásico.

Compósitos de partícula grande são utilizados com todos os três tipos de materiais, sendo eles, metais, polímeros e cerâmicas. Um exemplo de compósito de partícula grande é o concreto, sendo composto de cimento (a matriz) e areia e cascalho (pedregulho, saibro) os particulados, no qual as fases tanto a matriz quanto a dispersa são materiais cerâmicos (CALLISTER, 2008).

Callister (2008), apresenta o concreto com duas variações, onde uma delas é o concreto de cimento portland e a outra o concreto reforçado. Os ingredientes necessários para construção do concreto de cimento portland são o próprio cimento portland, agregado fino (areia), agregado grosso (cascalho) e água. Os agregados atuam como um material enchedor, reduzindo o custo do concreto, uma vez que eles são baratos quando comparados com o cimento. Os agregados compreendem 60 a 80% do volume total, já a pasta cimento-água deve ser o bastante para recobrir as partículas de areia e de cascalho. O concreto de cimento portland é o principal material utilizado na construção civil, porém como material estrutural, possui algumas limitações. Como se trata de um material cerâmico, ele é relativamente fraco e muito frágil, apresenta resistência à tração de 10 a 15 vezes menor do que a sua resistência à compressão.

O concreto reforçado, nada mais é que o concreto de cimento portland com sua resistência mecânica aumentada, pela adição de reforços como barras, hastes ou telas de aço, que são inseridas no concreto fresco. Com isso, a estrutura se torna endurecida e capaz de suportar tensões de tração maiores, bem como cisalhamento e compressão. No caso de ocorrerem trincas no concreto, o reforço é mantido (CALLISTER, 2008).

2.1.2.1.2 Compósitos particulados fortalecidos por dispersão

Segundo Askland; Phulé (2008) é classificado como compósito endurecido por dispersão um grupo de nanocompósitos, que contém partículas de 10 a 25nm de diâmetro. Esses dispersóides são inseridos na matriz, e mesmo que essas pequenas partículas não sejam cristalgraficamente coerentes com a matriz, elas tendem a bloquear o movimento das discordâncias, resultando num efetivo endurecimento.

No caso dos compósitos reforçados por dispersão, as partículas são muito menores, tendo diâmetros entre 0,01 e 0,1mm (10 a 100nm). As interações partícula-matriz ocorrem num nível atômico ou molecular. As pequenas partículas dispersas dificultam ou impedem o movimento das discordâncias e a matriz suporta a maior porção de uma carga aplicada. Dessa

forma a deformação plástica é restringida de maneira que as resistências ao escoamento e à tração aumentam, bem como a dureza (CALLISTER, 2008).

Callister (2008), diz que metais e ligas metálicas podem ser endurecidas pela uniforme dispersão de vários por centos volumétricos de finas partículas de um material muito duro e inerte. A fase dispersa pode ser metálica ou não-metálica. O efeito de fortalecimento por dispersão é retido a elevadas temperaturas e para estendidos períodos de tempo porque as partículas dispersas são escolhidas para serem não-reativas com a fase matriz.

Segundo Askland; Phulé (2008), para o dispersóide ter efeito endurecedor, não deve ser solúvel na matriz e não deve reagir quimicamente com a mesma, mas uma pequena solubilidade pode ajudar a melhorar a ligação química entre o dispersante e a matriz.

2.1.2.2 Compósitos reforçados por fibras

Grande parte dos compósitos reforçados com fibra apresenta maior limite de resistência, maior resistência à fadiga, maior módulo de resistência específica ao incorporar fibras mecanicamente resistentes, mais frágeis em uma matriz com menor massa específica e mais dúctil (ASKLAND; PHULÉ, 2008).

Os compósitos considerados tecnologicamente mais importantes são aqueles nos quais as fases dispersas estão na forma de uma fibra. Os principais objetivos dos compósitos reforçados com fibra é ter alta resistência mecânica com pouco peso. Materiais compostos reforçados com fibra com excepcionalmente altas resistências mecânicas e módulos específicos muito elevados têm sido produzidos utilizando materiais de fibra e de matriz de baixas densidades (CALLISTER, 2008).

Para Daniel; Ishai (1994), com relação a orientação das fibras, os materiais compostos podem ser divididos em duas categorias de compósito, os de fibras contínuas e os de fibras descontínuas. Onde os compósitos de fibras descontínuas contêm pequenas fibras (*whiskers*) como reforçadoras e os compósitos de fibras contínuas são reforçados por longas fibras contínuas sendo os mais eficientes sob o ponto de vista de rigidez e força. As fibras podem ser orientadas unidirecionalmente, formando ângulos entre si ou distribuídas multidirecionalmente.

2.1.2.2.1 Características dos compósitos reforçados com fibras

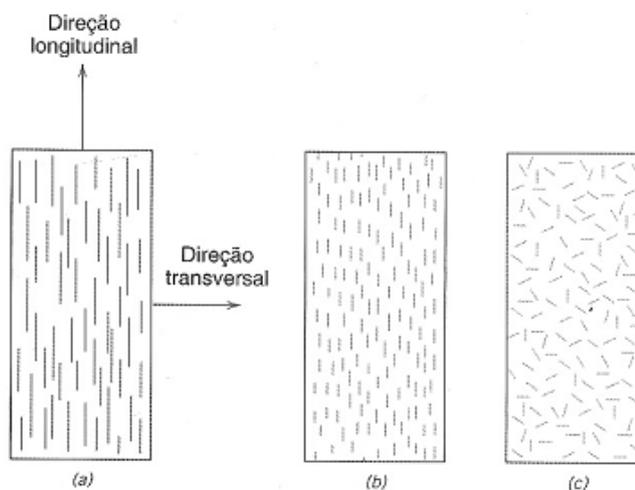
De acordo com Askland; Phulé (2008) devem ser levados em consideração vários fatores ao projetar um material composto reforçado com fibras, incluindo seu comprimento, diâmetro, orientação, quantidade, propriedades das fibras e as propriedades da matriz.

Para Callister (2008), a fibra deve ter algum comprimento crítico necessário para o fortalecimento efetivo e enrijecimento do material compósito. Este comprimento crítico (l_c) é dependente do diâmetro da fibra (d) e a sua resistência mecânica (ou tensão) final (s_f) e da resistência mecânica da ligação fibra-matriz (t_c). Conforme o comprimento da fibra l aumenta, o reforço da fibra se torna mais efetivo, um perfil de tensão-posição axial para $l > l_c$ quando a tensão aplicada é igual à resistência da fibra. As fibras podem ser curtas, longas ou contínuas e curtas ou descontínuas. Suas dimensões são frequentemente caracterizadas pela razão de aspecto l/d , onde l é o comprimento e d é o diâmetro da fibra.

Segundo Callister (2008), as fibras nas quais $l \gg l_c$ (normalmente $l > 15l_c$) são denominadas contínuas e fibras descontínuas possuem comprimentos menores do que o apontado acima. Para fibras descontínuas de comprimento significativamente menores do que l_c , a matriz se deforma ao redor da fibra de tal maneira que virtualmente não exista transferência de tensão e que haja pouco reforço pela fibra.

A orientação das fibras entre si e a concentração (ou quantidade) da fibra têm muita influência sobre as propriedades e a resistência mecânica de compósitos reforçados por fibra. Com relação à orientação, as fibras podem ser contínuas e alinhadas (Figura 4a), enquanto que fibras descontínuas são alinhadas (Figura 4b) ou randomicamente orientadas (Figura 4c) (CALLISTER, 2008).

Figura 4 – Representações esquemáticas de compósitos reforçados com fibras: (a) contínuas e alinhadas, (b) descontínuas e alinhadas e (c) descontínuas e orientadas aleatoriamente.



Fonte: Callister (2008, p.429).

Grande parte dos compostos reforçados por fibras apresentam propriedades como resistência, rigidez e leveza. A temperatura de fusão das fibras deve ser elevada, se a temperatura na qual o compósito for utilizado também for alta (ASKLAND, 2008).

Seguindo a linha de raciocínio de Askland (2008), a matriz geralmente controla o comportamento químico, as propriedades elétricas e a restrição ao uso do compósito em temperaturas elevadas. A matriz tem a função de unir as fibras e as mantém na posição adequada, transferindo a carga às fibras e as protegendo de danos durante a fabricação e utilização dos materiais compostos, além de ter a função de prevenir que as trincas das fibras de vidro se propaguem.

De acordo com Callister (2008), os materiais compostos reforçados por fibras apresentam também duas fases, uma sendo a fase matriz e a outra a fase fibra. A fase matriz dos materiais fibrosos pode ser um metal, um polímero ou uma cerâmica. Na maioria dos casos os polímeros e metais são utilizados como os materiais de matrizes, quando alguma ductilidade é desejada. Já os compósitos com matriz cerâmica, apresentam um componente de reforço que melhora a tenacidade à fratura. Na fase fibra, os materiais usados como reforço possuem altos limites de resistência à tração. Com base no seu diâmetro e na sua natureza as fibra são classificadas como *whiskers*, fibras e arames. Onde os *whiskers* são monocristais muito finos que possuem razões comprimento-diâmetro muito grandes. As fibras podem ser tanto policristalinas quanto amorfos e possuem pequeno diâmetro, geralmente são polímeros ou cerâmicos. Os arames finos apresentam diâmetros relativamente grandes, podendo ser de

aço, molibidênio e tungstênio. As características de alguns materiais usados como reforço, podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características de diversos materiais usados como reforço.

<i>Material</i>	<i>Densidade Relativa</i>	<i>Limite de Resistência à Tração [Gpa(10⁶ psi)]</i>	<i>Resistência Específica (Gpa)</i>	<i>Módulo de Elasticidade [Gpa (10⁶ psi)]</i>	<i>Módulo Específico (Gpa)</i>
<i>Whiskers</i>					
Grafite	2,2	20 3	9,1	700 100	318
Nitreto de silício	3,2	5--7 (0,75--1,0)	1,56--2,2	350--380 (50--55)	109--118
Óxido de Alumínio	4	10--20 (1--3)	2,5--5,0	700--1500 (100--220)	175--375
Carbeto de silício	3,2	20,00 3,00	6,25	480 70	150
<i>Fibras</i>					
Óxido de Alumínio	3,95	1,38 0,2	0,35	379 55	96
Aramida (Kevlar 49)	1,44	3,6-4,1 (0,525-0,600)	2,5--2,85	131 19	91
Carbono	1,78-2,15	1,5-4,8 (0,22-0,70)	0,70--2,70	228--724 (32--100)	106--407
Vidro-E	2,58	3,45 0,5	1,34	72,5 10,5	28,1
Boro	2,57	3,6 0,52	1,4	400 60	156
Carbeto de silício	3	3,9 0,57	1,3	400 60	133
UHMWPE (Spectra 900)	0,97	2,6 0,38	2,68	117 17	121
<i>Arames Metálicos</i>					
Aço de alta resistência	7,9	2,39 0,35	0,3	210 30	26,6
Molibdênio	10,2	2,2 0,32	0,22	324 47	31,8
Tungstênio	19,3	2,89 0,42	0,15	407 59	21,1

Fonte: Callister (2008, p.437).

2.1.2.3 Compósitos estruturais

Segundo Callister (2008), os compósitos estruturais são geralmente constituídos por materiais homogêneos ou por compósitos, suas propriedades não dependem somente das propriedades dos materiais constituintes, mas também do projeto geométrico dos vários

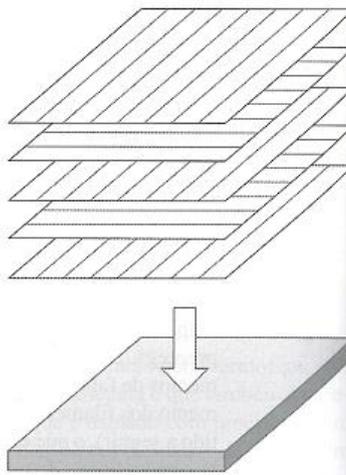
elementos estruturais. Os tipos mais comuns de compósitos estruturais são os laminados e os painéis-sanduíche.

2.1.2.3.1 Materiais compósitos laminares

Um compósito laminar é composto de lâminas bidimensionais ou painéis que têm uma direção preferencial com grande resistência mecânica, tal como encontrado na madeira e em plásticos reforçados por fibras contínuas e alinhadas. As camadas são empilhadas e unidas umas às outras, fazendo com que a orientação na direção de alta resistência mecânica varie com cada sucessiva camada (Figura 5). Assim um compósito laminar tem uma relativamente alta resistência mecânica num número de direções no plano bidimensional (CALLISTER, 2008).

Para Askland; Phulé (2008), compósitos laminares abrangem laminados, blindagens recobrimentos muito finos, revestimentos protetores mais espessos e muitas outras aplicações. Muitos compósitos laminares são projetados para aumentar a resistência contra a corrosão preservando um baixo custo de produção, apresentando alta resistência mecânica com baixo peso. Também podem apresentar características de resistência a abrasão e ao desgaste e ter um fino acabamento superficial.

Figura 5 - Empilhamento de camadas sucessivas reforçadas com fibras orientadas camadas em um compósito laminar.



Fonte: Callister (2008, p.448).

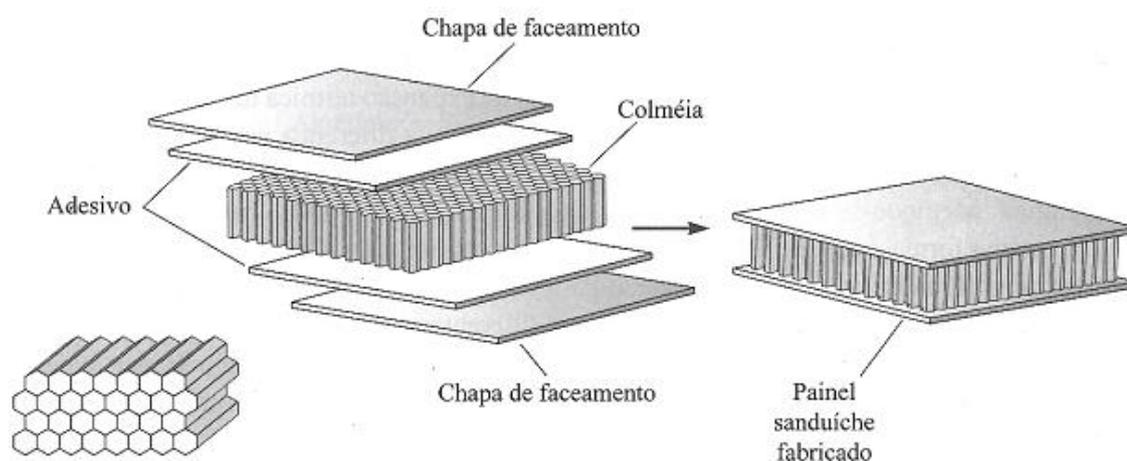
2.1.2.3.2 Painéis sanduíche

Os painéis sanduíche possuem finas camadas de um determinado material de faceamento, unido outro material de enchimento de peso leve, como espuma polimérica. Nem o forro e nem material de enchimento são rígidos ou resistentes, mas o material composto apresenta as duas características. Como exemplo facilmente encontrado temos o papelão corrugado, que apresenta um núcleo de papel que é unido em ambos os lados com papel grosso e liso. Este núcleo e o papel do forro, não apresentam rigidez, mas o material composto resultante dos dois, sim (ASKLAND; PHULÉ, 2008).

Para Callister (2008), materiais sanduíche são projetados para exercerem a função de vigas ou painel com peso reduzido e alta resistência. Consistem de duas folhas externas, separadas por um núcleo de material com menor densidade, com menor rigidez e resistência mecânica. As folhas suportam a maior parte do carregamento no plano e também quaisquer tensões de flexões transversais. O núcleo exerce duas funções estruturais, uma dessas funções é separar as faces e resistir às deformações perpendiculares ao plano da face e a outra função é fornecer rigidez cisalhante ao longo dos planos perpendiculares às faces (folhas).

Askland; Phulé (2008), apresenta um outro exemplo muito importante de material sanduíche, a estrutura que possui um núcleo similar a um favo de mel (Figura 6), muito utilizada nas indústrias aeronáutica e aeroespacial, onde as células da colméia podem ser hexagonais, quadradas, retangulares e senoidais, podendo ser fabricadas em fibra de vidro, alumínio, papel e vários outros materiais.

Figura 6 - Empilhamento de camadas sucessivas reforçadas com fibras orientadas camadas.



Fonte: Askland; Phulé (2008, p.562).

Dessulfurização dos gases de combustão

A dessulfurização dos gases de combustão (FGD) é um processo que consiste em separar o SO₂ (dióxido de enxofre) de uma corrente gasosa por exposição ou contato com um absorvente ou adsorvente que pode ser injetado diretamente na caldeira de combustão do carvão, em um duto na saída da caldeira, ou em uma unidade projetada para tal efeito, como um absorvedor ou lavador de gases, ou adsorvedores (SANTOS, 2007).

Os processos de FGD disponíveis podem ser divididos em regenerativos e não regenerativos, que normalmente não são tão sofisticadas e caras. Dessa forma, os processos não regenerativos são os mais utilizados, onde os sorbentes são mais baratos, como calcário e cal (BRAGANÇA, 1996).

Conforme Santos (2007), os processos regeneráveis visam recuperar o agente químico fixador e/ou conversor do SO₂, e a obtenção de um produto com interesse comercial em que o enxofre original aparece combinado em formas distintas do SO₂ concentrado como enxofre e ácido sulfúrico (S, H₂SO₄).

Já os processos de dessulfurização não regeneráveis geram um subproduto que pode ter interesse comercial, como gesso, ou somente resíduo com elevados níveis de sulfitos, sulfatos e cinzas volantes, que podem não ser um reagente reciclável. Os processos não regeneráveis podem ser por via úmida, por via semi-seca e por via seca. A Tabela 2 mostra classificação dos sistemas de dessulfurização (SANTOS, 2007).

Tabela 2 - Classificação dos sistemas de dessulfurização.

Características Típicas de Sistemas de Dessulfuração [1]				
Característica	Lavadores	Semi-Seco	Seco (ID)	Regenerável
Combinado				
Eficiência DESOX(%)	90--98	75--90	50--60*	85--98
Investimento (US\$/Kwe)	150--280	140--190	60--120*	190--380
Consumo de E Elétrica (%)	1--3	0,5--1	<0,5	<5
Subproduto Vendável	Elevado	Baixo	Baixo	Elevado
Espaço para Instalação	Alto	Moderado	Baixo	Alto
Consumo de Absorvente	Baixo	Moderado	Alto	Muito baixo

Fonte: Castellan; Chazan; D Ávila (2003, P.333)

Conforme a Eletrobrás - CGTE (2016), a Usina Termoelétrica Presidente Médici (UPME), do tipo térmica a vapor, localizada no município de Candiota - RS, possui 796 MW de potência instalados. Utiliza o carvão mineral da Jazida Candiota como combustível principal. Seus padrões de emissão atmosférica, definidos pelo CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), no licenciamento ambiental do empreendimento, ficaram estabelecidos da seguinte forma:

- Material Particulado, para operação com 45% da Potência Nominal: 100 mg/Nm³
- Material Particulado, para operação com 80% da Potência Nominal: 265 mg/Nm³
- Dióxido de enxofre (SO₂): 1.700 mg/Nm³
- Óxidos de azoto (NO_x): 680 mg/Nm³

O carvão mineral de Candiota apresenta um teor de enxofre de 1,6% bs e uma emissão base de 7.000 mg SO₂/Nm³ de gás de combustão, referido a 6% de oxigênio. O carvão apresenta elevado teor de enxofre e de umidade, considerando seu baixo poder calorífico e apresenta características intrínsecas que inviabilizam seu beneficiamento por processos convencionais (CASTELLAN; CHAZAN; D ÁVILA, 2003)

Para atender os padrões de emissão de gases estabelecidos pelo CONAMA, a usina de Candiota conta com um sistema de FGD (Figura 7) do tipo semi-seco que utiliza como agente dessulfurizante a cal virgem. O processo de dessulfurização apresenta eficiência > 80% de redução das emissões de dióxido de enxofre, conta também, com tecnologias modernas de abatimento de material particulado integrado ao sistema de dessulfurização, além da utilização de queimadores de baixa emissão de NO_x (ELETROBRAS – CGTE, 2016).

Figura 7 – Foto do dessulfurizador instalado na UPME.



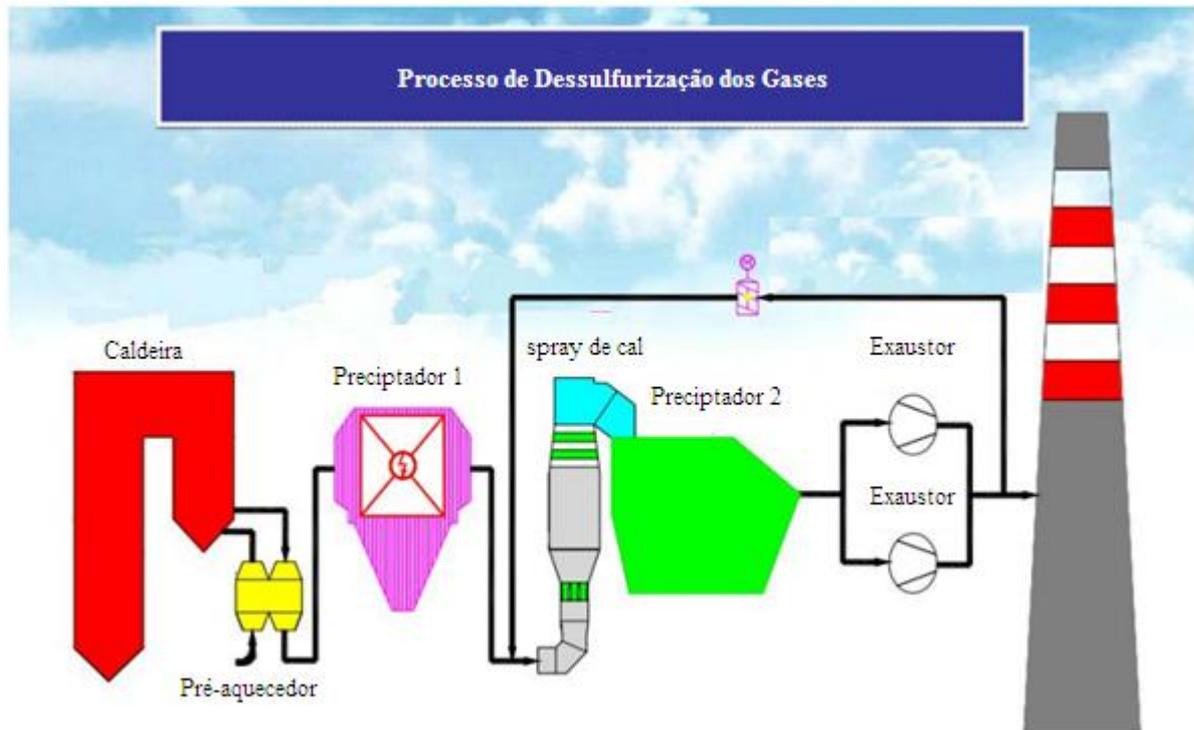
Fonte: Marques (2012).

2.1.3 Processo de dessulfurização semi-seco com cal

O processo de dessulfurização semi-seco inicia com uma solução aquosa de cal que é atomizada num dessulfurizador (vaso de absorção) instalado na linha do gás de combustão, onde ocorre a reação do agente dessulfurizante com o SO_2 , a água é evaporada da solução dessulfurizante resultando na formação de sulfato e sulfito de cálcio secos (CASTELLAN; CHAZAN; D ÁVILA, 2003).

A Figura 8 mostra o esquema básico de funcionamento do processo semi-seco. A cal é utilizada para a remoção de enxofre, com uma pequena quantidade de água, pulverizado no interior do absorvedor. A água adicionada é completamente evaporada, gerando um resíduo seco, composto por uma mistura de hidróxido de cálcio parcialmente convertido a sulfato e sulfito de cálcio, juntamente com as cinzas volantes (SANTOS, 2007).

Figura 8 – Esquema de funcionamento do dessulfurizador instalado na UPME.

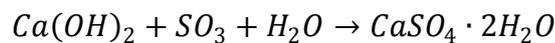


Fonte: Marques (2012).

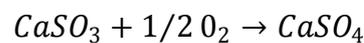
As reações químicas fundamentais envolvidas na dessulfurização são:



Cal hidratada + dióxido de enxofre → sulfito de cálcio com água incorporada à molécula



Cal hidratada + trióxido de enxofre → sulfato de cálcio com água incorporada à molécula



Sulfito de cálcio com água incorporada à molécula + oxigênio → sulfato de cálcio com água incorporada à molécula

O subproduto é formado por uma mistura de 14% de sulfato, 35% de sulfito de cálcio, 35% de inertes (cinzas, resíduos não reagentes) e 16% de outros subprodutos de reação como carboneto de cálcio e hidróxido de cálcio (MARQUES, 2012). A Tabela 3 apresenta classificação do dessulfurizador conforme o material absorvente e o subproduto gerado.

Tabela 3 - Classificação do dessulfurizador conforme o material absorvente e o subproduto gerado.

Classificação das Tecnologias de Dessulfuração		
PROCESSO	MATERIAL ABSORVENTE	SUBPRODUTO
LAVADORES		
Cal/Calcário	CaCO ₃ (calcário)/Ca(OH) ₂ , CaO(cal)	CaSO ₄ .2H ₂ O(gesso)ou CaSO ₃ /CaSO ₄
Sódio	Na ₂ CO ₃ (soda barrilha), NaOH	Na ₂ SO ₃
Água do mar	Água do mar (+Ca(OH) ₂)	Retorno ao mar
Amônia	NH ₃ (amônia)	(NH ₄) ₂ SO ₄
Duplo álcali	Na ₂ CO ₃ +CaCO ₃ (ou CaO)	Gesso,CaSO ₃ /CaSO ₄
SEMI-SECO	Ca(OH) ₂ (lama de cal)	CaSO ₃ /CaSO ₄
SECO		
Injeção na fornalha	CaCO ₃ ,Ca(OH) ₂ ,CaCO ₃ ,MgCO ₃	CaSO ₃ /CaSO ₄
Injeção na linha de gás	Ca(OH) ₂ , CaO	CaSO ₃ /CaSO ₄
Híbrido	CaCO ₃ ,Ca(OH) ₂	CaSO ₃ /CaSO ₄
Leito fluidizado	Ca(OH) ₂	CaSO ₃ /CaSO ₄
REGENERÁVEL	Na ₂ SO ₃ /MgO/Aminas	SO ₂ ,S,H ₂ SO ₄
COMBINADO		
NO ₃ /SO ₃	NH ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄ ,NH ₄ NO ₃

Fonte: Castellan; Chazan; d'Ávila (2003, P.332).

A adoção deste dessulfurizador é comum na Europa para obter subprodutos distintos com maior potencial de comercialização, como cinzas volantes e produtos sulfatados (CASTELLAN; CHAZAN; D'ÁVILA, 2003).

O sulfato de cálcio é o subproduto mais importante da reação química resultante do processo de dessulfurização, pois com água incorporada à molécula, forma o gesso. Já o sulfito de cálcio, quando incorporada água à molécula mais oxigênio, resulta no gesso, conforme as reações químicas mostradas anteriormente. A quantidade de SO₂ determina o produto final da reação (MARQUES, 2012).

2.1.4 Gesso (Sulfato de cálcio)

O sulfato de cálcio é o subproduto mais importante da reação química resultante do processo de dessulfurização, pois com água incorporada à molécula, forma o gesso. Do ponto de vista químico o gesso é o Sulfato de cálcio hemhidratado (CaSO₄.1/2H₂O) (SILVA, 2010).

Quando são adicionados agregados no processo de preparo do gesso, para uma mesma relação normalmente usada de água e gesso, resulta em um tempo de início de pega consideravelmente reduzido, este fenômeno pode ser explicado pelo efeito de nucleação

exercido pelo material agregado que reduz o tempo de início da precipitação do produto hidratado (JHON; ANTUNES, 2002).

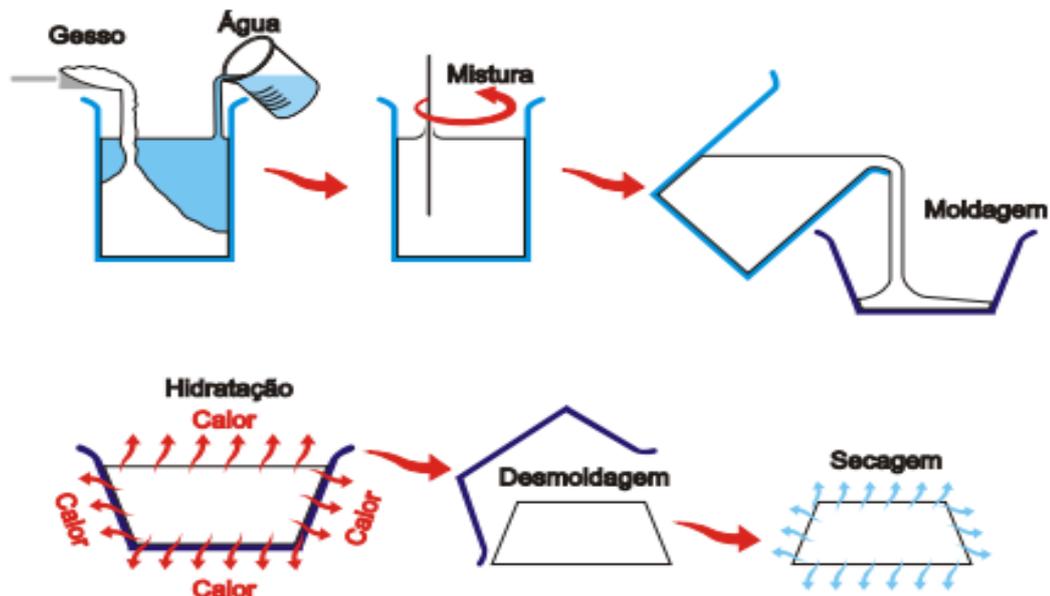
O gesso resultante do processo de dessulfurização dos gases é um subproduto industrial quimicamente idêntico ao gesso convencional e sua utilização proporciona aplicações menos nocivas ao meio ambiente. Existem muitos usos para o gesso de FGD, tais como: produtos de painel de gesso, produção de cimento, produtos para construção, agricultura, e tratamento de águas (FGDPRODUCTS, 2016).

Estimativas indicam que a produção anual mundial atual de gesso FGD ascende a valores próximos de 225 milhões de toneladas e que em 2020 deverá rondar os 500 milhões de toneladas por ano (Camões Aires et al.,2012 apud MALHOTRA 2008). Países em desenvolvimento como a China (o maior produtor mundial de gesso FGD, ultrapassando os 100 milhões de toneladas por ano) e a Índia (cerca de 20 milhões de toneladas por ano), devem contribuir decisivamente para este acréscimo. O gesso FGD é também um material de preço muito reduzido e bastante acessível tornando-se bastante atractivo em termos económicos (Camões Aires et al.,2012).

2.1.4.1 Conformação do gesso

Conforme Kanno (2009), no processo de conformação tradicional (Figura 9), a proporção água/gesso necessária para hidratação do sulfato de cálcio hemihidratado (HH) varia entre 0,6 e 1,0, ou seja, de 60g a 100g de água para cada 100g de gesso HH. A quantidade de água adicionada serve para que a pasta seja fácil de ser misturada e colocada no molde, que dará forma ao material após a cura (hidratação). Já a água que não reage com o gesso HH, evapora deixando microporos na microestrutura do material, resultando numa baixa densidade, ou seja o gesso produzido com excesso de água, possui baixa resistência.

Figura 9 - processo tradicional de conformação do gesso.



Fonte: Kanno (2009, p.47).

2.1.4.2 Características do gesso

No gesso a rigidez e a resistência mecânica são fundamentalmente, com base na sequência dos cristais dihidratado, que acompanham a sua precipitação (KUNKELLY e VOGLER, 2008 apud SILVA, 2010). A relação água/gesso pode afetar diretamente a resistência mecânica do gesso, pois o tempo de pega também é influenciado diretamente pela quantidade de água utilizada. Com a diminuição da quantidade de água, no processo de fabricação do gesso, sua resistência mecânica é aumentada, mas o tempo de pega é reduzido (SILVA, 2010).

Dias; Cincoto (1995), mostram que o gesso possui baixa condutividade térmica, é um mau condutor de calor, pois apresenta grandes vazios nos espaços inter cristalinos, o que o torna 3 a 4 vezes menos condutor do que o concreto. Alguns estudos apontam uma redução na temperatura do ambiente de aproximadamente 4°C com uso de placas de gesso sobre ou em ambientes com incidência de sol (ATHIENITIS, 1997 apud SILVA, 2010).

Silva (2010) comenta que vários estudos mostram que a sonorização e o desempenho acústico dos ambientes é melhorada com sua utilização do gesso. Também explica que tem sido intensificado o desenvolvimento de compósitos a base de gesso a fim de melhorar suas propriedades. Em experimentos, Çolak (2006) apud Silva (2010) obteve uma melhora na força de flexão do gesso reforçado com látex, o aumento da força de flexão se deu à formação

de polímeros no interior do gesso. A adição de látex no gesso após a hidratação modifica a rede de poros interferindo na sua hidratação, com isso sua decomposição é interrompida o que dificulta a cristalização. O aumento do nível de látex também diminui a porosidade com o preenchimento dos vazios entre os cristais de gesso, onde seus grãos são revestidos com polímero látex, o que dificulta a hidratação do gesso e a compactação das misturas é melhorada.

2.1.4.3 Normas técnicas do gesso para construção civil

Por não existir normas específicas para o compósito a ser desenvolvido, serão utilizadas as NBR's (Normas Brasileiras) propostas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) que definem as prescrições e regras a serem executadas para realização de ensaios mecânicos e testes para obter dados das propriedades do gesso. As NBR's referentes ao gesso para construção civil são:

- NBR 12127- Gesso para construção civil; determinação das propriedades físicas do pó - Método de ensaio;
- NBR 12128- Gesso para construção civil; determinação das propriedades físicas da pasta - Método de ensaio;
- NBR 12129- Gesso para construção civil; determinação das propriedades mecânicas - Método de ensaio;
- NBR 12130- Gesso para construção civil; determinação da água livre e de cristalização e teores de óxido de cálcio e anidrido sulfúrico - Método de ensaio;
- NBR 12775- Placas lisas de gesso para forro; determinação das dimensões e propriedades físicas – Método de ensaio;
- NBR 13207- Gesso para construção civil – Especificação;
- NBR 13867 – Revestimento interno de paredes e tetos com pasta de gesso; materiais, preparo, aplicação e acabamento – Procedimento;
- NBR 14715-1 - Chapas de gesso para *drywall*;
- NBR 14715-2 - Chapas de gesso para *drywall*;
- NBR 15217 - Perfis de aço para sistemas construtivos em chapas de gesso para "*drywall*" - Requisitos e métodos de ensaio;

-NBR 15758-1 - Sistemas construtivos em chapas de gesso para *drywall* - Projeto e procedimentos executivos para montagem;

-NBR 15758-2 - Sistemas construtivos em chapas de gesso para *drywall* - Projeto e procedimentos executivos para montagem;

-NBR 15758-3 - Sistemas construtivos em chapas de gesso para *drywall* - Projeto e procedimentos executivos para montagem;

-NBR 16382 - Placas de gesso para forro - Requisitos.

Espuma Vinílica Acetinada

O EVA (Etileno Acetato de Vinila) é classificado como um polímero microporoso, cuja molécula possui um alto peso molecular, e é obtida pelo encadeamento sucessivo de pequenas unidades repetitivas de baixo peso molecular chamada monômeros, constituído de poliacetato de etileno vinil ou copolímero de etileno-acetato de vinila (PIMENTEL; ROCHA; MELO, 2006).

Garlet (1998), afirma que o copolímero EVA é obtido pela polimerização, via radicais livres, do etileno com acetato de vinila em reatores de alta pressão. Sua elevada homogeneidade na concentração de acetato de vinila garante estabilidade no processamento, assegurando qualidade uniforme ao produto final.

2.1.5 Características do EVA

As características do composto EVA são definidas pela quantidade de acetato de vinila inseridas na sua composição. Se for inserido pouco acetato de vinila, o EVA apresentará características semelhantes ao do polietileno de baixa densidade. Quanto mais acetato de vinila for adicionado, suas propriedades vão se assemelhar às da borracha ou PVC. (PREZOTTO et al., 1990 apud PIMENTEL; ROCHA; MELO, 2006).

Garlet (1998), explica que os copolímeros EVA, podem ser siterizados com uma pequena porcentagem do acetato de vinila e também podem conter 50% ou mais. O EVA empregado na produção de placas para solado de calçados no Brasil pode apresentar entre 19% a 28% de acetato de Vinila. Quanto a essa característica, o EVA pode ser:

-EVA de baixa concentração: até 20% de Acetato de Vinila;

-EVA de alta concentração: 20% até 50% de Acetato de Vinila.

Pimentel; Rocha; Melo (2006), mostram que os polímeros podem ser classificados em duas classes, conforme seu comportamento térmico:

-Termoplásticos, apresentam fusão por aquecimento e ao término do resfriamento podem ser moldados novamente, permitindo ser reprocessados por diversas vezes;

-Termofixos, após serem moldadas algumas vezes não podem mais serem fundidos, ou seja, não podem ser reprocessados e quando são aquecidos novamente, se decompõem.

Garlet (1998) aponta algumas das principais características dos copolímeros de EVA, como tendo excelente flexibilidade, ótima tenacidade, elasticidade similar à da borracha, grande resistência as quebras sob tensões ambientais, atoxicidade, fácil moldagem por extrusão, moldagem por injeção, moldagem por filmagem, baixo preço, entre outras.

Prezotto et al.(1990) apud Pimentel; Rocha; Melo (2006), mostra que a principal aplicação do EVA é na indústria calçadista, na produção de chapas de solados, entresolas e palmilhas, mas também pode ser utilizado na fabricação de luvas cirúrgicas, fios flexíveis, revestimentos de cabos, embalagens de alimentos, brinquedos entre outras aplicações.

2.1.6 Mecânica da Fratura em materiais cerâmicos

A propagação de trincas é uma das características dos materiais cerâmicos e dos vidros. A resistência a propagação de trincas é determinada pelo tipo de ligação entre íons, ou átomos, que é responsável pela restrição do movimento das discordâncias quando o material está sob tensão. No entanto, quando a propagação é dificultada, a resistência ao início e a propagação de trincas do corpo cerâmico cresce (KANNO, 2009).

Kanno (2009), afirma que o gesso é um material cerâmico policristalino e que o início e propagação de trincas são dependentes da microestrutura e ocorre em geral através do grão. Se a microestrutura for formada por cristais no formato de agulhas, o material terá maior tenacidade (grande resistência ao início e a propagação de trincas) e resistência a flexão. Para melhorar as propriedades mecânicas e reduzir a fragilidade do material, podem-se introduzir fibras como reforço e tenacidade.

Ensaio Mecânicos

Para Souza (2010), as propriedades mecânicas de um material são determinadas através da realização de diversos ensaios. Garcia; Spim; Santos (2010), explicam que esses ensaios se referem ao comportamento do material sob a ação de esforços que são expressas em função de tensões e/ou deformações. As principais propriedades obtidas através de ensaios são:

- Resistência, que é representada por tensões.
- Elasticidade, que ocorre deformação quando uma tensão é aplicada e desaparece assim que retirada.
- Plasticidade, que é a capacidade do material sofrer deformação permanente sem romper.
- Resiliência, que é a capacidade de absorção de energia elástico.
- Tenacidade, que reflete a energia necessária para provocar a fratura do material, desde sua condição de tensão.

Os ensaios mecânicos podem ser classificados em destrutivos, onde o material é rompido ou inutilizado, ou em não-destrutivos, onde podem ser determinadas as propriedades físicas do material ensaiado. Dentro dos ensaios destrutivos temos o ensaio de tração, compressão, flexão, dureza, de tenacidade à fratura, entre outros. Já dentre os ensaios não-destrutivos, podemos destacar os ensaios de ultra-som, raio X, Magnaflux e outros (SOUZA, 2010).

O procedimento de execução dos ensaios mecânicos, geralmente, é normatizado. A norma relativa ao ensaio especifica o método correto de realização e coleta de dados (DAVIM; MAGALHÃES, 2010). O autor Souza (2010), mostra que as associações de normas técnicas mais utilizadas pelos laboratórios de ensaios são as seguintes: ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), ASTM (*American Society for Testing and Materials*), DIN (*Deutsches Institut für Normen*) entre outras associações não menos importantes.

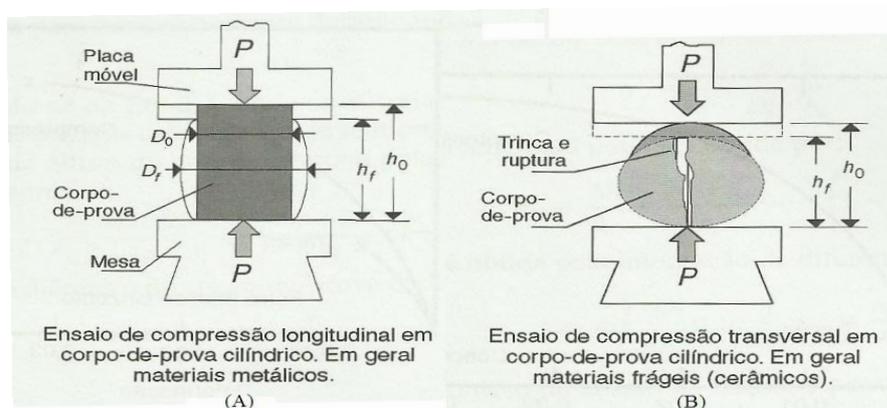
A normalização dos materiais e métodos de ensaio, podem trazer grandes vantagens, como tornar a qualidade do produto mais uniforme, orientar o projetista na escolha do material adequado e permitir a comparação de resultados obtidos em diferentes laboratórios (GARCIA; SPIM; SANTOS, 2010).

Os ensaios mecânicos têm por finalidade obter informações rotineiras do produto e desenvolver novas informações sobre os materiais. Já os métodos de ensaios escolhidos são definidos em função da geometria da peça, do processo de fabricação e de acordo com as normas técnicas vigentes (GARCIA; SPIM; SANTOS, 2010).

2.1.7 Ensaio de Compressão

Ensaio de compressão ocorre com a aplicação de carga compressiva uniaxial em um corpo de prova. Este tipo de ensaio é muito utilizado nas indústrias de construção civil e de materiais cerâmicos. A deformação linear é obtida pela medida da distância entre as placas que comprimem o corpo de prova, *versus* a carga de compressão. Este ensaio pode ser observado na Figura 14 (GARCIA; SPIM; SANTOS, 2010).

Figura 10 – Tipos de ensaios de compressão: (A) Ensaio de compressão longitudinal e (B) Ensaio de compressão transversal.



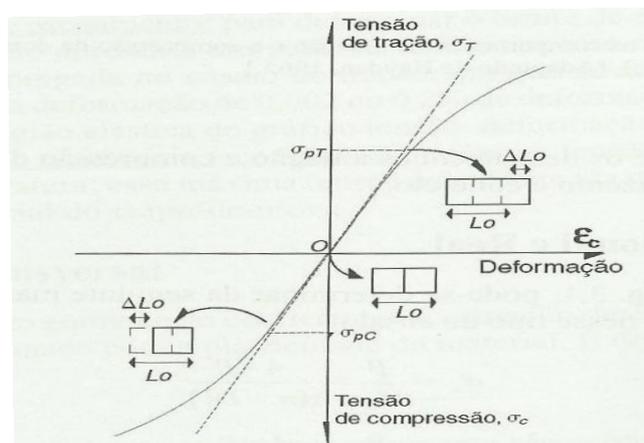
Fonte: Garcia; Spim; Santos (2010, p.47).

Ao contrário dos ensaios de tração, os ensaios compressíveis são pouco utilizados para determinar as propriedades mecânicas dos materiais metálicos, porque apresentam algumas limitações como: atrito entre o corpo de prova e as placas superior e inferior da máquina de ensaio, possibilidade de flambagem do corpo de prova, entre outras (DAVIM; MAGALHÃES, 2010).

Garcia; Spim, Santos (2010), também afirmam que os ensaios de compressão fornecem resultados de análise estatística, possibilitando quantificar o comportamento de materiais cerâmicos como o concreto, outros compósitos e madeiras de baixa ductilidade (Figura 15).

Os resultados que se obtêm nos ensaios de compressão, apresentam grandes similaridades com os resultados obtidos dos ensaios de tração.

Figura 11– Curva característica do ensaio de compressão.



Fonte: Garcia; Spim; Santos (2010, p.47).

Microscopia óptica

A microscopia óptica é uma técnica que possibilita o aumento de imagens através da luz que, após incidir sobre a amostra, passa por um conjunto de lentes objetivas e oculares. Onde as lentes objetivas formam e aumentam a imagem e as lentes oculares aumentam a imagem. (IFSC, 2016).

O funcionamento do microscópio óptico consiste nas lentes objetiva e ocular que são dispostas nas extremidades de um cilindro oco, constituindo a coluna do microscópio e que possui a capacidade de se aproximar ou afastar da amostra para que se tenha a focalização perfeita. Isto é realizado por intermédio de uma cremalheira que se acha associada a uma roda dentada. A potência do microscópio é resultado do produto da ampliação linear da objetiva pela potência da ocular; seu valor será elevado quando as distâncias focais da objetiva e ocular forem pequenas. O poder separador, ou distância mínima distinguível entre dois pontos é limitado pela difração da luz. Assim, se o feixe de luz incidente teve uma abertura angular grande e utilizarmos lentes de inversão, o poder separador será melhorado, pois elimina-se difração das bordas da lente (DSIF, 2016).

Os microscópios ópticos têm um limite de resolução da ordem de $0,2 \mu\text{m}$, ou seja, as lentes destes microscópios conseguem mostrar dois pontos distintos se estes estiverem

separados por distâncias de pelo menos $0,2 \mu\text{m}$. É importante lembrar que, para uma estrutura ser observada através de um microscópio óptico, é necessário que ela seja suficientemente fina para deixar que os raios luminosos a atravessem, além de ter índices de refração ou coloração diferentes do meio que a circundam (IFSC, 2016).

A utilização do microscópio óptico não se restringe apenas a análise de características dos materiais, é também usado para analisar partículas e frequentemente usado para olhar e medir o tamanho, o tipo e a densidade de defeitos do material (DSIF, 2016).

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

A pesquisa pode ser definida como um processo formal e sistemático de desenvolvimento científico, que possui o objetivo fundamental de descobrir respostas para problemas mediante o emprego de procedimentos científicos (GIL, 2012).

De acordo com Gil (2012), para um conhecimento ser considerado científico, é necessário identificar as operações mentais e técnicas que possibilitam sua verificação, ou seja, é preciso determinar o método que possibilitou chegar ao conhecimento.

Método é considerado um conjunto de ações sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar os objetivos que são os conhecimentos válidos e verdadeiros, traçar o caminho a ser seguido, detectar erros e auxiliar nas decisões do cientista (LAKATOS; MARCONI, 2009).

Classificações das pesquisas

No processo de pesquisa é preciso indicar detalhadamente os procedimentos adotados na investigação e identificar as técnicas que possibilitam sua verificação.

De acordo com Gil (2012), do ponto de vista dos objetivos da pesquisa, é classificada como: exploratória, descritiva ou explicativa.

Pesquisa exploratória tem como finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e idéias, tendo em vista a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores. Este tipo de pesquisa é realizado especialmente quando o tema escolhido é pouco explorado (GIL, 2012).

Para Gil apud Silva; Menezes, 2005 a pesquisa descritiva visa descrever as características de uma população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis. Utiliza técnicas padronizadas de coleta de dados, como questionário e observação sistemática. Na maioria dos casos, assume a forma de levantamento.

Já a pesquisa explicativa identifica os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos, também aprofunda o conhecimento da realidade porque explica o “porquê” das coisas. Quando realizada nas ciências naturais, requer o uso do método experimental, e nas ciências sociais requer o uso do método observacional. Assume, em geral, a forma de pesquisa experimental (GIL, 1999, apud SILVA; MENEZES, 2005).

Do ponto de vista dos objetos de pesquisa, a pesquisa que será abordada no presente trabalho é a pesquisa explicativa, pois os dados coletados contribuem para esclarecer alguns fenômenos e o trabalho assumirá a forma de pesquisa experimental.

Quanto ao ponto de vista da forma da abordagem do problema, Silva; Menezes (2005) classificam a pesquisa em qualitativa e quantitativa. A pesquisa qualitativa, os autores consideram que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números, pois não necessitam o uso de métodos e técnicas estatísticas. Já a pesquisa quantitativa considera que tudo pode ser traduzido em números, opiniões e informações para classificá-las e analisá-las. Requer o uso de recursos e de técnicas estatísticas. O seguinte trabalho utiliza a pesquisa quantitativa, pois se obterá dados numéricos e informações para classificar o composto que será elaborado.

Relacionado ao delineamento da pesquisa, GIL (2012), classifica a pesquisa em:

- Pesquisa bibliográfica: é desenvolvida a partir de material já publicado, constituído principalmente de livros, artigos científicos e materiais encontrados na Internet.
- Pesquisa Documental: semelhante à pesquisa bibliográfica, é elaborada a partir de materiais que não receberam tratamento analítico o que ainda podem ser reelaborados no decorrer da pesquisa;
- Pesquisa experimental: consiste em determinar um objeto de estudo, selecionando as variáveis capazes de influenciá-lo, onde são definidas as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.
- Pesquisa *expost-facto*: pode ser definida como uma investigação sistemática e empírica, onde o pesquisador não controla as variáveis independentes, em outras palavras, o “experimento” se realiza depois dos fatos.
- Levantamento de campo: é caracterizado pela interrogação direta das pessoas cujo comportamento se deseja conhecer.
- Estudo de caso: caracteriza-se pelo estudo aprofundado de um ou poucos objetos, de forma que se possibilite o conhecimento amplo e detalhado.

No âmbito do delineamento de pesquisa será feita a pesquisa experimental, onde serão observados os efeitos que as variáveis propostas para a construção do material compósito vão influenciar no mesmo.

Para Silva; Menezes (2005), do ponto de vista da sua natureza existe a pesquisa básica, que tem como objetivo gerar novos conhecimentos úteis para o avanço da ciência sem

aplicação prática prevista, e a pesquisa aplicada, que objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática e dirigidos à solução de problemas específicos.

A natureza de pesquisa escolhida para ser seguida neste trabalho, será a pesquisa aplicada, pois a prática que irá ser realizada irá gerar conhecimentos que poderão solucionar os problemas apontados.

Métodos de abordagem

Dentre os principais métodos de abordagem, Lakatos; Marconi (2009) elencam os métodos indutivos, dedutivo, entre outros.

O método dedutivo é o método que parte do geral e, a seguir, desce ao particular. A construção do raciocínio dedutivo consiste numa construção lógica que a partir de suas premissas, retira uma terceira, nelas logicamente implicadas, denominada conclusão (GIL, 2012).

Lakatos; Marconi (2009) definem o método indutivo como um processo mental que, inicia-se a partir de premissas pessoais, é possível concretizar um conhecimento de senso comum. Assim, o objetivo deste método é alcançar patamares de conhecimentos mais profundos do que as projeções realizadas. Além disso, a coleta e análise de dados atuam no ambiente natural e no comportamento do sujeito.

O método de abordagem a ser seguido, é o método indutivo, pois, a generalização deverá ser constatada, a partir da observação de casos concretos, confirmados pela aplicação prática.

Etapas metodológicas

Nas etapas metodológicas são apresentadas a descrição dos materiais e os procedimentos metodológicos que serão utilizados nesta pesquisa. Os materiais e procedimentos poderão ser ajustados no decorrer do desenvolvimento experimental, que serão realizados para alcançar os objetivos do estudo.

3.1.1 Preparação dos materiais

No compósito a ser desenvolvido neste trabalho, foram utilizados o subproduto resultante do FGD da usina termelétrica de processo semi-seco, que é em maior parte na sua composição, Sulfato de Cálcio, e EVA triturado. A granulometria do EVA foi definida mediante uso de peneiras com diferentes aberturas de malha. Foram determinados, três níveis de granulometria, utilizando três aberturas de malhas distintas que determinaram a granulometria “grande”, “média” e “pequena”. Foi somente utilizado água como aglomerante para a confecção do composto. As misturas foram feitas antes da adição de água, para tonarem-se mais homogêneas.

As misturas com sulfato de cálcio/EVA foram feitas em três proporções de peso diferentes: uma com 10% de EVA, a segunda com 20% de EVA e a terceira com 30% de EVA, para as três granulometrias (Tabela 4).

Tabela 4 - Proporção da mistura de EVA / sulfato de cálcio nos três níveis de granulometria, antes da hidratação.

Proporção da mistura nas três granulometria (%)	Granulometria Grande			Granulometria Média			Granulometria Pequena		
	Sulfato de Cálcio e Cinzas	90%	80%	70%	90%	80%	70%	90%	80%
EVA Triturado	10%	20%	30%	10%	20%	30%	10%	20%	30%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme abordado no processo de conformação do gesso, na conformação tradicional, a proporção água/gesso necessária para hidratação do sulfato de cálcio varia entre 0,6 e 1,0, ou seja, de 60g a 100g de água para cada 100g de gesso. Com isso, a proporção água/ (sulfato de cálcio + EVA) é de 0,8 (Tabela 5).

Tabela 5 - Proporção da mistura de água/ (sulfato de cálcio + EVA).

Proporção da mistura	Proporção em gramas (g)	Proporção em percentual (%)
Sulfato de cálcio + EVA	100	55,6
Água	80	44,4

Fonte: Elaborado pelo autor.

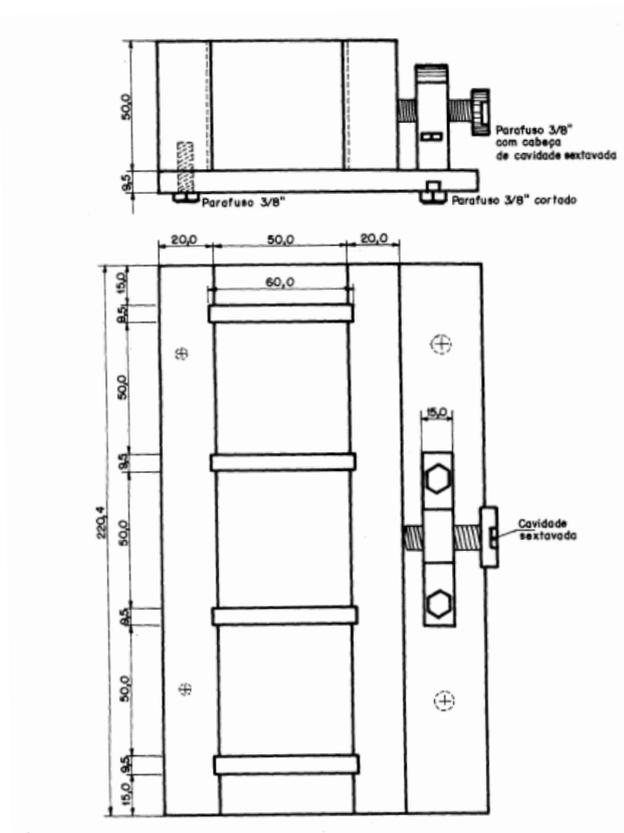
3.1.2 Confeção dos corpos de prova

A confecção dos corpos de prova foi feita baseada nas normas da ABNT-NBR 12129-Gesso para construção civil; determinação das propriedades mecânicas - Método de ensaio, para ensaio de compressão. Foram construídos 33 corpos de prova para ensaios de compressão.

3.1.2.1 Corpo de prova para ensaio de compressão

As etapas de confecção do corpo de prova para ensaios de compressão seguem a NBR 12129. Para a construção destes, deve-se utilizar o molde (Figura 19) para corpos de prova cúbicos de 50 mm de aresta.

Figura 12- Molde para corpos de prova cúbicos de 50 mm de aresta.



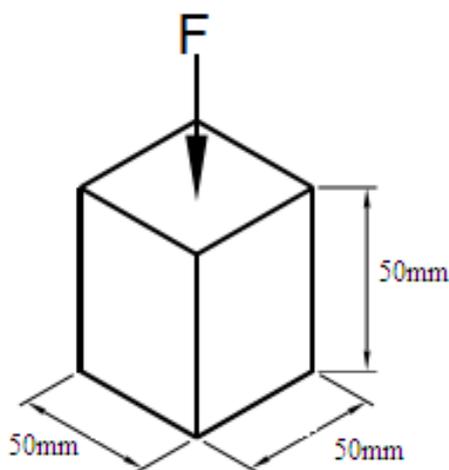
Fonte: ABNT-NBR 12129 (item 5.3.1).

De acordo com a NBR 12129, a construção deste tipo de corpo de prova deve seguir as seguintes etapas:

- Deve-se aplicar uma camada, de óleo lubrificante às partes do molde, ajustando-as firmemente, a fim de evitar vazamentos durante a moldagem.
- Colocar a massa de água em um recipiente impermeável, não reativo a sulfato de cálcio, não absorvente;
- Polvilhar sobre a água, no período de 1min, a massa de gesso e deixar em repouso por 2min;
- Processar a mistura de forma contínua, procurando desfazer os grumos de gesso e bolhas de ar. Esta operação deve durar 1min;
- Transferir rapidamente a pasta para o molde, em duas camadas, batendo com uma espátula, de forma a evitar o aprisionamento de bolhas de ar;
- Após o início da pega do gesso, rasar e nivelar a superfície dos corpos de prova com uma espátula, sem, no entanto alisar a superfície;
- Desmoldar após o completo endurecimento da pasta, que pode ser identificado no fim da fase exotérmica;
- Identificar os corpos de prova na superfície rugosa e deixá-los secar sob ar circulante, à temperatura de 28°C a 45°C, até massa constante;
- Atingida a constância de massa, colocar os corpos de prova em dissecador por no mínimo 24h e só retirá-los imediatamente antes do ensaio de compressão.

A geometria do corpo de prova com arestas de 50 mm é mostrada na Figura 20.

Figura 13- Geometria do corpo de prova para ensaio de compressão.



Fonte: Adaptado de Kanno (2009, p. 59).

3.1.3 Ensaaios mecânicos

Os ensaios mecânicos seguem as normas ABNT-NBR 12129, que tornará possível observar e analisar o comportamento do material estudado e determinar algumas de suas propriedades mecânicas.

A máquina de ensaios utilizada será a Máquina Universal de Ensaios da marca EMIC modelo DL10000 com capacidade de 100 KN, pertencente ao Laboratório de Ensaios Mecânicos da Universidade Federal do Pampa, campus de Bagé.

3.1.3.1 Ensaio de compressão

Como é indicado na norma NBR 12129, o ensaio de compressão deve ser realizado de acordo com as seguintes premissas:

- Posicionar uma das faces, que não seja a superior, no centro da placa de ensaio.
- Deve-se aplicar a carga continuamente numa razão de 250N/s a 750N/s, até que haja ruptura.

3.1.3.1.1 Determinação da resistência à compressão

A obtenção do valor da resistência à compressão, em MPa, é dado por:

$$R = \frac{P}{S}$$

Onde:

R = resistência à compressão, em Mpa

P = carga de ruptura, em N

S = área de seção transversal de aplicação da carga, em mm²

A resistência média dos corpos de prova é considerada como valor da resistência à compressão se cada resultado individual não diferir mais de 15% da média calculada.

3.1.4 Caracterização morfológica do compósito

Os corpos de prova fabricados foram analisados morfológicamente através da microscopia óptica, onde foram observados a estrutura, defeitos e propriedades do compósito.

3.1.5 Análise dos resultados dos ensaios do compósito.

Conforme a NBR 131207 do gesso para construção civil deve atender certas exigências que podem ser observadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Propriedades mecânicas exigidas para o gesso na construção civil.

Propriedade	Limite	Unidade
Resistência à compressão	> 8,4	MPa

Fonte: Elaborado pelo autor.

4 DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

Neste capítulo é apresentada a parte experimental do trabalho, que iniciou com a preparação dos materiais. Foram coletadas amostras de 6,3kg da mistura de sulfato de cálcio, oriundo da CGTE e 834,6g de EVA, proveniente de diversas fábricas de calçados da cidade de Três Coroas/RS, porém, fornecidas por uma empresa de reciclagem da mesma cidade. Na Figura 22, observamos os retalhos da folha de EVA com espessura de 2,0 mm, que sobram do processo de fabricação da indústria calçadista.

Figura 14 – Folha de EVA residual da indústria calçadista.



Fonte: Autor.

Na Figura 23, é possível visualizar a amostra do subproduto resultante do processo de dessulfurização dos gases poluentes da usina termoeletrica de Candiota/RS.

Figura 15 – Sulfato de Cálcio, Sulfito de Cálcio e Cinzas Provenientes do Processo de FGD.

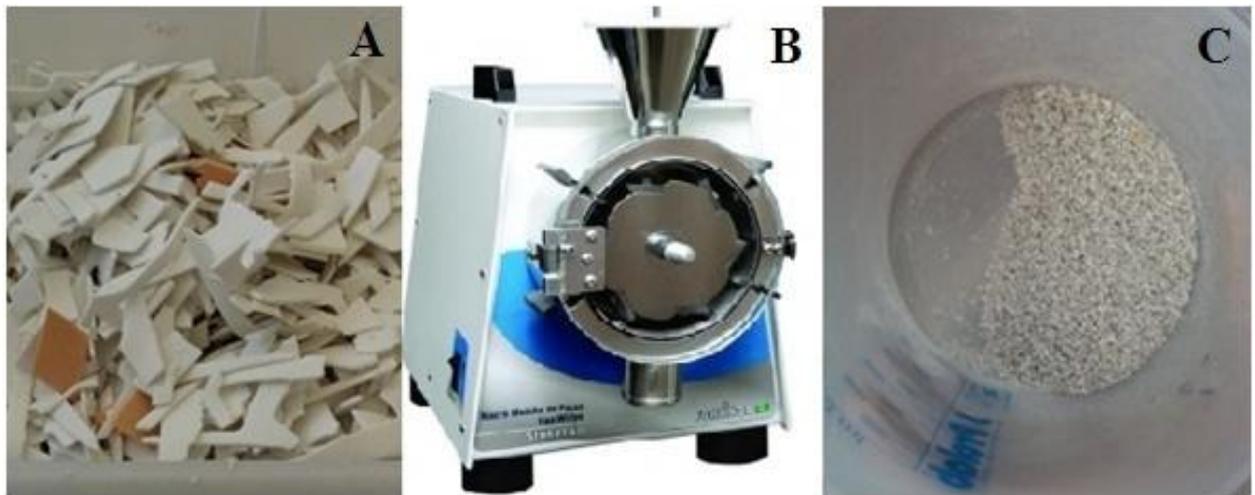


Fonte: Autor.

Preparação das Amostras

O processo de preparação das amostras de EVA teve o início de sua realização no laboratório da engenharia química. Teve como ponto de partida o picoteamento das folhas de EVA em pequenos pedaços (Figura 24- A), para poderem ser processados no moinho de facas tipo Willye (Figura 24-B), pois o mesmo não comporta pedaços muito grandes, que podem travar o giro das facas da máquina e consequentemente danificá-la. O processo de moagem do EVA foi realizado em três dias distintos, com tempo médio de 1 hora e 30 minutos para cada 1/3 da amostra total de EVA. Após realizar a moagem se obteve a amostra de EVA (Figura 24-C), sem uma granulometria definida. Para poder classificar o EVA moído, foram utilizadas várias peneiras com diferentes aberturas de malha.

Figura 16- Processo de preparação das amostras de EVA.



Fonte: Autor.

Logo após efetuar a processo de moagem, foram utilizadas peneiras granulométricas com diferentes tamanhos de abertura de malha para fazer a padronização dos tamanhos das partículas de EVA. Para a padronização, utilizaram-se peneiras com as seguintes aberturas de malhas:

- Peneira Granulométrica com Mesh 9 e abertura de malha de 0,838mm;
- Peneira Granulométrica com Mesh 16 e abertura de malha de 0,597mm;
- Peneira Granulométrica com Mesh 32 e abertura de malha de 0.300mm;
- Peneira Granulométrica com Mesh 60 e abertura de malha de 0.178mm;
- Peneira Granulométrica com Mesh 115 e abertura de malha de 0,097mm.

O processo de peneiramento foi realizado num trabalho conjunto entre peneiras e mesa agitadora. As peneiras foram depositadas sobre o agitador, com a peneira de maior abertura no topo decrescendo a de menor abertura. Logo se iniciou a vibração, fazendo com que o material passasse pela peneira de forma automatizada, retendo na mesma, as partículas com granulometria maior ou igual à de sua abertura. O sistema de peneiramento utilizado, pode ser observado na Figura 25.

Figura 17 – Sistema de peneiramento.



Fonte: Autor.

Após o processo de peneiramento, foram obtidas quatro granulometrias distintas, sendo a maior granulometria da peneira de Mesh 16, com partículas maiores ou iguais a 0,597mm, de Mesh 32, com partículas maiores ou iguais a 0.300mm, de Mesh 60, com partículas maiores ou iguais a 0.178mm e de Mesh 115, com partículas maiores ou iguais a 0,097mm. A peneira de Mesh 9, não reteve nenhuma partícula. Em seguida foram pesadas na balança digital de precisão as amostras obtidas no peneiramento onde foram encontrados os seguintes resultados:

- Mesh 16 – P = 309,29 g;
- Mesh 32 – P = 219,44 g;
- Mesh 60 – P = 205,33 g;
- Mesh 115 – P = 43,92 g.

É possível observar através da Figura 26, as amostras de EVA moídas e acondicionadas em recipientes identificados com o valor do Mesh de suas respectivas peneiras granulométricas.

Figura 18- Recipientes com as amostras de EVA devidamente separadas e pesadas.



Fonte: Autor.

Para estabelecer a quantidade de massa em gramas de EVA e de Sulfato de Cálcio, necessários para fabricação dos corpos de prova, foi preciso calcular a massa de Sulfato de Cálcio mínima para a formação de um volume de pasta suficiente para o preenchimento dos três compartimentos do molde. Para isso, utilizou-se a seguinte equação oriunda da NBR 12129:

$$Mg = \frac{480}{0,4 + C}$$

Onde:

- Mg = massa de gesso, em gramas (No caso utilizaremos o Sulfato de Cálcio e cinzas)
- C = razão de água/ gesso

Para o cálculo da massa de gesso (Sulfato de Cálcio) foi escolhida a razão de água/gesso de 0,8 conforme observado na Tabela 5.

$$Mg = \frac{480}{0,4 + 0,8} = 400 \text{ g}$$

A partir do resultado encontrado de Mg, pode-se calcular a massa de água (Ma) através da seguinte equação:

$$Ma = Mg \times C$$

$$Ma = 480 \times 0,8 = 320 \text{ g}$$

Com esses resultados estabelecidos, foi possível estimar a massa em gramas de EVA e de Sulfato de Cálcio necessários para construção dos corpos de prova.

Na Tabela 4, é possível observar a proporção das misturas de Sulfato de Cálcio e EVA moída nas três granulometrias pré-estabelecidas. Conforme estipulado na metodologia, foram calculadas as massas em gramas necessárias para formar as três proporções, onde se obteve:

Proporção 1

- 10% de EVA
- 90% de Sulfato de Cálcio e Cinzas

$$\begin{array}{l} 400\text{g} \text{ ----- } 100\% \\ M_s \text{ ----- } 90\% \\ \mathbf{M_s = 360g} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 400\text{g} \text{ ----- } 100\% \\ M_{EVA} \text{ ----- } 10\% \\ \mathbf{M_{EVA} = 40g} \end{array}$$

Proporção 2

- 20% de EVA
- 80% de Sulfato de Cálcio e Cinzas

$$\begin{array}{l} 400\text{g} \text{ ----- } 100\% \\ M_s \text{ ----- } 80\% \\ \mathbf{M_s = 320g} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 400\text{g} \text{ ----- } 100\% \\ M_{EVA} \text{ ----- } 20\% \\ \mathbf{M_{EVA} = 80g} \end{array}$$

Proporção 3

- 30% de EVA
- 70% de Sulfato de Cálcio e Cinzas

$$\begin{array}{l} 400\text{g} \text{ ----- } 100\% \\ M_s \text{ ----- } 70\% \\ \mathbf{M_s = 280g} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 400\text{g} \text{ ----- } 100\% \\ M_{EVA} \text{ ----- } 30\% \\ \mathbf{M_{EVA} = 120g} \end{array}$$

Após a realização dos cálculos referentes às massas de EVA e Sulfato de Cálcio, foram definidas as granulometrias que suprissem a demanda de EVA, para a construção dos corpos de prova, eliminando a de Mesh 60, que apresentou massa insuficiente. A Tabela 7 mostra as medidas em massa e as granulometrias escolhidas para a confecção dos corpos de prova.

Tabela 7– Massas das amostras em todos os níveis de proporção e granulometria.

Massa em gramas das misturas nos três níveis de granulometria	Granulometria Grande (Mesh 16)			Granulometria Média (Mesh 32)			Granulometria Pequena (Mesh 60)		
	Prop. 1	Prop. 2	Prop. 3	Prop. 1	Prop. 2	Prop. 3	Prop. 1	Prop. 2	Prop. 3
Sulfato de Cálcio	360g	320g	280g	360g	320g	280g	360g	320g	280g
EVA moída	40g	80g	120g	40g	80g	120g	40g	80g	120g
Água	320g	320g	320g	320g	320g	320g	320g	320g	320g

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao estabelecer as massas de EVA e Sulfato de Cálcio em todas as proporções, foi estabelecido o número de corpos de prova a serem construídos. A massa adquirida de EVA era suficiente apenas para a construção de três corpos de prova em cada proporção para cada granulometria, tendo um total de 27 corpos de prova de material compósito. Para obter parâmetros de comparação dos dados, foram confeccionados também, 3 corpos de prova de Sulfato de Cálcio e cinzas e 3 corpos de prova de gesso comercial.

Construção do Molde dos Corpos de Prova

Para a construção do molde dos corpos de prova para os ensaios de compressão, foi obedecida a NBR 12129, com o objetivo construir corpos de prova cúbicos de 50 mm de aresta. Na primeira tentativa de construção dos moldes, tiveram fatores que impediram tal

confeção dentro do laboratório de fabricação. Um deles foi o fato de a serra fita estar quebrada e o outro o de a serra do tipo tico-tico não proporcionar um corte preciso e reto. Por estes motivos, foi decidido mandar construir o molde em uma fábrica de móveis projetados da região. O custo da confecção do molde foi R\$ 40,00 onde foram utilizados pedaços de madeiras do tipo MDF, provenientes de sucatas de mesas. Na Figura 27, é possível observar o molde dos corpos de prova para ensaios de compressão.

Figura 19 - Molde para corpos de prova para ensaios de compressão.



Fonte: Autor.

O molde é composto por partes moveis para facilitar no processo de desmolde dos corpos de prova.

Confeção dos Corpos de Prova

A confecção dos corpos de prova para ensaios de compressão também foi baseada na NBR 12129.

A primeira etapa da confecção dos corpos de prova, foi a pesagem das massas de sulfato de cálcio, das massas de EVA e das massas de água. Para isso foi utilizada uma balança de precisão, conforme mostra a Figura 28.

Figura 20 - Pesagem dos materiais para construção dos corpos de prova



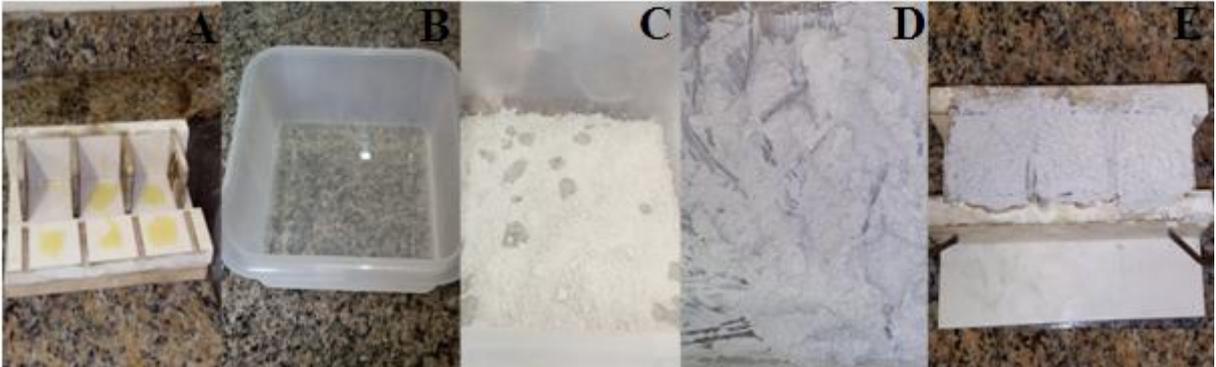
Fonte: Autor.

É possível observar na Figura 28-A a pesagem do sulfato de cálcio e cinzas, na Figura 28-B a pesagem do EVA triturado e na Figura 28-C a massa de água.

Após pesar todos os materiais, foi iniciada a segunda etapa onde foi realizada a mistura de EVA e Sulfato de Cálcio, até que ficasse bem homogênea, mas antes de fazer a mistura de todos os materiais (EVA+ Sulfato de Cálcio + água), foi aplicada uma camada, de óleo lubrificante às partes do molde (Figura 29-A), visto que a mistura deve ser colocada imediatamente no molde, para evitar que ela comece a endurecer. Em seguida foi colocada água em um recipiente onde será feita a mistura (Figura 29-B) e logo foi polvilhado Sulfato de Cálcio com EVA sobre a água (Figura 29-C) e foi feita a mistura de forma contínua, procurando desfazer os grumos do Sulfato com EVA e bolhas de ar (Figura 29-D). Assim que feita a mistura pastosa foi transferida para o molde (Figura 29-E), em duas camadas, batendo com uma espátula, de forma a evitar o aprisionamento de bolhas de ar.

Após o início da pega, foi nivelada a superfície dos corpos de prova com uma espátula, sem alisar a superfície. Os processos envolvidos na segunda etapa da confecção dos corpos de prova podem ser observados na Figura 29.

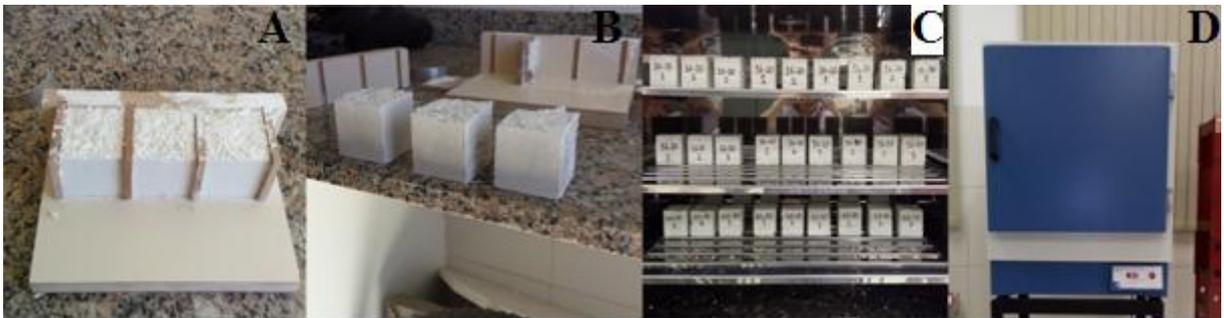
Figura 21 - Segunda etapa da confecção dos corpos de prova.



Fonte: Autor.

A terceira etapa teve como início a desmoldagem dos corpos de prova (Figura 30-A) após o completo endurecimento da pasta. Em seguida foram deixados para secar sob ar circulante (Figura 30-B) e logo acondicionados em uma estufa a uma temperatura de 45°C (Figura 30-C e Figura 30-D). Os corpos de prova permaneceram na estufa até o momento do ensaio de compressão. Os processos descritos na terceira e última etapa podem ser observados na Figura 30.

Figura 22 – Terceira etapa da confecção dos corpos de prova.



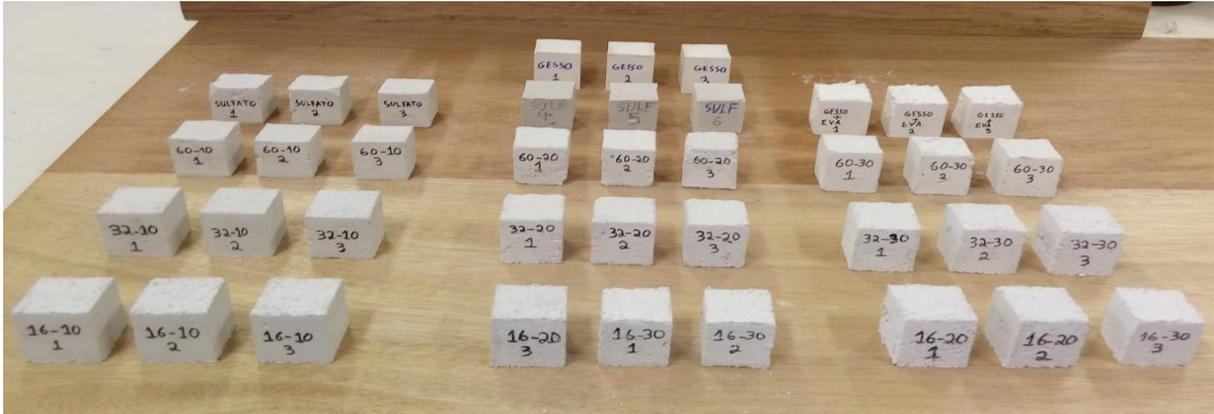
Fonte: Autor.

Ensaio Mecânico de Compressão

Antes dos ensaios de compressão serem efetuados, todos os corpos de prova foram pesados e tiveram suas dimensões de largura, profundidade e altura mensuradas com um paquímetro digital com resolução 0,01mm.

Na Figura 31, é possível observar os corpos de prova finalizados, devidamente pesados, medidos, etiquetados e separados por proporção.

Figura 23 - Corpos de prova para ensaio de compressão.



Fonte: Autor.

Na Tabela 8 observamos a pesagem, as dimensões e a área da seção transversal calculada de cada corpo de prova com granulometria grande.

Tabela 8 – Dimensões dos corpos de prova com granulometria grande.

Granulometria Grande (Mesh 16)		Proporção de EVA		
		10%	20%	30%
P 1	Peso (g)	97,35	83,34	61,53
	Largura (mm)	48,75	46,89	45,44
	Profundidade (mm)	47,97	48,64	46,28
	Altura (mm)	50,98	50,57	47,92
	Área (mm ²)	2338,54	2280,73	2102,96
P 2	Peso (g)	95,86	81,1	57,59
	Largura (mm)	47,87	46,5	43,2
	Profundidade (mm)	48,11	46,46	45,36
	Altura (mm)	51,2	50,64	47,42
	Área (mm ²)	2303,03	2160,39	1959,55
P3	Peso (g)	97,86	83,29	59,94
	Largura (mm)	47,9	48	44,94
	Profundidade (mm)	48,75	47,2	46,2
	Altura (mm)	51,57	50,2	48,5
	Área (mm ²)	2335,13	2265,60	2076,23

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 9 é possível observar as pesagens, as dimensões e a área da seção transversal dos corpos de prova com granulometria média.

Tabela 9 - Dimensões dos corpos de prova com granulometria média.

Granulometria Média (Mesh 32)		Proporção de EVA		
		10%	20%	30%
CP 1	Peso (g)	95,47	82,73	73,16
	Largura (mm)	47,73	46,43	47,55
	Profundidade (mm)	47,93	47,87	45,86
	Altura (mm)	51,11	51,05	51,75
	Área (mm ²)	2287,70	2222,60	2180,64
CP 2	Peso (g)	93,86	81,49	75,78
	Largura (mm)	46,8	47,43	47,7
	Profundidade (mm)	47,73	46,42	47,95
	Altura (mm)	50,32	51,27	51,68
	Área (mm ²)	2233,76	2201,70	2287,22
CP3	Peso (g)	95,59	79,63	74,52
	Largura (mm)	47,93	46,35	47,45
	Profundidade (mm)	47,96	45,67	48,3
	Altura (mm)	50,06	50,7	51,66
	Área (mm ²)	2298,72	2116,80	2291,84

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 10 é possível observar as pesagens, as dimensões e a área da seção transversal dos corpos de prova com granulometria pequena.

Tabela 10 - Dimensões dos corpos de prova com granulometria pequena.

Granulometria Pequena (Mesh 60)		Proporção de EVA		
		10%	20%	30%
CP 1	Peso (g)	78,06	77,27	73,39
	Largura (mm)	45,98	46,82	47,71
	Profundidade (mm)	47,08	47,37	45,8
	Altura (mm)	46,01	49,54	49,78
	Área (mm ²)	2164,74	2217,86	2185,12
CP 2	Peso (g)	76,96	70,84	69,89
	Largura (mm)	45,57	45,65	45,74
	Profundidade (mm)	45,96	44,97	45,6
	Altura (mm)	44,21	48,91	49,93
	Área (mm ²)	2094,40	2052,88	2085,74
CP3	Peso (g)	77,54	74,55	72,73
	Largura (mm)	46,85	46,66	46,13
	Profundidade (mm)	40,32	45,98	47,91
	Altura (mm)	47,95	49,27	48,52
	Área (mm ²)	1888,99	2145,43	2210,09

Fonte:Elaborado pelo autor.

A Tabela 11 apresenta as pesagens, as dimensões e a área da seção transversal dos corpos de prova puros, ou seja, sem a adição de EVA triturado em sua composição.

Tabela 11 - Dimensões dos corpos de prova sem EVA em sua composição.

Corpos de Prova Puros		Sulfato	Gesso
CP 1	Peso (g)	95,32	145
	Largura (mm)	47,97	48,29
	Profundidade (mm)	48,5	46,64
	Altura (mm)	46,82	52,84
	Área (mm ²)	2326,55	2252,25
CP 2	Peso (g)	93,97	148,43
	Largura (mm)	47,44	49,61
	Profundidade (mm)	47,88	46,96
	Altura (mm)	47,14	52,8
	Área (mm ²)	2271,43	2329,69
CP3	Peso (g)	96,79	150,58
	Largura (mm)	47,75	48,69
	Profundidade (mm)	47,85	48,74
	Altura (mm)	46,98	42,47
	Área (mm ²)	2284,84	2373,15

Fonte: Elaborado pelo autor.

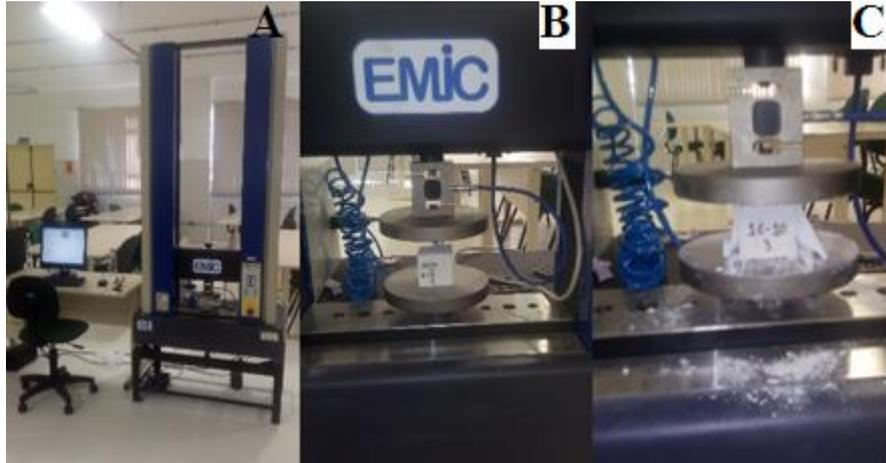
Para dar início aos ensaios mecânicos de compressão, foram inseridos os dados de entrada no software TESC, que acompanha máquina universal de ensaios mecânicos EMIC DL 10000, disponível no LAMET – UNIPAMPA. Os dados de entrada são necessários, para que se obtenham os valores de força de ruptura dos corpos de prova.

Cada corpo de prova foi posicionado na máquina através do par de pratos fixos para ensaio de compressão. A célula de carga utilizada foi a de capacidade máxima de 5000 N. A velocidade de ensaio utilizada foi a de 5mm/min.

Na sequência, foram realizados os ensaios de compressão nos 11 grupos de corpos de prova confeccionados, obtendo-se os dados da força de ruptura (força máxima), deformação específica juntamente com os gráficos gerados pelo software TESC. Os relatórios de ensaios gerados pelo software estão nos Anexos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11. Os dados obtidos foram exportados para uma planilha Microsoft Excel (2013), dando partida a análise dos resultados.

Na Figura 32, é possível observar todas as etapas envolvidas no ensaio de compressão.

Figura 24- Etapas do ensaio de compressão.



Fonte: Autor.

A Figura 32-A mostra a máquina de ensaios EMIC juntamente com o computador, onde possui o software TESC, no qual foram inseridos os dados de entrada para o ensaio de compressão. A Figura 32-B exibe o corpo de prova posicionado na máquina de ensaios mecânicos e por último a Figura 32-C, que mostra o corpo de prova após sua ruptura.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo apresento os resultados obtidos nos ensaios mecânicos, realizados na máquina de ensaios EMIC, e suas análises de acordo com a metodologia descrita no capítulo 3. Os ensaios serviram para a determinação da força de ruptura que os corpos de prova confeccionados suportaram, em N (Newton). Por meio dos dados coletados dos onze grupos estudados, foram calculadas as resistências a compressão de cada corpo de prova. Isso pode ser observado nas Tabelas 13, 14, 15 e 16.

Baseado na NBR 12129, para a obtenção do valor da resistência à compressão, em MPa, é utilizada a equação:

$$R = \frac{P}{S}$$

Onde:

R = resistência à compressão, em MPa

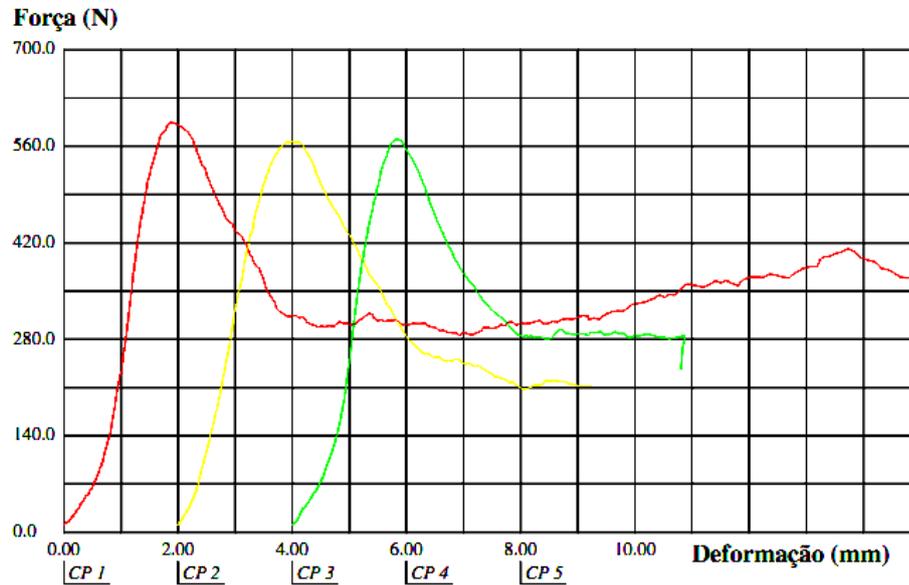
P = carga de ruptura, em N

S = área de seção transversal de aplicação da carga, em mm²

5.1 Análise dos resultados do ensaio de compressão (Mesh 16)

Através dos dados obtidos nos gráficos gerados pelo software TESC, podemos observar as curvas de deformação dos corpos de prova ensaiados. Na Figura 33, observa-se as curvas dos corpos de prova de Mesh 16 com 10% EVA. Onde todas se comportam de forma similar, o que indica que o processo de confecção dos corpos de prova foi homogêneo. É possível verificar também que o corpo de prova 1 (CP1) apresenta a maior Força de ruptura, seguido pelo CP3 e CP2.

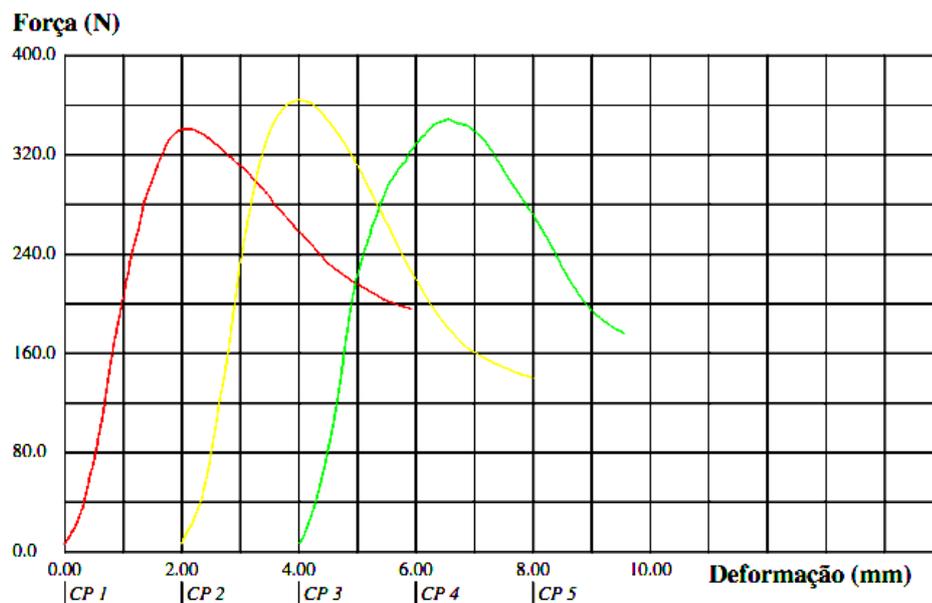
Figura 25 - Curva da Força x Deformação Mesh 16 - 10% EVA.



Fonte: Adaptado pelo autor.

Na Figura 34, observa-se as curvas dos corpos de prova de Mesh 16 com 20% EVA. Onde as curvas de deformação também se comportam de maneira semelhante. Verificou-se que CP2 apresentau a maior Força de ruptura, seguido pelo CP3 e CP1.

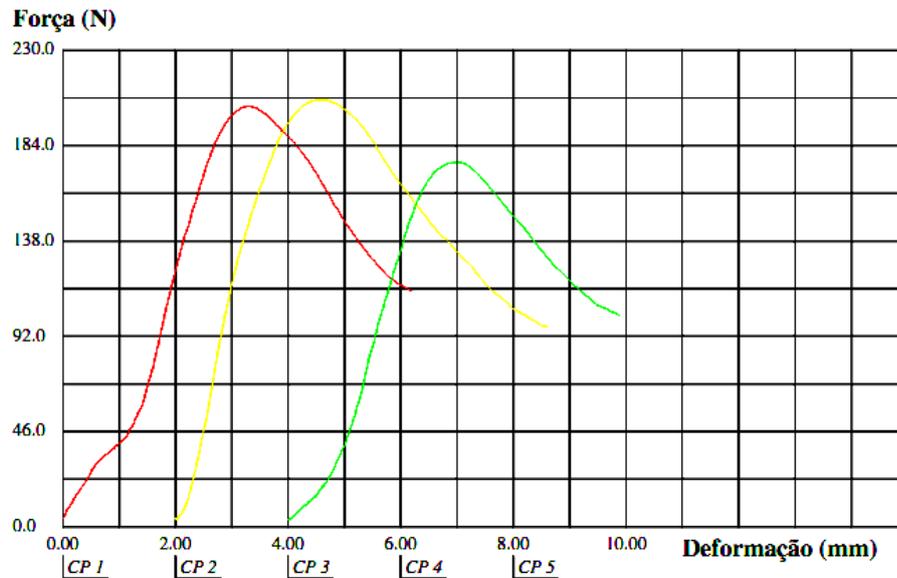
Figura 26 - Curva da Força x Deformação Mesh 16 - 20% EVA.



Fonte: Adaptado pelo autor.

A Figura 35 demonstra as curvas dos corpos de prova de Mesh 16 com 30% EVA. As curvas também apresentaram comportamento similar e levam a hipótese de que a proporção de EVA na mistura em um índice muito elevado, diminui a resistência mecânica do compósito. Verificou-se que CP2 apresentou a maior Força de ruptura, seguido pelo CP1 e CP3 que apresentou uma grande diferença de amplitude de Força de ruptura..

Figura 27 - Curva da Força x Deformação Mesh 16 - 30% EVA



Fonte: Adaptado pelo autor.

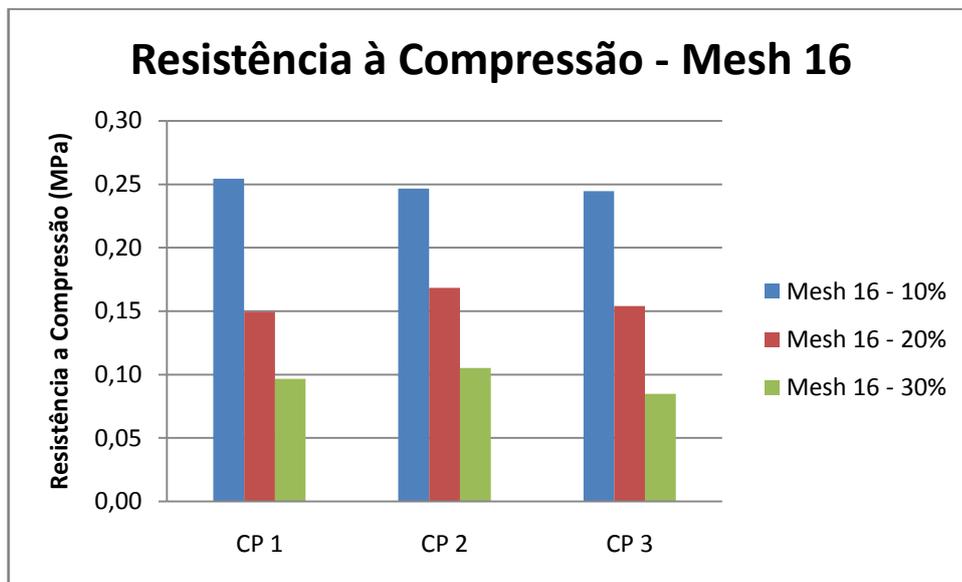
Tabela 12 - Forças de ruptura e resistência a compressão para corpos de prova com granulometria grande.

Granulometria Grande (Mesh 16)		Proporção de EVA		
		10%	20%	30%
CP 1	Ruptura (N)	595	341	203
	Resistência à Compressão (MPa)	0,25	0,15	0,10
CP 2	Ruptura (N)	568	364	206
	Resistência à Compressão (MPa)	0,25	0,17	0,11
CP 3	Ruptura (N)	571	349	176
	Resistência à Compressão (MPa)	0,24	0,15	0,08

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao analisar os dados apresentados na tabela 12, pode-se perceber que à medida que se aumenta a proporção de EVA, a força de ruptura dos corpos de prova diminui, ou seja, a força máxima que o corpo de prova suporta até romper é diminuída. Com isso, a resistência a compressão também diminui, pois é diretamente proporcional a força de ruptura. Isto fica mais fácil de observar-se na Figura 36.

Figura 28 - Análise das resistências à compressão dos corpos de prova nas três proporções de EVA com Mesh 16.

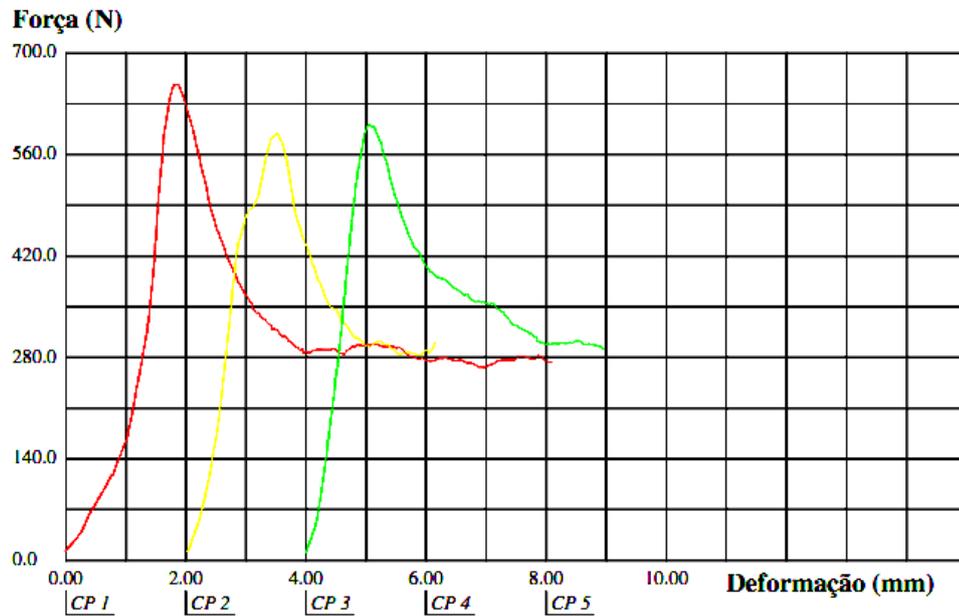


Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2 Análise dos resultados do ensaio de compressão (Mesh 32)

Na Figura 37, observa-se as curvas de deformação dos corpos de prova de Mesh 32 com 10% EVA gerados pelo software TESC, podemos observar as curva de deformação dos corpos de prova ensaiados. As três curvas apresentaram comportamentos semelhantes, porém mostraram valores de força de ruptura bem mais elevados que os CP (corpos de prova) de Mesh 16. O que indica que o tamanho da partícula de EVA interferiu nos valores de força de ruptura dos corpos de prova. É possível verificar também que o CP1 apresenta a maior força de ruptura, seguido pelo CP3 e CP2.

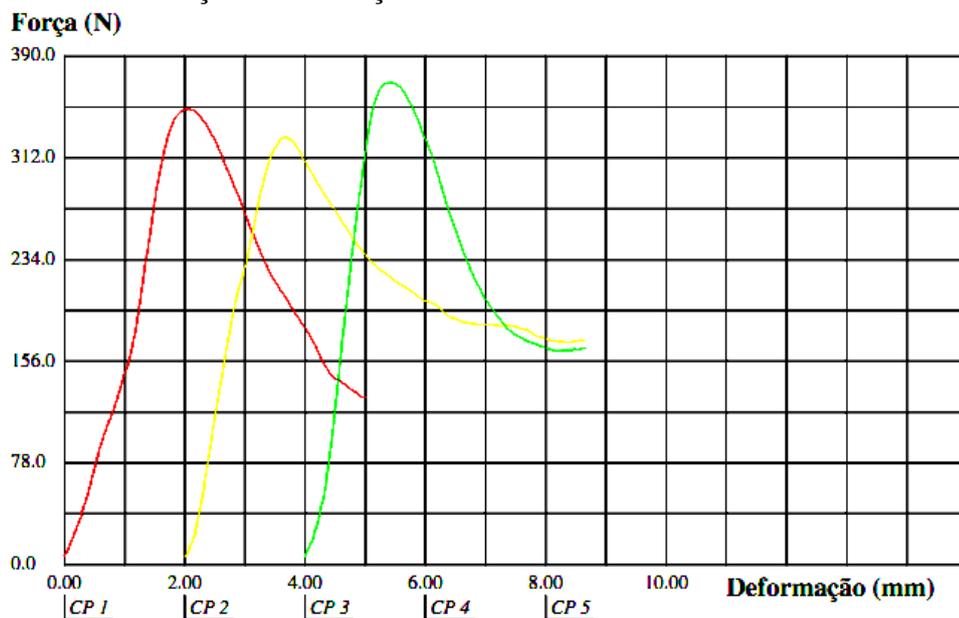
Figura 29 - Curva da Força x Deformação Mesh32 - 10% EVA.



Fonte: Adaptado pelo autor.

A Figura 38 demonstra as curvas dos corpos de prova de Mesh 32 com 20% de EVA. As curvas também apresentaram comportamento similar, porém com amplitudes diferentes, e mostraram valores para a força de ruptura quase duas vezes menores que os CP de Mesh 32 com 10% EVA. Verificou-se que CP3 apresentou a maior força de ruptura, seguido pelo CP1 e CP2.

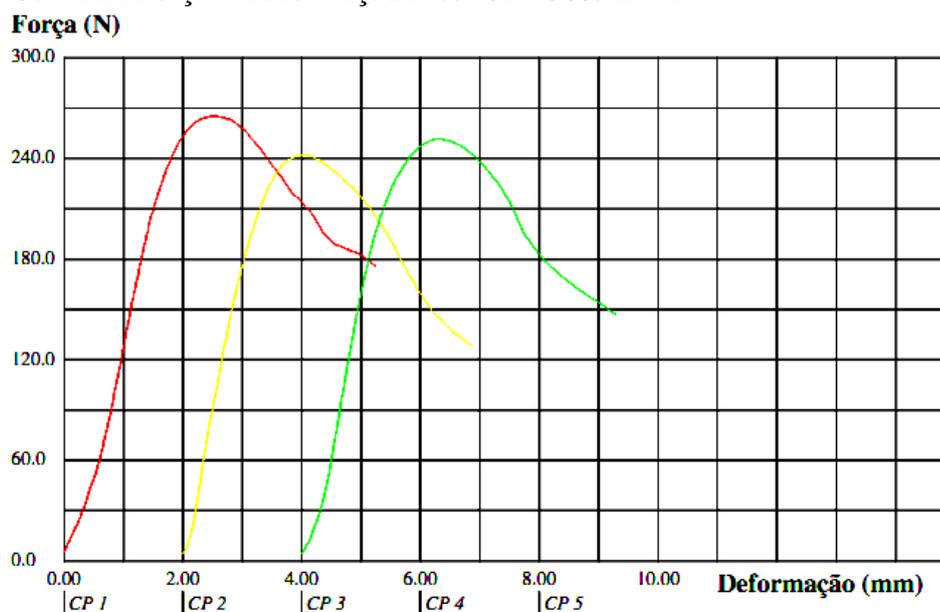
Figura 30 - Curva da Força x Deformação Mesh 32 - 20% EVA.



Fonte: Adaptado pelo autor.

Na Figura 39, podemos observar que as três curvas apresentaram comportamentos similares, porém tendo o CP1 a maior força de ruptura, seguido pelo CP3 e CP2. Os valores de força de ruptura mostraram-se menores que os CP Mesh 32 - 20% de EVA. Isso indica que a medida em que se aumentou a proporção de EVA nos CP, diminuiu os valores de força de ruptura dos corpos de prova conseqüentemente reduziu sua resistência a compressão.

Figura 31- Curva da Força x Deformação Mesh 32 - 30% EVA.



Fonte: Adaptado pelo autor.

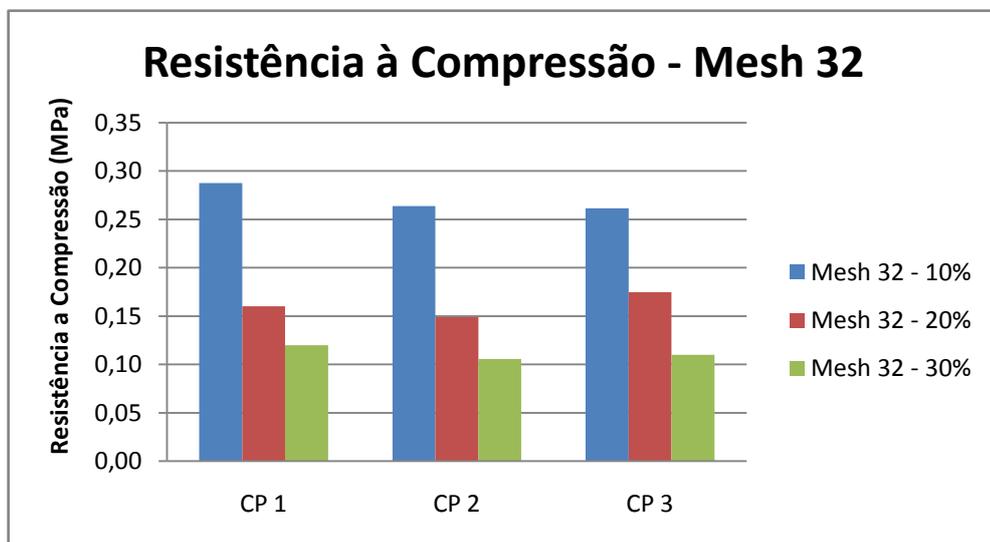
Tabela 13 - Forças de ruptura e resistência a compressão para corpos de prova com granulometria média.

Granulometria Média (Mesh 32)		Proporção de EVA		
		10%	20%	30%
CP 1	Ruptura (N)	658	350	265
	Resistência à Compressão (MPa)	0,29	0,16	0,12
CP 2	Ruptura (N)	589	328	242
	Resistência à Compressão (MPa)	0,26	0,15	0,11
CP3	Ruptura (N)	601	370	252
	Resistência à Compressão (MPa)	0,26	0,17	0,11

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na tabela 13, podemos observar que os valores de resistência à ruptura dos corpos de prova com EVA de granulometria média são maiores com relação aos de granulometria grande e mostram o mesmo comportamento com relação à diminuição da força de ruptura e consequentemente da resistência à ruptura. Na Figura 40 podemos observar o gráfico relacionando as resistências nas três proporções de EVA com Mesh 32 para cada corpo de prova.

Figura 32 – Análise das resistências à ruptura dos corpos de prova nas três proporções de EVA com Mesh 32.

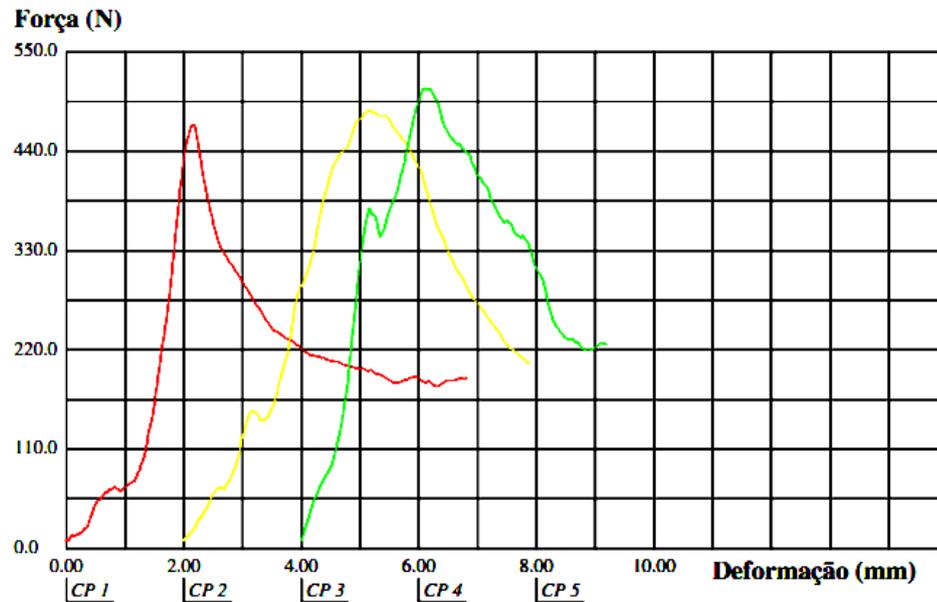


Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3 Análise dos resultados do ensaio de compressão (Mesh 60)

A Figura 41 exibe as curvas dos corpos de prova de Mesh60 com 10% EVA. Na análise das curvas de deformação, foi verificado que CP3 apresentou a maior Força de ruptura, seguido pelo CP2 e CP1.

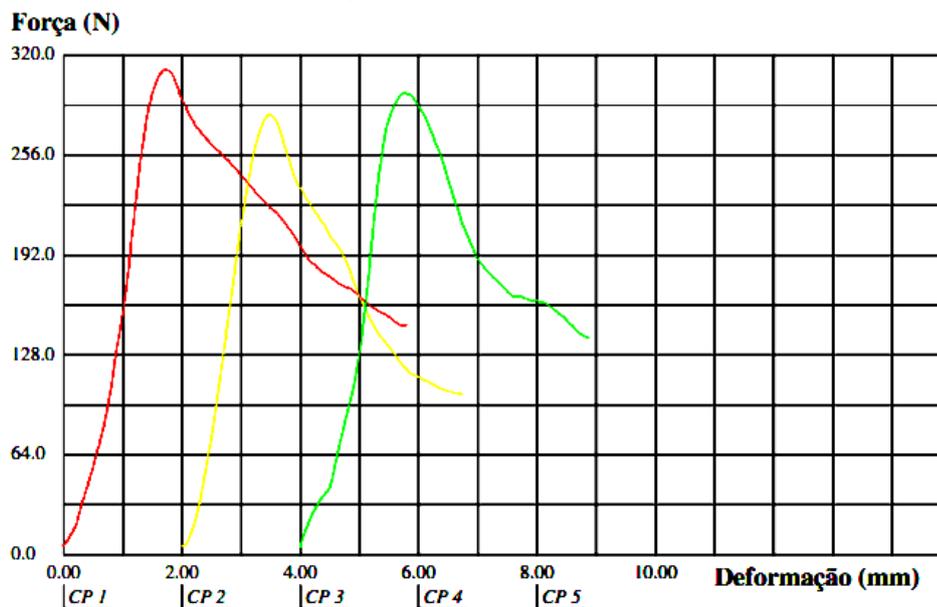
Figura33 - Curva da Força x Deformação Mesh 60 - 10% EVA.



Fonte: Adaptado pelo autor.

Na Figura 42, o gráfico das curvas de deformação dos corpos de prova de Mesh60 com 20% EVA demonstra que também há diminuição das forças de ruptura com relação aos CP Mesh60 com 10% EVA e mostra que CP1 apresentou a maior Força de ruptura, seguido pelo CP3 e CP2.

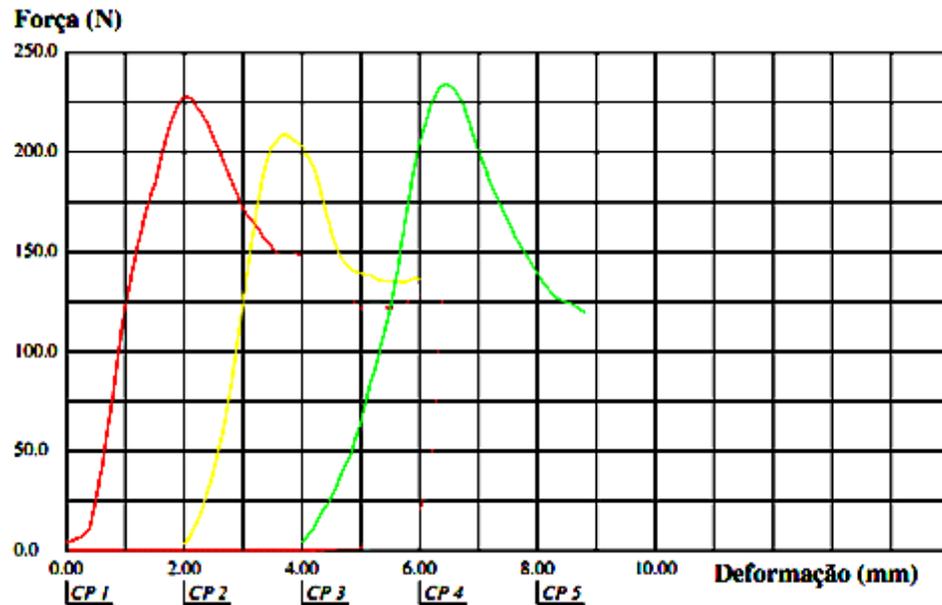
Figura 34-Curva da Força x Deformação Mesh 60 - 20% EVA.



Fonte: Adaptado pelo autor.

A Figura 42 representa o gráfico das curvas de deformação dos corpos de prova de Mesh60 com 30% EVA. É possível confirmar que das proporções de EVA, diminui as forças de ruptura. O CP3 apresentou a maior força de ruptura, seguido pelo CP1 e CP2.

Figura 35 - Curva da Força x Deformação Mesh 60 - 30% EVA.



Fonte: Adaptado pelo autor.

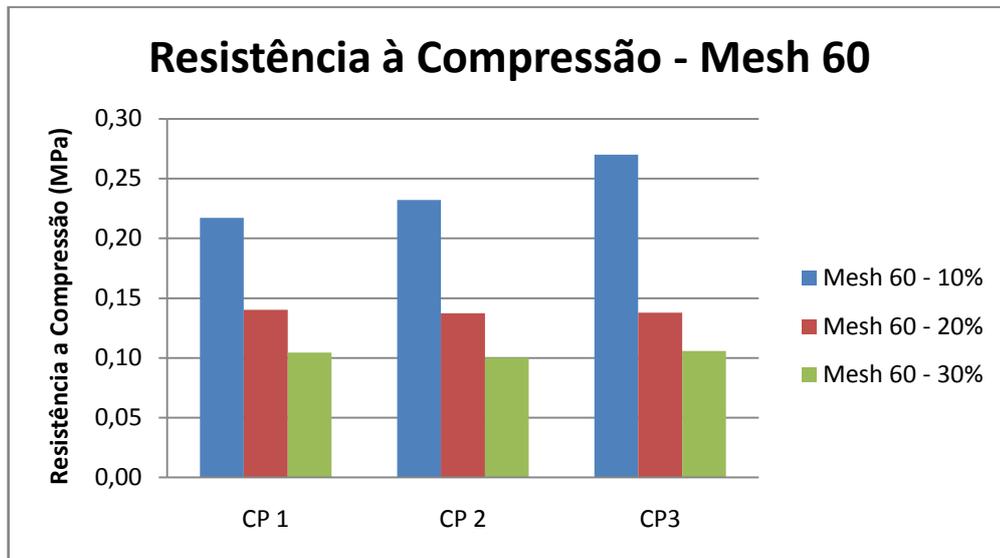
Tabela 14 - Forças de ruptura e resistência a compressão para corpos de prova com granulometria pequena.

Granulometria Pequena (Mesh 60)		Proporção de EVA		
		10%	20%	30%
CP 1	Ruptura (N)	470	311	228
	Resistência à Compressão (MPa)	0,22	0,14	0,10
CP 2	Ruptura (N)	486	282	209
	Resistência à Compressão (MPa)	0,23	0,14	0,10
CP 3	Ruptura (N)	510	296	234
	Resistência à Compressão (MPa)	0,27	0,14	0,11

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao verificar os dados da tabela 14, pode-se perceber mesmo comportamento ocorrido nos ensaios anteriores, com relação ao aumento da proporção de EVA, a força de ruptura dos corpos de prova também diminuiu. Porém as forças de ruptura e as resistências foram menores que a do ensaio anterior (Mesh 32). A Figura 44 apresenta o gráfico de barras relacionando as resistências nas três proporções de EVA para cada corpo de prova.

Figura 36 - Análise das resistências à compressão dos corpos de prova nas três proporções de EVA com Mesh 60.



Fonte: Elaborado pelo autor.

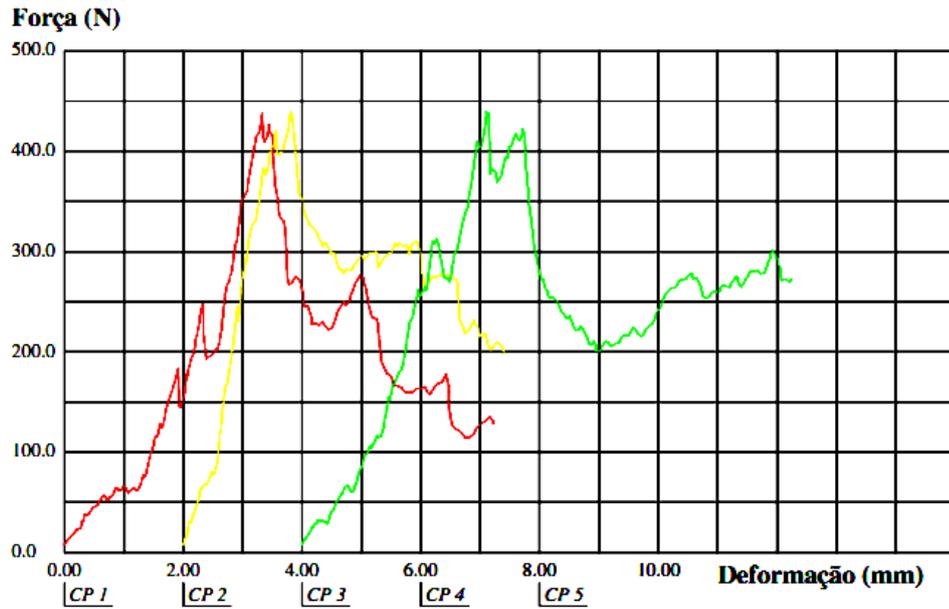
Ao analisar a Figura 44, é possível observar que a medida em que se aumenta a proporção de EVA triturado, na composição do material compósito, sua resistência a compressão diminuiu.

5.4 Análise dos resultados do ensaio de compressão (“Puros”)

As Figuras 45 e 46 mostram os gráficos das curvas de deformação dos corpos de prova considerados “puros”, ou seja, não foi adicionado nenhum composto reforçador em suas composições.

A Figura 45 apresenta as curvas dos CP de Sulfato de cálcio e cinzas. Na análise foi observado que a amplitude das forças de ruptura se mostraram muito semelhantes. O CP3 apresentou a maior força de ruptura, seguido pelo CP2 e CP1.

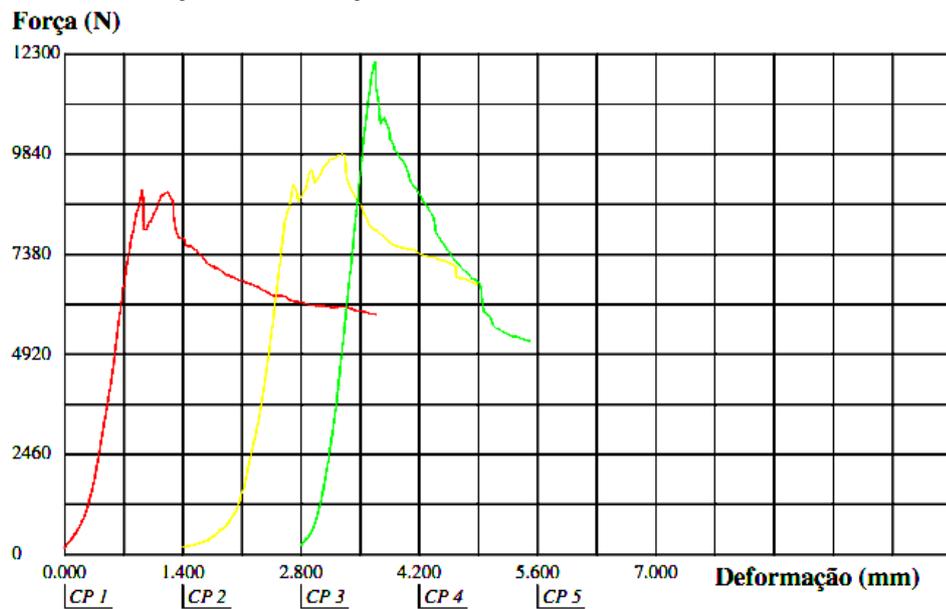
Figura 37 - Curva da Força x Deformação Sulfado de Cálcio e Cinzas.



Fonte: Adaptado pelo autor.

A Figura 45 apresenta as curvas dos corpos de prova de confeccionados com gesso comercial. Na análise foram observados elevados valores de Força de ruptura. O CP3 apresentou a maior força de ruptura, seguido pelo CP2 e CP1.

Figura 38 -Curva da Força x Deformação Gesso Comercial.



Fonte: Adaptado pelo autor.

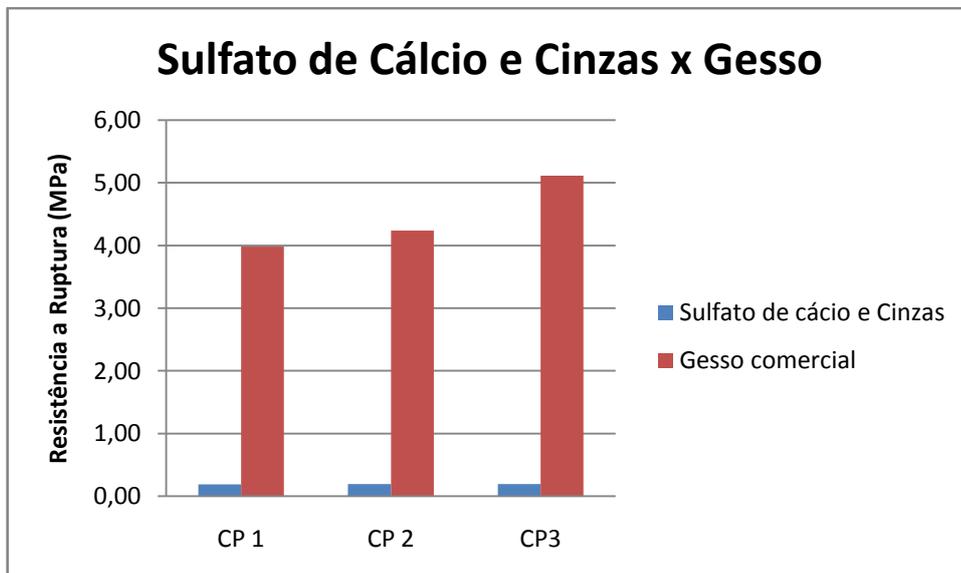
Tabela 15 - Forças de ruptura e resistência a compressão para corpos de prova “puros”.

Corpos de Prova “Puros”		Sulfato	Gesso
CP 1	Ruptura (N)	438	8968
	Resistência à Compressão (MPa)	0,19	3,98
CP 2	Ruptura (N)	439	9875
	Resistência à Compressão (MPa)	0,19	4,24
CP3	Ruptura (N)	440	12135
	Resistência à Compressão (MPa)	0,19	5,11

Fonte: Elaborado pelo autor.

A tabela 15 mostra os valores de ruptura e resistência a ruptura relacionados aos corpos de prova considerados “puros”. Em comparação com o gesso comercial, o Sulfato de Cálcio com cinzas, apresentou valores de força de ruptura e de resistência à compressão muito baixo, enquanto o gesso apresentou valores que superam aos pré-estabelecidos pela NBR-13129, de 8,4 MPa. A Figura 47 mostra o gráfico de barras relacionando as resistências a compressão para cada corpo de prova de Sulfato de Cálcio e de gesso comercial.

Figura 39 - Forças de ruptura e resistência a compressão para corpos de prova com granulometria grande.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.5 Análise das médias de resistência à compressão

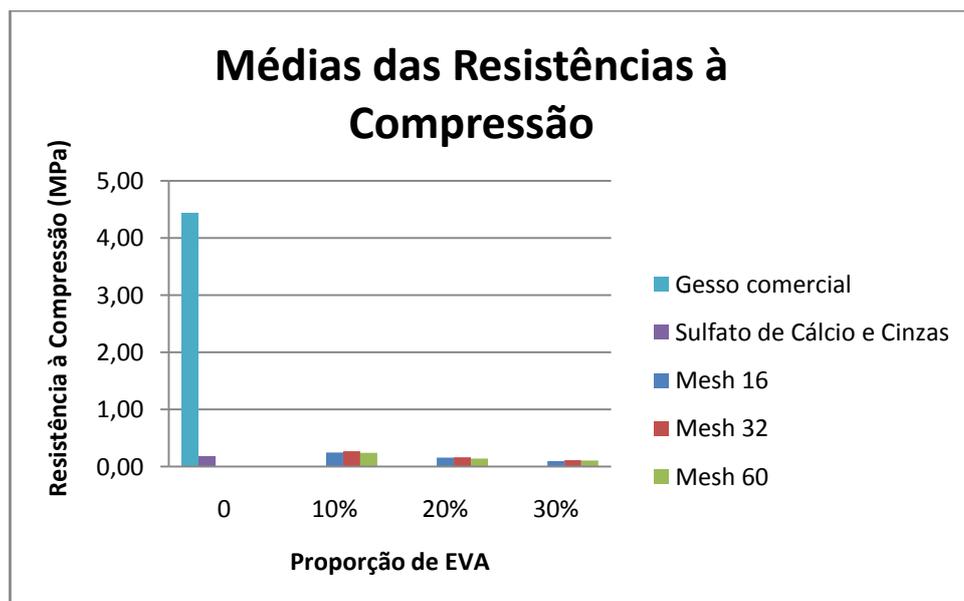
Fazendo uma análise geral dos valores das médias obtidas de resistência à compressão (Tabela 17), pode-se observar que o material compósito em estudo, apresentou valores muito abaixo do que o recomendado pela NBR-13129, isso pode ser observado através da Figura 48. O presente estudo buscou uma opção simples e barata para aproveitar estes materiais, sem a adição de algum outro composto aglomerante, que pudesse melhorar a pega do compósito.

Tabela16 – Médias de Resistência à Compressão dos corpos de prova ensaiados.

Tipo de Corpo de Prova	Resistência à Compressão (MPa)
Mesh 16 - 10% EVA	0,25
Mesh 16 - 20% EVA	0,16
Mesh 16 - 30% EVA	0,10
Mesh 32 - 10% EVA	0,27
Mesh 32 - 20% EVA	0,16
Mesh 32 - 30% EVA	0,11
Mesh 60 - 10% EVA	0,24
Mesh 60 - 20% EVA	0,14
Mesh 60 - 30% EVA	0,10
Sulfato de Cálcio e Cinzas	0,19
Gesso Comercial	4,44

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 40 - Médias das resistências à compressão.

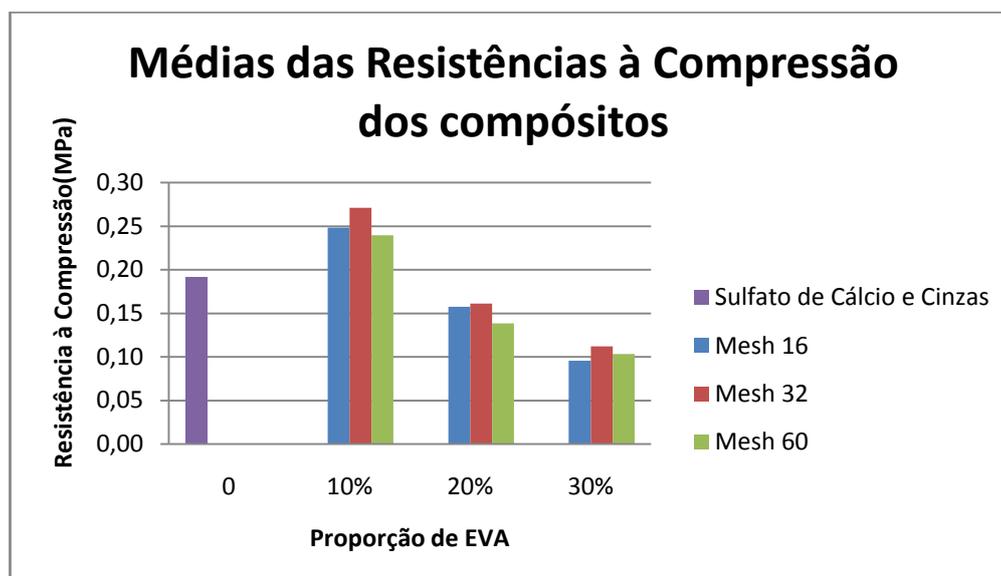


Fonte: Elaborado pelo autor.

Porém, se analisarmos apenas os materiais compostos fabricados (Figura 49), podemos observar o que houve uma melhora nas propriedades mecânicas do Sulfato de Cálcio e cinzas, com o composto particulado de reforço, o EVA moído. Todos os corpos de prova com 10% de EVA, em todas as granulometrias, mostraram melhores valores de resistência à compressão dos corpos de prova, ou seja, mostraram valores superiores as CP de Sulfato de Cálcio e cinzas.

Em contra partida, o aumento da proporção de EVA (20% e 30%), fez com que todos os corpos de prova diminuíssem suas resistências à compressão, em cada granulometria estudada, fazendo com que estas duas proporções apresentassem menor resistência que os corpos de prova de sulfato de Cálcio e Cinzas “puros”.

Figura 41 - Médias das Resistências à Compressão dos compósitos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com a análise dos resultados obtidos, foi observado na Figura 49, que os corpos de prova de Mesh 32 – 10% de EVA apresentaram os melhores resultados de resistência a compressão de todos os materiais compósitos confeccionados.

Foi constatado também que à medida que as proporções de EVA são aumentadas, os corpos de prova tiveram suas propriedades mecânicas pioradas.

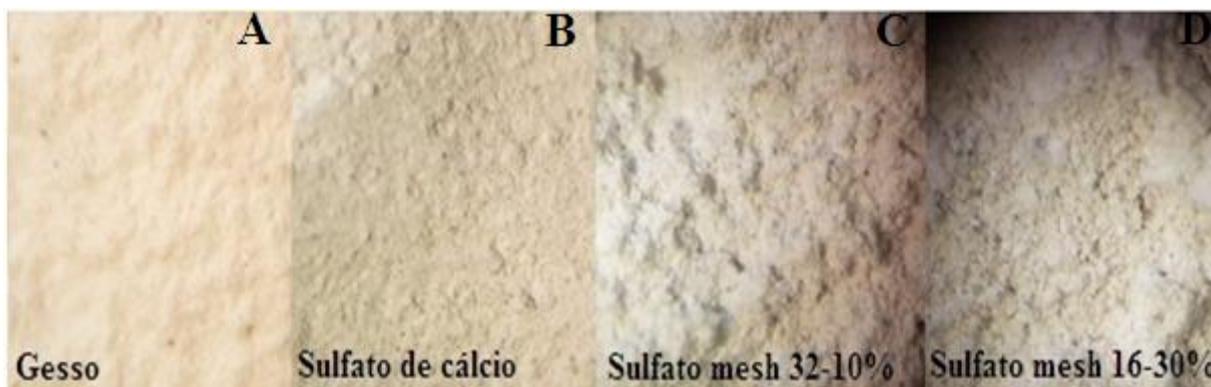
Com relação ao tamanho das partículas de EVA, foi possível observar a diferença de comportamento dos corpos de prova ensaiados, onde a granulometria do EVA teve grande influência nas propriedades mecânicas dos compósitos. Os corpos de prova de Mesh 32 com partículas maiores ou iguais a 0.300mm, apresentaram os valores de resistência à compressão

mais satisfatório de todos os compósitos ensaiados, em todas as suas proporções. Mostrando-se, a melhor opção até o momento no estudo, como tamanho de granulometria para construção do material compósito.

5.6 Análise de microscopia óptica

Na análise de microscopia óptica, foi utilizado o Estéreo microscópio Motic – Q7764Z. Foram escolhidos para serem analisados no microscópio, amostras dos corpos de prova do gesso, do Sulfato de Cálcio com cinzas “puro”, do compósito que apresentou os melhores valores de resistência a compressão (Mesh 32 – 10% EVA) e do compósito apresentou os piores resultados (Mesh 32 – 10% EVA). Na análise foram observadas as partículas e defeitos dos materiais com ampliação de 160 vezes do seu tamanho real. Na Figura 50, é possível observar a estrutura dos materiais ensaiados.

Figura 42 - Imagem reproduzida pelo estéreomicroscópio.



Fonte: Autor.

A utilização do microscópio óptico teve como intuito o método comparativo entre as amostras. Podemos observar as seções das fraturas dos corpos de prova, onde é possível visualizar a distribuição das partículas nos quatro corpos de prova ensaiados. A Figura 50-A exibe o gesso comercial, no qual apresenta uma distribuição mais homogênea das suas partículas que o restante das outras amostras analisadas, sua estrutura apresenta menor porosidade que as outras amostras comparadas na imagem. Também é possível visualizar que o gesso não apresenta defeitos e falhas em sua estrutura.

Na Figura 50-B, que apresenta o Sulfato de Cálcio, é possível verificar que sua estrutura apresenta maior porosidade que o gesso comercial, o que a deixa com mais espaços vazios na sua estrutura, o que a torna mais frágil.

Na Figura 50-C, se observa o compósito que apresentou o melhor resultado de todos os compósitos ensaiados, onde é possível observar que as partículas de EVA ficaram distribuídas uniformemente na matriz de Sulfato de Cálcio, mostrando estar bem dispersas. Essa dispersão foi o fator no qual atribui-se a maior resistência à compressão ao compósito.

A Figura 50-D exhibe o compósito de Mesh 16 com 30% de EVA, o compósito que apresentou o pior resultado nos ensaios de compressão. Sua estrutura se mostrou mais porosa, e as partículas de EVA, não ficaram homogeneamente dispersas, pela sua elevada proporção. As partículas de EVA ficam agrupadas formando o que se chama de duplex e conseqüentemente não preenchem os espaços vazios do Sulfato de Cálcio, deixando a estrutura do compósito enfraquecida.

6 CONCLUSÕES

O objetivo central do presente trabalho foi concretizado com o estudo das características, através de ensaios de compressão, de um material compósito utilizando os resíduos do processo de dessulfurização dos gases de combustão, da indústria termoeletrica e os resíduos da indústria calçadista.

Em uma análise geral, foi possível constatar que o material desenvolvido não atendeu a a norma ABNT NBR 12129, com relação ao valor mínimo de resistência à compressão. Porém o compósito apresentou resultados promissores ao comprovar o estudo em questão, de que é possível modificar as propriedades mecânicas de um material adicionando a sua composição um material composto diferente.

Do ponto de vista específico, o experimento permitiu visualizar os principais efeitos das interações entre os materiais sobre as variáveis propostas no estudo. A partir dos resultados obtidos nos ensaios mecânicos de compressão, foram calculados parâmetros, que serviram para identificar e validar as características e propriedades mecânicas do material compósito analisado.

O estudo realizado complementa os conhecimentos em materiais compósitos, e serve como parâmetro para futuros estudos sobre a utilização dos resíduos provenientes do processo de FGD, e como base de apoio para trabalhos similares.

Do ponto de vista ambiental, há um grande potencial de redução no consumo de recursos naturais a fabricação de um compósito a partir do aproveitamento resíduos que se tornam obsoletos e muitas vezes são descartados de maneira incorreta na natureza.

Do ponto de vista econômico, existe a possibilidade de obter um material de propriedades mecânicas similares ao do gesso comercial, mas para isso, é necessário um estudo mais aprofundado para poder obter tal resultado. Com isso, talvez seja possível obter um material competitivo com o gesso comercial, que é largamente utilizado na construção civil a um custo de fabricação inferior, em vista de que será fabricado com resíduos industriais.

Uma sugestão de trabalho futuro é a realização de ensaios de flexão, juntamente com a análise de seus resultados, e a comparação dos resultados obtidos com os resultados dos ensaios de compressão.

Uma segunda sugestão, é o estudo da possibilidade da adição de um agente aglomerante de baixo custo que possibilite a melhora das propriedades mecânicas do compósito desenvolvido.

Uma outra sugestão para continuidade do trabalho, é analisar as propriedades de isolamento térmico e acústico do material compósito em estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. **NBR 12129**: Gesso para construção civil; determinação das propriedades mecânicas - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1991.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. **NBR 12775**: Placas lisas de gesso para forro; determinação das dimensões e propriedades físicas – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1992.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. **NBR 13207**: Gesso para construção civil – Especificação. Rio de Janeiro, 1994.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. **NBR 16382**: Placas de gesso para forro - Requisitos. Rio de Janeiro, 2015.
5. ASKLAND, D. R.; PHULÉ, P. P. **Ciência e Engenharia dos Materiais**. São Paulo: Cengage Learning, 2008.
6. BRAGANÇA, S. R. **Dessulfuração de Gás de Combustão do Carvão Condiota em Leito Fluidizado: Influência da Razão Molar Ca/S, Granulometria, e Composição Química do Sorbente**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996. Disponível em: < <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/122566> >. Acesso: 21 de abril de 2016.
7. CALLISTER, W. D. J. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
8. CAMÕES, Aires et al. Caracterização de materiais compósitos à base de gesso FGD. **Mecânica experimental**, n. 20, p. 79-88, 2012. Disponível em: < <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/25789>>. Acesso em 20 de novembro de 2016.
9. Castellan, J.L.; Chazan, D. T, d Ávila, M. L. Dessulfuração em Termoelétricas a Carvão - O Caso da Usina de Candiota II. In: CONGRESSO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM ENERGIA ELÉTRICA, 2003, Porto Alegre. **Anais eletrônicos...** Brasília: 2003. Disponível em: < <http://www.cgti.org.br/publicacoes/wp-content/uploads/2016/03/Dessulfurac%CC%A7a%CC%83o-em->

Termoele%CC%81tricas-a-Carva%CC%83o-O-Caso-da-Usina-de-Candiota-II.pdf >.
Acesso: de maio de 2016.

10. DANIEL, I. M. ; ISHAI, O. **Engineering mechanics of composite materials**. New York: Oxford University Press, 1994.
11. DAVIM, J. P.; MAGALHÃES, A. G.; OLIVEIRA, F. **Ensaio mecânicos e tecnológicos**. 3 ed. Porto: Publindustria, 1992.
12. DIAS, A. M. N.; CINCOTTO, M. A. Revestimento à base de gesso de construção. Boletim técnico PCC, n. 142, 1995. . Anais eletrônicos... **Disponível em:** <http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00142.pdf>. Acesso: 25 de maio de 2016.
13. DSIF - Departamento de Semicondutores Instrumentos e Fotônica, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. UNICAMP, 2016. Disponível em: <<http://www.dsif.fee.unicamp.br/~furio/IE607A/MO.pdf>>. Acesso: 16 de junho de 2016.
14. Eletrobras - CGTE . **Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica**, 2016 . Disponível em: < <http://cgtee.gov.br/UNIDADES/CANDIOTA>>. Acesso: 29 de maio 2016.
15. FARIA, P. E. **Estudo sobre a Furação de Compósito de Resina Epóxi Reforçado com Fibras de Vidro**. Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. Disponível em: < <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/SBPS-7B5NX6> >. Acesso: 10 de abril de 2016.
16. FGD PRODUCTS – **Expanding Awareness of the Beneficial Uses off FGD Gypsum**, 2016. Disponível em: < <http://www.fgdproducts.org/FGDGypsumIntro.htm>>. Acesso: 02 de novembro 2016.
- 17.
18. GARCIA, A.; SPIM, J. A.; SANTOS, C. A. **Ensaio dos Materiais**. Rio de Janeiro: LTC, 2010.
19. GARLET, G. **Aproveitamento de resíduos de EVA como agregado para concreto leve na construção**. 1998. Tese de Doutorado. Dissertação de M. Sc., PPGEC/UFRGS,

- Porto Alegre, RS, Brasil, 1998. Disponível em: <
<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/118243> >. Acesso em: 5 de junho de 2016.
20. GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 Ed. São Paulo: Atlas, 2012.
21. JOHN, V.M.; ANTUNES, R.P.N. Argamassas de Gesso. Associação Nacional de Tecnológico Ambiente Construído, 2002. ISSN 1415-8876. Anais eletrônicos... Disponível em: <
<http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/3409/1823>>. Acesso: 13 de maio de 2016.
22. HERAKOVICH, C. T., **Mechanics of Fibrous Composites**. University of Virginia: 1998;
23. IFSC - Instituto de Física de São Carlos, Bacharelado em Ciências Físicas e Biomoleculares Microbiologia, Universidade de São Paulo, 2016. Disponível em: <
<http://biologia.ifsc.usp.br/micro/roteiro/roteiro01.pdf> >. Acesso: 16 de junho de 2016.
24. KANNO, W. M. **Propriedades mecânicas do gesso de alto desempenho**. 2009. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais)–Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade de São Paulo, São Carlos. Disponível em: <
<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/118243> >. Acesso: 2 de junho de 2016.
25. LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 2009.
26. Marques, H.C.Eficiência Energética e Cuidados Ambientais em Empreendimentos a Carvão - a experiência da UTE CANDIOTA III. 2º Thermal Energy LatAm, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <
http://www.carvaomineral.com.br/arquivos/Hermes_Ceratti.pdf >. Acesso: 28 de abril de 2016.
27. PADILHA, A. F. **Materiais de engenharia**. Curitiba: Hemus, 2000.
28. PANZERA, T. H. **Desenvolvimento de um Material Compósito Cerâmico para Aplicação em Mancais Porosos**. Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. Disponível em: <
http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/SBPS7B5N3W/mografia_final.pdf?sequence=1>. Acesso: 10 de abril de 2016.

29. PIMENTEL, U. H.; ROCHA, F. M.; MELO, A. B. Utilização de Resíduos da Indústria de Calçados em Blocos de Vedação com Novas dimensões-Leveza e Produtividade. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUTIVO, 2006, Florianópolis. **Anais eletrônicos...** Paraíba: 2006. Disponível em: < http://www.infohab.org.br/entac2014/2006/artigos/ENTAC2006_4309_4318.pdf >. Acesso: 3 de maio de 2016.
30. SANTOS, F. B. F. **Dissolução do Calcário no Processo de Dessulfurização de Gases de Combustão – Abordagem Experimental e Numérica.** Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, 2007. Disponível em: < <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/90103> >. Acesso: 19 de abril de 2016.
31. SILVA, E. L.; MENEZES, E. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2005. Disponível em: < https://projetos.inf.ufsc.br/arquivos/Metodologia_de_pesquisa_e_elaboracao_de_teses_e_dissertacoes_4ed.pdf > Acesso: 27 de maio de 2016.
32. SILVA, M. G. S. **Desenvolvimento de compósitos à base de gesso e pó de fibras de coco.** 2010. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe, 2010. Disponível em: < <https://bdtd.ufs.br/handle/tede/738> > Acesso: 12 de abril de 2016.
33. SMITH, F. W. **Princípios de Ciências e Engenharia dos Materiais.** 3 ed. Lisboa: Mc Graw-Hill, 1998.
34. SOUZA, S. A. **Ensaio mecânicos de materiais metálicos.** São Paulo: Edgard Blucher, 2010.
35. VAN VLACK, L. H. **Princípios de Ciência e Tecnologia dos Materiais.** 4. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 1984.

ANEXO 1

Relatório do Ensaio Mecânico de Compressão

Mesh 16 - 10% de EVA

ANEXO 2

Relatório do Ensaio Mecânico de Compressão

Mesh 16 - 20% de EVA

ANEXO 3

Relatório do Ensaio Mecânico de Compressão

Mesh 16 - 30% de EVA

ANEXO 4

Relatório do Ensaio Mecânico de Compressão

Mesh 32 - 10% de EVA

ANEXO 5

Relatório do Ensaio Mecânico de Compressão

Mesh 32 - 20% de EVA

ANEXO 6

Relatório do Ensaio Mecânico de Compressão

Mesh 32 - 30% de EVA

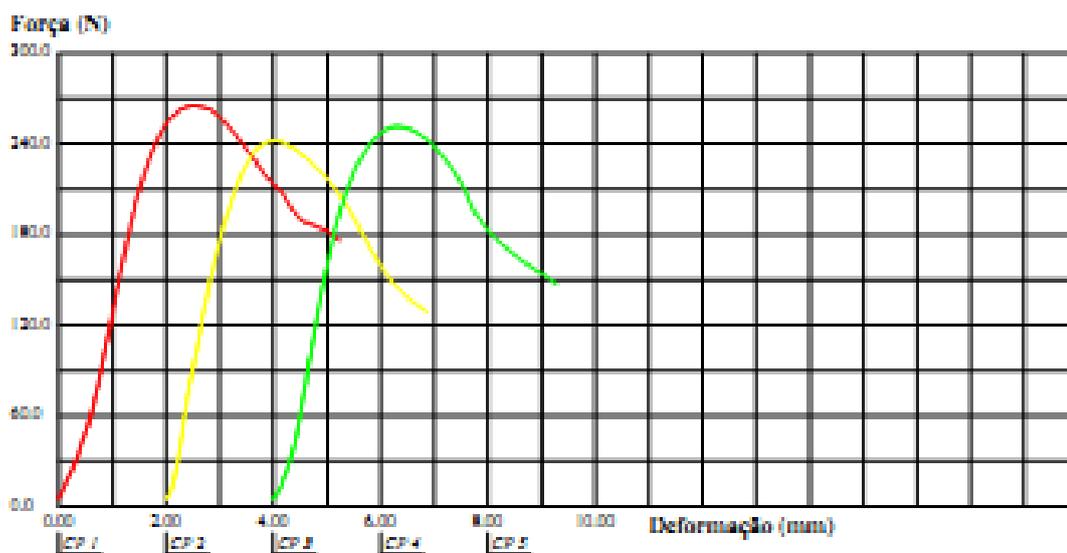
UNIPAMPA

Laboratório.

Relatório de Ensaio

Máquina: Emílio - Célula: Tril 24 - Extensômetro: - Data: 18/06/2011 Hora: 15:37:31 Trabalho nº 0008
 Programa: Tesc versão 3.04 Método de Ensaio: Uni_Compressão_Cel_5000N
 Ident. Amostra: CLIENTE: MATERIAL: DUREZA:

Corpo de Prova	Força @Força Máx. (N)	Deformação @Força Máx. (mm)
CP 1	265	3
CP 2	242	2
CP 3	252	2
Número CPs	3	3
Média	253,2	2,268
Mediana	251,8	2,285
Desv.Padrão	11,61	0,2634
Coef.Var.(%)	4,584	11,62
Mínimo	242,3	1,996
Máximo	265,4	2,522



ANEXO 7

Relatório do Ensaio Mecânico de Compressão

Mesh 60 - 10% de EVA

ANEXO 8

Relatório do Ensaio Mecânico de Compressão

Mesh 60 - 20% de EVA

ANEXO 9

Relatório do Ensaio Mecânico de Compressão

Mesh 60 - 30% de EVA

ANEXO 10

Relatório do Ensaio Mecânico de Compressão

Sulfato de Cálcio “Puro”

ANEXO 11

Relatório do Ensaio Mecânico de Compressão

Gesso “Puro”

UNIPAMPA

Laboratório.

Relatório de Ensaio

Máquina: Emílio - Célula: Trd 24 Extensômetro: - Data: 18/10/2011 Hora: 15:37:31 Trabalho nº 0008
 Programa: Tstc versão 3.04 Método de Ensaio: Lim_Compressão_Col_5000N
 Ident. Amostras: CLIENTE: MATERIAL: DUREZA:

Corpo de Prova	Força @ Força Max. (N)	Deformação @ Força Max. (mm)
CP 1	8968	1
CP 2	9875	2
CP 3	12135	1
Número CPs	3	3
Medida	10320	1,229
Mediana	9875	0,9186
Desv.Padrão	1631	0,5741
Coef.Var.(%)	15,80	46,72
Mínimo	8968	0,6764
Máximo	12140	1,891

