

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
LINHA DE PESQUISA: PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

AIRTON BAGGIO

ESTUDO DA VIABILIDADE DO EMPREGO DE MICROESFERAS DE VIDRO EM
COMPÓSITOS DE RESINA POLIÉSTER INSATURADA COM BASE EM SUAS
PROPRIEDADES MECÂNICAS, FÍSICAS E CONSIDERAÇÕES ECONÔMICAS

Bauru – SP
Agosto – 2021

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
LINHA DE PESQUISA: PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

AIRTON BAGGIO

ESTUDO DA VIABILIDADE DO EMPREGO DE MICROESFERAS DE VIDRO EM
COMPÓSITOS DE RESINA POLIÉSTER INSATURADA COM BASE EM SUAS
PROPRIEDADES MECÂNICAS, FÍSICAS E CONSIDERAÇÕES ECONÔMICAS

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia do
Campus Bauru, Universidade Estadual Paulista,
para a obtenção do título de Doutor em Engenharia
Mecânica na área de processos de fabricação

Orientador: Prof. Dr. Luiz Eduardo de Ângelo
Sanchez

Co-orientador: Prof. Dr. Gilberto Magalhães
Bento Gonçalves

Bauru – SP
Agosto – 2021

B144e Baggio, Airton
Estudo da viabilidade do emprego de microesferas de vidro em compósitos de resina poliéster insaturada com base em suas propriedades mecânicas, físicas e considerações econômicas / Airton Baggio. -- Bauru, 2021
173 p. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Engenharia, Bauru
Orientador: Luiz Eduardo de Ângelo Sanchez
Coorientador: Gilberto Magalhães Bento Gonçalves

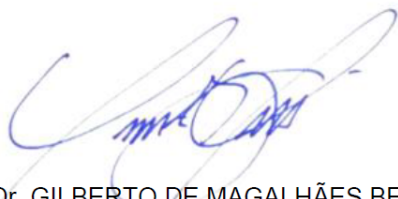
1. Compósitos poliméricos. 2. Microesfera. 3. Aditivos. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Engenharia, Bauru. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE AIRTON BAGGIO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 06 dias do mês de agosto do ano de 2021, às 14:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de TESE DE DOUTORADO de AIRTON BAGGIO, intitulada **OS EFEITOS DAS MICROESFERAS OCAS DE VIDRO E CARBONATO DE CÁLCIO SOBRE AS PROPRIEDADES MECÂNICAS E FÍSICAS EM COMPÓSITO DE RESINA POLIÉSTER INSATURADA REFORÇADA COM FIBRA DE VIDRO**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Dr. GILBERTO DE MAGALHÃES BENTO GONÇALVES (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / FEB/UNESP/Bauru, Dr. HAMILTON JOSÉ DE MELLO (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Prof. Dr. EDUARDO CARLOS BIANCHI (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Profª Drª DAYSE IARA DOS SANTOS (Participação Virtual) do(a) Departamento de Física / Faculdade de Ciências de Bauru, Prof. Dr. ODNEY CARLOS BRONDINO (Participação Virtual) do(a) Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais (DAEMA) / Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR. Após a exposição pelo doutorando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o discente recebeu o conceito final: **APROVADO**. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

A handwritten signature in blue ink, belonging to Prof. Dr. Gilberto de Magalhães Bento Gonçalves, is shown above the printed name.

Prof. Dr. GILBERTO DE MAGALHÃES BENTO GONÇALVES



PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DO TÍTULO

A COMISSÃO EXAMINADORA PROPÕE A ALTERAÇÃO DO TÍTULO DO TRABALHO DO ALUNO:
AIRTON BAGGIO

DE: "OS EFEITOS DAS MICROESFERAS OCAS DE VIDRO E CARBONATO DE CÁLCIO SOBRE AS PROPRIEDADES MECÂNICAS E FÍSICAS EM COMPÓSITO DE RESINA POLIÉSTER INSATURADA REFORÇADA COM FIBRA DE VIDRO"

PARA:

"ESTUDO DA VIABILIDADE DO EMPREGO DE MICROESFERAS DE VIDRO EM COMPÓSITOS DE RESINA POLIÉSTER INSATURADA COM BASE EM SUAS PROPRIEDADES MECÂNICAS, FÍSICAS E CONSIDERAÇÕES ECONÔMICAS"

Bauru, 06 de agosto de 2021.

Prof. Dr. Gilberto de Magalhães Bento Gonçalves
Co-orientador

*“A mente que se abre a uma nova ideia,
jamais volta ao seu tamanho original”*

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela ajuda em todos os momentos.

A Faculdade de Engenharia de Bauru e ao Departamento de Engenharia Mecânica, UNESP – Bauru, pela permissão concedida para concluir o Doutorado.

Aos Professores: Dr. Luiz Eduardo de Ângelo Sanchez, Dr. Gilberto Magalhães Bento Gonçalves e Dr. Carlos Alberto Fonzar Pintão, pela oportunidade, confiança, valiosa orientação, conhecimentos e dedicação.

As empresas do Grupo Caio - Botucatu, pela oportunidade e incentivo. Aos funcionários e colegas que colaboraram nesta pesquisa.

A empresa 3M do Brasil e Laboratório de Física da Unesp - Bauru pela valiosa colaboração e conhecimentos prestados.

A todos os amigos que colaboraram para a realização desta pesquisa.

A toda a minha Família pela ajuda, a minha esposa Sílvia e ao meu filho Giovani, pela ajuda e compreensão e *in memoriam* a Antonio Aparecido Baggio, que nunca deixou de me ajudar, obrigado Pai.

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE EQUAÇÕES

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

1 INTRODUÇÃO.....	20
1.1 Objetivos	22
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
2.1 Polímeros.....	23
2.2 Compósitos termorrígidos.....	26
2.2.1 Tipos de resina poliéster insaturada.....	29
2.2.2 Sistema de endurecimento a frio.....	34
2.2.3 Fibras de reforço	36
2.3 Aditivos em compósitos.....	40
2.3.1 Cargas minerais em compósitos.....	41
2.3.2 Carbonato de Cálcio - CaCO_3	43
2.3.3 Microesferas ocas de vidro – MOV.....	45
2.4 Processos de fabricação para compósitos.....	50
2.4.1 Moldagem por contato manual “HAND LAY-UP”	51
2.4.2 Moldagem por projeção simultânea “SPRAY-UP”	52
2.4.3 Moldagem por injeção de resina “RTM”	54
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	56
3.1 Confeções de corpos de prova.....	56
3.1.1 Corpo de prova – Tipo I.....	57

3.1.2 Corpo de prova – Tipo II.....	58
3.1.3 Corpo de prova – Tipo III.....	59
3.2 Materiais.....	60
3.3 Normas para confecção dos corpos de prova.....	63
3.4 Realização de ensaios e análises.....	66
3.4.1 Ensaio das densidades.....	67
3.4.1.1 Densidade da resina com aditivo antes da catálise.....	67
3.4.1.2 Densidade da resina com aditivo pós catálise.....	69
3.4.1.3 Densidade do compósito: Resina com aditivo e fibra de vidro....	70
3.4.2 Ensaio de contração dimensional pós cura.....	71
3.4.3 Ensaio de viscosidade da mistura.....	73
3.4.4 Ensaio do módulo de elasticidade à torção – G.....	74
3.4.5 Ensaio do coeficiente de atrito dinâmico – COF.....	76
3.4.6 Ensaio de tração.....	78
3.4.7 Ensaio de Flexão.....	79
3.4.8 Ensaio de Impacto.....	80
3.4.9 Ensaio de dureza.....	81
3.4.10 Ensaio de condutividade térmica.....	82
3.4.11 Ensaio de absorção sonora.....	83
3.4.12 Ensaio de absorção de água.....	85
3.4.13 Ensaio de propagação de chamas.....	85
3.4.14 Análise microestrutural do compósito.....	87
3.4.15 Análise operacional ao processo produtivo.....	88
3.4.16 Análise de viabilidade econômica.....	93
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	95
4.1 Densidades.....	95
4.1.1 Densidade da resina com aditivos antes da catálise.....	95
4.1.2 Densidade da resina com aditivos pós catálise.....	98
4.1.3 Densidade do compósito: Resina com aditivo e fibra de vidro.....	100
4.2 Ensaio de contração dimensional pós cura.....	103

4.3 Ensaio de viscosidade da mistura.....	105
4.4 Ensaio do módulo de elasticidade à torção – G.....	107
4.5 Ensaio do coeficiente de atrito dinâmico – COF.....	110
4.6 Ensaio de tração.....	112
4.7 Ensaio de flexão.....	116
4.8 Ensaio de impacto.....	120
4.9 Ensaio de dureza.....	122
4.10 Ensaio de condutividade térmica	124
4.11 Ensaio de absorção sonora	125
4.12 Ensaio de absorção de água.....	127
4.13 Ensaio de propagação de chamas	130
4.14 Análise microestrutural do compósito.....	132
4.15 Análise operacional ao processo produtivo.....	140
4.16 Análise de viabilidade econômica.....	145
 5 CONCLUSÃO	 149
 SUGESTÕES PARA NOVOS TRABALHOS	 158
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 159
 ANEXOS	 169

RESUMO

Neste trabalho pesquisou-se os efeitos da inclusão de microesferas ocas de vidro em compósitos a base de resina poliéster insaturada e fibra de vidro provenientes dos processos de transformação: Moldagem por contato manual “*Hand lay-up*”, moldagem por projeção simultânea “*Spray-up*” e moldagem por injeção de resina “*Resin Transfer Moulding – RTM*”. Estes processos normalmente utilizam as resinas poliésteres nas condições em que são fornecidas e, especificamente no processo de moldagem por injeção de resina “*RTM*” pratica-se a adição de aditivos minerais de carbonato de cálcio junto à resina com o propósito de aumentar a dureza e reduzir custo do compósito, com o agravante aumento da densidade do produto final. O estudo propõe a utilização de microesferas ocas de vidro junto a resina poliéster insaturada nos mesmos processos citados acima e a, substituição do aditivo mineral de carbonato de cálcio com o objetivo de obter as mesmas propriedades do material, sem o aumento da densidade no produto final. A pesquisa enumerou e analisou as características dos compósitos que se utilizam da inclusão de microesferas ocas de vidro em sua composição e comparou resultados com os compósitos produzidos pelos métodos convencionais atuais. Para isso, confeccionou-se amostras em compósitos incorporando-se o material proposto em porcentagens variadas e o mesmo foi realizado com o carbonato de cálcio. Usando esses materiais foram retirados corpos de prova que foram submetidos a ensaios físicos, mecânicos, térmicos, acústicos, análise na formação de sua estrutura por MEV e ensaios práticos operacionais. Os resultados obtidos da utilização de microesferas ocas de vidro incorporada na resina poliéster insaturada, conduzem para o surgimento de novos materiais sob a forma de compósitos e demonstram que suas características físico-mecânicas e operacionais, contribuem para o desenvolvimento de novas tecnologias neste segmento.

Palavras Chaves: Microesferas ocas de vidro; compósitos; resina poliéster.

ABSTRACT

In this work, we studied the effects of inclusion of hollow glass microspheres in unsaturated polyester resin and fiberglass composites from the transformation processes: “Hand lay-up” manual contact molding, “Spray-up” coated simultaneous projection molding up and “Resin Transfer Molding – RTM” resin injection molding. These processes typically use polyester resins as supplied, and specifically in the “Resin Transfer Molding – RTM” practice the addition of calcium carbonate mineral to the resin for the purpose of increase hardness and reduce composite cost with the aggravating increase in the density of the final product. The study proposes to use the hollow glass microspheres together with the unsaturated polyester resin in the same processes mentioned above and the replacement of calcium carbonate mineral additive in order to obtain the same properties of the material without increase in the density in the final product. The research enumerated and analyzed the characteristics of composites using the inclusion of hollow glass microspheres in its composition and compared results with the composites produced by current conventional methods. For this purpose, composite samples were built incorporating the proposed material in varying percentages. And also, samples with calcium carbonate in varying percentages, from which specimens were removed and subjected to physical, mechanical, thermal and acoustics tests, analysis of their structure formation by MEV and practical operational tests. The results obtained using hollow glass microspheres incorporated in the unsaturated polyester resin, show the emergence of new materials in the form of composites and showing evidence of their physical-mechanical and operational characteristics, contribute to the development of new technologies in this segment.

Keywords: Hollow glass microspheres; composites; polyester resin.

LISTA DE FIGURAS

- 01 - Figura 2.1: Nomenclatura para especificação da manta moldável.
- 02 - Figura 2.2: Participação dos processos de fabricação para compósitos.
- 03 - Figura 2.3: Esquema de moldagem pelo processo “HLU”.
- 04 - Figura 2.4: Esquema de moldagem pelo processo “SPRAY-UP”.
- 05 - Figura 2.5: Esquema de moldagem pelo processo “RTM”.
- 06 - Figura 3.1: Corpo de prova Tipo I juntamente com o seu molde de reprodução.
- 07 - Figura 3.2: Corpo de prova Tipo II. Molde em PVC, tarugo e disco.
- 08 - Figura 3.3: Molde metálico para a fabricação de amostras de corpos de prova Tipo III.
- 09 - Figura 3.4: *Lay out* dos corpos de prova para cada tipo de amostra.
- 10 - Figura 3.5: Máquina de corte com jato d’água.
- 11 - Figura 3.6: Picnômetro com tampa em latão polido – capacidade 50 ml.
- 12 - Figura 3.7: Balança analítica.
- 13 - Figura 3.8: Picnômetro a gás.
- 14 - Figura 3.9: Secção transversal da calha para medição da contração linear pós cura.
- 15 - Figura 3.10: Medição da contração linear pós cura.
- 16 - Figura 3.11: Viscosímetro rotacional.
- 17 - Figura 3.12: Sistema de medição do módulo G por espectroscopia mecânica.
- 18 - Figura 3.13: Tribômetro.
- 19 - Figura 3.14: Máquina de ensaio mecânico.
- 20 - Figura 3.15: Máquina de ensaio mecânico.
- 21 - Figura 3.16: Máquina de ensaio ao impacto.
- 22 - Figura 3.17: Durômetro Barcol.
- 23 - Figura 3.18: Condutímetro.
- 24 - Figura 3.19: Tubo de impedância para determinação do coeficiente de absorção sonora.
- 25 - Figura 3.20: Dispositivo de ensaio de flamabilidade.
- 26 - Figura 3.21: Corpos de prova antes e após a queima.
- 27 - Figura 3.22: Misturador industrial.
- 28 - Figura 3.23: Tampa Frontal: Produto analisado.
- 29 - Figura 3.24: Máquina laminadora “SPRAY-UP”.

- 30 - Figura 3.25: Equipamento de injeção para “RTM”.
- 31 - Figura 4.1: Representação gráfica dos valores obtidos das densidades das misturas antes da catálise em função dos corpos de prova.
- 32 - Figura 4.2: Representação gráfica dos valores obtidos das densidades das misturas pós catálise em função dos corpos de prova.
- 33 - Figura 4.3: Representação gráfica dos valores obtidos das densidades dos compósitos em função dos corpos de prova.
- 34 - Figura 4.4: Representação gráfica do comparativo das densidades dos compósitos e misturas das resinas antes e após a catalisação em função dos corpos de prova.
- 35 - Figura 4.5: Representação gráfica dos valores obtidos das contrações lineares das misturas pós catalise em função dos corpos de prova.
- 36 - Figura 4.6: Representação gráfica dos valores obtidos das viscosidades Brookfield das misturas em função dos corpos de prova.
- 37 - Figura 4.7: Representação gráfica dos valores obtidos dos módulos de elasticidade à torção – G em função dos corpos de prova.
- 38 - Figura 4.8: Gráfico representativo dos valores do COF dos corpos de prova com MOV em função do tempo de ensaio.
- 39 - Figura 4.9: Gráfico representativo dos valores do COF dos corpos de prova com CaCO_3 em função do tempo de ensaio.
- 40 - Figura 4.10: Representação gráfica dos valores das cargas de ruptura à tração em função dos corpos de prova.
- 41 - Figura 4.11: Representação gráfica dos valores obtidos dos limites de resistência à tração em função dos corpos de prova.
- 42 - Figura 4.12: Representação gráfica dos valores obtidos dos alongamentos à tração em função dos corpos de prova.
- 43 - Figura 4.13: Representação gráfica dos valores obtidos das cargas máximas à flexão em função dos corpos de prova.
- 44 - Figura 4.14: Representação gráfica dos valores obtidos dos limites de resistência à flexão em função dos corpos de prova.
- 45 - Figura 4.15: Representação gráfica dos valores obtidos das flechas em função dos corpos de prova.
- 46 - Figura 4.16: Representação gráfica dos valores obtidos das resistências ao impacto em função dos corpos de prova.

- 47 - Figura 4.17: Representação gráfica dos valores obtidos das durezas Barcol em função dos corpos de prova.
- 48 - Figura 4.18: Representação gráfica dos valores obtidos das condutividades térmicas em função dos corpos de prova.
- 49 - Figura 4.19: Representação gráfica do coeficiente de absorção sonora α em função da frequência.
- 50 - Figura 4.20: Representação gráfica dos valores obtidos de absorção de água em função dos corpos de prova.
- 51 - Figura 4.21: Representação gráfica dos valores obtidos das velocidades de propagação das chamas em função dos corpos de prova.
- 52 - Figura 4.22: MEV do CP-00 no referencial de 1,0 mm.
- 53 - Figura 4.23: MEV do CP-00 no referencial de 500 μm .
- 54 - Figura 4.24: MEV do CP-00 no referencial de 200 μm .
- 55 - Figura 4.25: MEV do CP-10 no referencial de 1,0 mm.
- 56 - Figura 4.26: MEV do CP-10 no referencial de 500 μm .
- 57 - Figura 4.27: MEV do CP-10 no referencial de 200 μm .
- 58 - Figura 4.28: MEV do CP-20 no referencial de 1,0 mm.
- 59 - Figura 4.29: MEV do CP-20 no referencial de 500 μm .
- 60 - Figura 4.30: MEV do CP-20 no referencial de 500 μm .

LISTA DE TABELAS

- 01 - Tabela 2.1: Tipos de resinas poliésteres e suas características.
- 02 - Tabela 2.2: Configurações disponíveis de manta moldável.
- 03 - Tabela 2.3: Espessura do laminado em função do tipo de manta.
- 04 - Tabela 3.1: Composição da mistura da resina e aditivos nos corpos de prova.
- 05 - Tabela 4.1: Densidade da mistura antes da catálise.
- 06 - Tabela 4.2: Densidade da mistura pós catálise.
- 07 - Tabela 4.3: Densidade do composto de resina poliéster com fibra de vidro.
- 08 - Tabela 4.4: Contração por metro linear de corpos de prova pós cura.
- 09 - Tabela 4.5: Viscosidade da mistura de corpos de prova.
- 10 - Tabela 4.6: Módulo de Elasticidade à Torção – G.
- 11 - Tabela 4.7: Carga de ruptura, alongamento e resistência à tração.
- 12 - Tabela 4.8: Carga de ruptura, flecha e resistência à flexão.
- 13 - Tabela 4.9: Resistência ao impacto.
- 14 - Tabela 4.10: Dureza Barcol.
- 15 - Tabela 4.11: Condutividade Térmica – k.
- 16 - Tabela 4.12: Coeficiente de absorção sonora em função da frequência.
- 17 - Tabela 4.13: Absorção de água.
- 18 - Tabela 4.14: Velocidade de queima.
- 19 - Tabela 4.15: Análise operacional ao processo de fabricação “HLU”.
- 20 - Tabela 4.16: Análise operacional ao processo de fabricação “SPRAY-UP”.
- 21 - Tabela 4.17: Análise operacional ao processo de fabricação “RTM”.
- 22 - Tabela 4.18: Custos relativos de produtos fabricados pelo processo “HLU” e suas respectivas massas.
- 23 - Tabela 4.19: Custos relativos de produtos fabricados pelo processo “SPRAY-UP” e suas respectivas massas.
- 24 - Tabela 4.20: Custos relativos de produtos fabricados pelo processo “RTM” e suas respectivas massas.
- 25 - Tabela 5.1: Quadro comparativo resumido de resultados dos ensaios realizados.

LISTA DE EQUAÇÕES

- 01 - Equação 3.1: Equação geral dos gases perfeitos.
- 02 - Equação 3.2: Coeficiente de Atrito Dinâmico – COF.
- 03 - Equação 3.3: Coeficiente de Absorção Sonora “ α ”.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Auto-CAD.....	Computer Aided Design
AAP.....	Peróxido de acetilacetona
ASTM.....	AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS
BMC	Bulk Molding Compound
BPO	Peróxido de benzoila
CaCO ₃	Carbonato de cálcio
CaO.....	Oxido de cálcio
CO ₂	Dióxido de carbono
CP	Corpo de prova
DMA	Dimetil anilina
EUA	Estados Unidos da América
G.....	Módulo de elasticidade à torção
HDT	Temperatura de distorção térmica
HLU	Hand lay-up
MEKP	Peróxido de metil etil cetona
MEK	Metil etil cetona
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
MOV	Microesferas ocas de vidro
MM	Manta moldável
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NPG	Neopentilglicol
PVAL	Álcool polivinílico
PVC	Policloreto de vinila
RTM	Moldagem por transferência de resina
SMC.....	Sheet Molding Compound
UV	Ultravioleta

LISTA DE SÍMBOLOS

α	Coeficiente de absorção sonora
$^{\circ}\text{C}$	Grau Celsius
cm	Centímetro
cP	Centipoise
dm	Decímetro
g	Gramas
GPa.....	Giga Pascal
HBa	Dureza Barcol
Hz	Hertz
J	Joule
K	Kelvin
k	Condutividade Térmica
kg	Quilograma
kJ	Quilo Joule
m	Metro
ml.....	Mililitro
mm	Milímetro
min	Minuto
mol	Mol
MPa	Mega Pascal
μm	Micrometro
nm	Nanometro
N	Newton
Pa	Pascal
pH	Potencial Hidrogeniônico
s	Segundo
%	Por cento
W.....	Watt

1 INTRODUÇÃO

O crescente desenvolvimento tecnológico relacionados as várias classes de materiais são responsáveis pelo avanço das indústrias de um modo geral, estimulando ao desenvolvimento de novos materiais buscando novas aplicações, geometrias complexas, flexibilidade, componentes com baixa densidade e que atendam aos requisitos mínimos dos projetos. Dentre os materiais que vem tendo uma importância crescente nos últimos anos são os materiais poliméricos e compósitos.

Segundo Callister (2012), compósitos são materiais que apresentam mais de uma fase quimicamente diferente separadas por uma interface distinta. Com essa combinação é possível obter materiais com diversas características e propriedades. Geralmente essa classe de materiais possuem elevada rigidez, tenacidade e resistência mecânica. Esses materiais podem ser reforçados com partículas, fibras e compósito estrutural.

Existem duas divisões para os compósitos reforçados com partículas, podendo ser reforçados com partículas grandes como também por dispersão. O reforço com partículas grandes possuem dimensões entre 10 e 100 μm , porém hoje temos estudos de partículas de escala nanométricas podendo possuir dimensões entre 10 e 100 nm, neste tipo de compósito a matriz suporta as cargas aplicadas enquanto que as partículas dificultam a deformação do material.

Os compósitos termorrígidos são materiais de moldagens estruturais, formados por uma fase contínua polimérica “matriz” e reforçadas por uma fase descontínua “fibras”, que se agregam físico-quimicamente após um processo de “*cross-linking*” polimérico chamado “cura”.

Normalmente a fase descontínua é formada por fibra de vidro, de aramida ou de carbono, dependendo da aplicação final. A fase polimérica é geralmente composta por uma resina termofixa do tipo poliéster insaturada (ortoftálica, tereftálica, isoftálica ou bisfenólica), dissolvida em solvente reativo como estireno, ou ainda, formada por uma resina éster-vinílica ou epóxi (ABMACO, 2004).

Resinas especiais como as fenólicas, de poliuretano e de silicone, são utilizadas em aplicações especiais. Na moldagem dessas duas fases ocorre um *cross-linking* polimérico por meio de um processo de cura, que acopla as duas fases proporcionando ao material final, propriedades especiais que definem suas modernas

e amplas aplicabilidades. Leveza, flexibilidade, durabilidade, resistência, adaptabilidade, são algumas das propriedades que garantem aos compósitos o título de produto do futuro. Engenheiros e técnicos procuram cada vez mais os compósitos como solução para seus projetos de engenharia. Estados Unidos, Japão, Canadá, Europa e Brasil, têm no compósito um mercado em franca expansão (ABMACO, 2004).

Os compósitos apresentam excepcional resistência química, o que permite sua utilização em uma ampla gama de ambientes quimicamente agressivos. Além disso, aditivos especiais e resinas específicas estão à disposição dos técnicos para solucionar aplicações que requeiram propriedades além das usuais. A umidade, o vento, o sol e as oscilações térmicas têm baixa ação prejudicial sobre os compósitos, pois, a resistência às intempéries também é uma característica dos mesmos. E, quando características não usuais são requeridas, empregam-se amplamente, aditivos como protetores de raios ultravioletas “UV”, agentes “*anti-dust*” e resinas especiais (ELEKEIROZ, 2004).

A flexibilidade arquitetônica confere aos compósitos uma grande vantagem sobre outros materiais estruturais, pois moldes com formas complexas são facilmente adaptáveis aos processos em utilização, permitindo uma maior exploração das curvas, formas diferenciadas e detalhes arquitetônicos. Os compósitos, devido à sua composição e ao “*cross-linking*” polimérico formado durante o processo de moldagem, apresentam como característica uma alta durabilidade (ABMACO, 2004).

Um tipo de carga adicionada aos polímeros que traz diversos benefícios ao compósito são as microesferas que possuem diâmetros menores de 200 μm . As microesferas podem ser maciças ou ocas. As sólidas são geralmente de vidro, cerâmica, carbono, grafite, zinco ou poliméricas. As ocas mais comuns e com maior número de aplicações quando comparadas às maciças e se apresentam na forma de pó branco (BARBOZA; DE PAOLI, 2002).

As microesferas ocas de vidros trazem benefícios como redução de peso em peças extrudadas, moldadas, injetadas ou de outros tipos de processamentos. Conferem boas propriedades de isolamento térmico de constante dielétrica por formarem “bolhas” de ar ao longo da matriz que dificultam a passagem de som e calor pela peça. Se comparadas a outros tipos de cargas como o carbonato de cálcio - CaCO_3 resultam em materiais de menor densidade já que sua densidade é cerca de 600% menor que a carga de CaCO_3 (BARBOZA; DE PAOLI, 2002).

Os compósitos termorrígidos, além de sua longevidade tradicional, apresentam leveza e facilidade de transporte devido à baixa densidade de sua composição formada por resina e fibras de reforços, possuem, também, fáceis e simples técnicas de reparo e manutenção, apresentando, também, uma excelente resistência mecânica. Estas propriedades possibilitam a sua utilização e aplicação no setor de aeronáutica, naval, automobilístico e construção civil. Compósitos são sinônimos de produtos feitos sob medida. Decidir pela utilização de um compósito é ter à sua disposição a possibilidade de resolver seus problemas de engenharia com um produto fabricado na medida certa e exata de sua necessidade (DOUMBIA, 2015; HIDROPLAS, 1994).

O estudo para combinar vários materiais para produzir uma nova geração de compósitos visa à melhoria de características tais como a rigidez, a tenacidade, a resistência a elevadas temperaturas e à temperatura ambiente (HARADA; WIEBECK, 2005).

1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo principal estudar as implicações da adição das microesferas ocas de vidro em compósitos de resina poliéster insaturada reforçada com fibra de vidro através de ensaios, análises e comparações de resultados com outro aditivo usual como o carbonato de cálcio, amplamente utilizado como carga em compósitos. Com este trabalho pretende-se chegar a um aprofundamento na justificativa da ocorrência de um fenômeno significativo e relevante entre materiais compósitos convencionais e materiais compósitos com a inclusão de microesferas ocas de vidro. Através dos resultados deste trabalho, espera-se servir de embasamento para a geração de novas tecnologias na utilização de materiais compósitos a base de resina poliéster insaturadas reforçadas com fibra de vidro e com a adição de microesferas ocas de vidro em sua composição.

A densidade dos materiais tem sido um fator de grande importância no segmento automotivo por proporcionar reduções significativas no consumo de energia para a movimentação de veículos ou aumentar sua capacidade de carga, neste sentido, este trabalho tem também como objetivos específicos estudar as reduções das densidades em compósitos que utilizam-se de microesferas ocas de vidro em sua composição, avaliar o comportamento da resistência mecânica e propriedades físicas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Polímeros

Polímeros são materiais formados por macromoléculas que são cadeias constituídas pela repetição de uma unidade básica, chamada “mero”. Daí o nome: poli (muitos) + mero. Os meros estão dispostos um após o outro, como pérolas num colar. Uma macromolécula assume formato muito semelhante ao de um cordão. Michaeli (1995) faz uma analogia quanto à disposição das moléculas de um polímero e a sua semelhança a um novelo de lã. É difícil extrair um fio de um novelo de lã assim como remover uma molécula de uma cadeia de polímero com numerosas contorções e espirais aleatórias produzidas pelas rotações das ligações entre os átomos que compõem a cadeia, pois as cadeias se entrelaçam, além das forças de ligação entre os meros.

O elemento que dá origem ao polímero chama-se monômero. Por sua vez, o monômero é obtido a partir do petróleo ou gás natural, pois é a rota de mais baixo custo. É possível obter monômeros a partir de hidrocarbonetos, pois essas matérias-primas são ricas em carbono, o átomo principal que constitui os materiais poliméricos (GORNÍ, 2003).

Para Canevarolo (2010), as classificações dos polímeros podem ser de quatro formas usualmente empregadas e são elas: quanto à estrutura química, quanto a sua síntese, suas características tecnológicas e quanto ao seu comportamento mecânico.

Segundo Mano (2004) há diversas maneiras de se agrupar os polímeros. A classificação conforme as características mecânicas talvez seja a mais importante. Ela decorre, na verdade, da configuração específica das moléculas do polímero. Sob este aspecto, os polímeros podem ser divididos em termoplásticos também denominado de plástico; termorrígidos, que também é denominado de termofixos e elastômeros, os quais representam as borrachas.

Termoplásticos são subgrupos dos plásticos, constituindo a maior parte dos polímeros comerciais. A principal característica desses polímeros é poder ser fundido diversas vezes. Dependendo do tipo do plástico, também podem dissolver-se em

vários solventes. Logo, sua reciclagem é possível, uma característica bastante desejável nos dias de hoje (MANO, 2004).

Segundo Mano (2004), as propriedades mecânicas variam conforme o plástico. Na temperatura ambiente, podem ser maleáveis, rígidos ou mesmo frágeis, exemplos de materiais termoplásticos são: polietileno “PE”, polipropileno “PP”, politereftalato de etileno “PET”, policarbonato “PC”, poliestireno “PS”, policloreto de vinila “PVC”, polimetilmetacrilato “PMMA”.

Para Canevarolo (2010), são plásticos aqueles que quando submetidos a um aumento de temperatura e pressão, amolecem e fluem, podendo ser moldados durante essa fase. Ao retirar o polímero dessas condições adquirem a forma do molde e quando submetidos a essas condições novamente reiniciam o processo, por isso são recicláveis.

Os termofixos apresentam elevada rigidez e fragilidade, sendo muito estáveis as variações de temperatura. Após a cura, não mais se fundem. O aquecimento do polímero acabado a altas temperaturas promove decomposição do material antes de sua fusão, por essa razão sua reciclagem é dificultada (MANO, 2004). A estrutura molecular é formada entre si através de numerosas ligações restringindo a liberdade de movimentos, como no caso dos termoplásticos. Mano (2004) exemplifica alguns materiais termorrígidos como: baquelite, material comumente empregado em tomadas, no embutimento de amostras metalográficas; compósito de poliéster com fibra de vidro usado em carrocerias; caixas d'água e piscinas.

Os elastômeros possuem uma baixa densidade de ligações cruzadas e possuem três propriedades básicas e são elas: aceitar grandes deformações de duas vezes o seu tamanho mantendo boas propriedades mecânicas e módulo de elasticidade quanto deformado, recuperar rapidamente a deformação após a retirada do um esforço e ter recuperação total da deformação (CANEVAROLO, 2010).

Os elastômeros pertencem à classe intermediária entre os termoplásticos e os termorrígidos e que não são fusíveis, mas apresentam alta elasticidade, não sendo rígidos como os termofixos. A reciclagem desse material é complicada pela incapacidade de fusão, de forma análoga aos termorrígidos (MANO, 2004). Ainda segundo o autor, a estrutura molecular é similar à do termorrígido, mas, neste caso, há menor número de ligações entre os “cordões”. Ou seja, é como se fosse uma rede,

mas com malhas bem mais largas que os termorrígidos. Exemplifica-se alguns elastômeros como os pneus e mangueiras de borracha.

Gorni (2003) descreve que a densidade dos polímeros é menor comparada aos metais ou cerâmica. Exemplifica, ainda, que o polietileno “PE”, é três vezes menos denso que o alumínio e oito vezes menos denso que o aço, o que implica em motivação para uso na indústria de transportes, embalagens e equipamentos esportivos.

Se compararmos a densidade dos polímeros com as dos metais notamos que é baixa e possuem valores típicos entre 900 e 1450 kg/m³, porém se esse polímero estiver na forma de espumas sua densidade pode cair para 10 kg/m³. Por essa razão os polímeros vêm ganhando cada vez mais força nas aplicações onde se requer a redução de peso. Mesmo com as densidades menores se comparado a outras matérias, o uso dos polímeros em uma determinada aplicação fica condicionada as suas propriedades mecânicas, elétricas, químicas, entre outras, que se requer num projeto. Por essa razão são incorporados outros materiais, cargas e reforços, para atingir a especificação e assim garantir uma aplicação segura com a redução de peso do produto (PARA,2019).

Também pela densidade é possível separar e identificar os diferentes tipos de plásticos existentes, facilitando a separação desses num processo de reciclagem. (ROCHA; SILVA; SOUZA, 2013)

Os polímeros apresentam alta flexibilidade, com valores da resistência à flexão variando ao longo de uma faixa bastante ampla conforme o tipo de polímero e os aditivos usados em sua formulação. Também é característica de alguns dos polímeros a alta resistência ao impacto.

Tal propriedade, associada à transparência, permite substituição do vidro em várias aplicações tais como as lentes de óculos (em acrílico ou policarbonato), faróis de automóveis (policarbonato), janelas de trens. Gorni (2003) salienta, contudo, que a resistência à abrasão e aos solventes não é tão boa quanto a do vidro. Lentes de acrílico riscam facilmente e são danificadas ao entrarem em contato com solventes como a acetona.

O comportamento viscoelástico é observado nos polímeros quando são submetidos a deformações por aplicação de tensões, esse comportamento é devido as propriedades elásticas do plástico com características viscosas presentes em fluidos. O comportamento mecânico dos plásticos é fortemente dependente da

temperatura de trabalho e de processamento pois a exposição a uma temperatura acima da temperatura adequada pode levar o material a degradar e assim perder suas propriedades podendo chegar à fratura (PARA, 2019).

A temperatura de processamento dos polímeros é relativamente baixa se comparada a outros materiais. A conformação de peças requer aquecimento entre as temperaturas próximas de 250°C. Alguns plásticos especiais requerem até 400°C de temperatura para processamento. Disso decorre o baixo consumo de energia para conformação e também a utilização de equipamentos mais simples e não tão dispendiosos, quando comparados aos utilizados nos processamentos de metais ou materiais cerâmicos (GUEDES & FILKAUSKAS, 1986).

Os polímeros normalmente apresentam baixa condutividade elétrica, sendo altamente indicados para aplicações onde se requeira isolamento elétrico. Os polímeros não contêm elétrons livres, responsáveis pela condução de eletricidade nos metais. A adição de cargas especiais condutoras, como limalha de ferro e negro de fumo, pode tornar os polímeros fracamente condutores, evitando acúmulo de eletricidade estática, o que é perigoso em certas aplicações (GORNÍ, 2003).

A condutividade térmica dos polímeros é cerca de mil vezes menor que a dos metais. Sendo, portanto, altamente recomendados em aplicações que requeira maior isolamento térmico, particularmente sob a forma de espumas. A explicação é a mesma que a do caso anterior: ausência de elétrons livres dificulta a condução de calor nos polímeros (GORNÍ, 2003).

Ao aplicar cargas e reforços em uma matriz polimérica conseguem aumentar o desempenho desse material devido ao aumento das propriedades mecânicas do material adicionado, de modo a proporcionar a esses materiais associados propriedades superiores se estivessem na sua forma pura. (LOKENS GARD, 2013; PARA, 2019).

2.2 Compósitos termorrígidos

Os primeiros estudos mais concretos sobre essa classe de materiais aconteceram na década de 40 com a utilização de fibra de vidro em uma estrutura de bambu. Depois, já nos anos 60 o uso desses materiais se tornou restrito para a

indústria bélica, aeroespacial e fabricação de mísseis. Atualmente este material está presente no nosso dia-a-dia e em praticamente todos os setores industriais como automotivo, esportes, construção civil, entre outros (MARTINS, 2008).

Os usos dos compósitos poliméricos termorrígidos vêm crescendo cada vez mais na indústria de um modo geral, pois com esse tipo de composição é possível obter propriedades que não seriam possíveis com um único material, tais como melhores propriedades mecânicas, utilização em altas e baixas temperaturas sem perder resistências, custo e facilidade de fabricação, além disso esses materiais apresentam uma boa resistência mecânica aliada à ductilidade e leveza. Os compósitos poliméricos termorrígidos podem ser utilizados na construção de veículos mais leves e seguros, aviões, componentes de máquinas, entre outros (CALLISTER, 2012; FRIEDRICH, 2012).

Compósitos termorrígidos são materiais de moldagens estruturais, formados por uma fase contínua polimérica (matriz) e reforçadas por uma fase descontínua (fibras) que se agregam físico-quimicamente após um processo de *cross-linking* polimérico (cura). Normalmente a fase descontínua é formada por fibra de vidro, de aramida ou de carbono, dependendo da aplicação final (ABMACO, 2004; BARBOSA, 2011; CUNHA, 2015).

Os compósitos de matrizes poliméricas se dividem em dois grupos, sendo eles termorrígidos onde se destacam as matrizes epóxis, poliamida, poliéster; e termoplásticas, que podem ser matrizes de poli-éter-cetona, poli-sulfona, polieterimida. A maior diferença entre elas se dá no comportamento a altas temperaturas, as resinas termoplásticas são capazes de serem moldadas diversas vezes pelo fato de se tornarem fluidas com o aumento da temperatura e solidifica ao ser resfriada, esse tipo de resina permite ser reciclada. Já as resinas termorrígidas são mais utilizadas para fabricação de compósitos estruturais por apresentarem vantagens em relação as termoplásticas, vantagens essas como estabilidade térmica, rigidez, estabilidade dimensional e resistência à deformação sob carregamento. (BARBOSA, 2011; CANTWELL & MORTON, 1991; PEREIRA, 2017).

A fase polimérica é geralmente composta por uma resina termofixa do tipo poliéster insaturado (ortoftálica, tereftálica, isoftálica ou bisfenólica), dissolvida em solvente reativo como estireno ou ainda uma resina éster-vinílica ou epóxi. Resinas especiais como as fenólicas, de poliuretano e de silicone, são utilizadas em aplicações especiais. Na moldagem destas duas fases ocorre um “*cross-linking*” polimérico por

meio de um processo de cura, que acopla as duas fases proporcionando ao material final, propriedades especiais que definem suas modernas e amplas aplicabilidades. Leveza, flexibilidade, durabilidade, propriedades mecânicas, adaptabilidade são algumas das propriedades que garantem aos compósitos o título de produto do futuro. Engenheiros e técnicos procuram cada vez mais os compósitos como solução para seus projetos de engenharia. Estados Unidos, Japão, Canadá, Europa e Brasil, têm no compósito um mercado em franca expansão (ABMACO, 2004).

O processo de cura para as resinas acontece em duas etapas. A primeira etapa ocorre com a resina líquida mudando para um estado gelatinoso, etapa conhecida como ponto de gel. Na segunda etapa ocorre o endurecimento final através de um processo exotérmico. Esse processo depende de fatores como reatividade da resina, teor e qualidade do endurecedor e acelerador bem como das condições ambientais (DE MOURA, 2011 apud PEREIRA, 2017)

No processo de fabricação dos compósitos, as frações volumétricas e mássicas devem ser analisadas ao adicionar o reforço na matriz. Ao adicionar o reforço existe percentagem de 70 a 75% que deve ser respeitada, essa é uma faixa em que esse reforço é benéfico para o compósito, acima dessa faixa o compósito começa a perder as suas propriedades e não consegue desempenhar funções para as quais se tem o objetivo. Ainda em relação a sua fabricação, dependendo dos esforços no qual será submetido é importante verificar a orientação do reforço (MELO, 2013).

De acordo com Mano (apud CUNHA, 2015 p.20) outro fator de extrema importância é a interface matriz/reforço, pois vai influenciar diretamente nas propriedades mecânicas do compósito. Para que ocorra a interação entre materiais de naturezas distintas é necessária uma área de contato adequada entre eles, e quanto maior essa área, maior será a possibilidade de interação química, física ou físico-química entre eles.

Os compósitos apresentam excepcional resistência química, o que permite sua utilização em uma ampla gama de ambientes quimicamente agressivos. Além disso, aditivos especiais e resinas específicas estão à disposição dos técnicos para solucionar aplicações que requeiram propriedades além das usuais. A umidade, o vento, o sol e as oscilações térmicas têm baixa ação prejudicial sobre os compósitos, pois, a resistência às intempéries também é uma característica dos mesmos. E, quando características não usuais são requeridas, empregam-se amplamente, aditivos como

protetores de raios ultravioleta “UV”, agentes “*anti-dust*” e resinas especiais (ELEKEIROZ, 2004).

A flexibilidade arquitetônica confere aos compósitos uma grande vantagem sobre outros materiais estruturais, pois moldes com formas complexas são facilmente adaptáveis aos processos em utilização, permitindo uma maior exploração das curvas, formas diferenciadas e detalhes arquitetônicos. Alguns compósitos, devido à sua composição e ao “*cross-linking*” polimérico formado durante o processo de moldagem, apresentam como característica uma alta durabilidade (ABMACO, 2004).

Os compósitos termorrígidos, além de sua longevidade tradicional, apresentam leveza e facilidade de transporte devido à baixa densidade de sua composição formada por resina e fibras de reforços. Possuem, também, fáceis e simples técnicas de reparo e manutenção, apresentando, também, uma excelente resistência mecânica. Estas propriedades possibilitam a sua utilização e aplicação no setor de aeronáutica, naval, automobilístico e construção civil. Compósitos poliméricos termorrígidos são sinônimos de produtos feitos sob medida. Decidir pela utilização de um compósito é ter à sua disposição a possibilidade de resolver seus problemas de engenharia com um produto feito especificamente para aquela aplicação, isto é, um produto fabricado com dimensões e quantidades adequadas em função de sua aplicação específica (ARAÚJO, 2006; CUNHA, 2015).

2.2.1 Tipos de resina poliéster insaturada

As resinas poliésteres são compostas por uma resina polimérica e um monômero, que atua como diluente durante o processamento e como co-monômero durante a reação de endurecimento. Constituem uma família de polímeros de alto peso molecular resultantes da condensação de ácidos carboxílicos com glicóis, classificando-se como resinas saturadas ou insaturadas, dependendo, especificamente, dos tipos de ácidos utilizados, que irão caracterizar o tipo de ligação entre os átomos de carbono da cadeia molecular. Desta maneira, originarão moléculas formando o poliéster. No caso do poliéster saturado, resulta num produto termoplástico. Enquanto o poliéster insaturado, resulta num produto termorrígido (AEROSIL, 2019; EMBRAPOL, 2020).

Segundo a mesma fonte, o poliéster saturado é obtido pela reação entre um biálcool e um biácido saturado, resultando num produto termoplástico, cuja cadeia molecular é composta apenas por simples ligação entre os átomos de carbono, o que caracteriza a flexibilidade dos produtos obtidos com o poliéster saturado. Pode ser utilizado com ou sem reforço, e seu emprego é bem diverso: filmes, fibras sintéticas, plastificantes poliméricos e até produtos de engenharia como tampa de tanque de combustível. O poliéster insaturado é obtido pela reação entre um ácido insaturado, um ácido saturado e um biálcool, resultando após a cura num produto termorrígido, cuja cadeia molecular é composta por simples e duplas ligações entre os átomos de carbono. É diluído num monômero vinílico inibido, para facilitar sua utilização (EMBRAPOL, 2020).

O monômero tem função de diluente, fator que controla a viscosidade da resina, o mais utilizado é o monômero de estireno, ou vinil benzeno, devido a razões técnicas e econômicas. Inicialmente o poliéster insaturado encontra-se no estado líquido e após a adição de promotores transforma-se em um estado sólido, caracterizando uma estrutura termorrígida, irreversível. Pode ser utilizado com ou sem reforço. Uma vez reforçado, se transforma em um plástico de engenharia com ótimas propriedades físico-mecânicas, substituindo muitas vezes materiais como aço, ferro e concreto.

A Tabela 2.1 abaixo mostra os tipos de resinas poliésteres e suas características. Em comparação com resinas epóxis, as resinas poliésteres são inferiores quando se requer propriedades mecânicas.

Tabela 2.1: Tipos de resinas poliésteres e suas características, adaptado de (GARAY, 2010).

Tipos	Características
Ortoftálicas	Resina mais comum, de menor custo, para usos básicos.
Tereftálicas	Possui resistência física um pouco superior a ortoftálica, porém baixa resistência UV.
Isoftálica	Melhores características mecânicas, químicas e térmicas que as anteriores.
Bisfenólica	Melhores características químicas e térmicas.

As resinas ortoftálicas são produzidas a partir do ácido ortoftálico. As resinas ortoftálicas não possuem boa resistência química e térmica e sua temperatura de termo distorção (HDT) está em torno de 70°C, sendo distribuídas em categorias e descritas a seguir de acordo com a sua utilização (ELEKEIROZ, 2004):

As resinas ortoftálicas cristais são utilizadas onde a transparência é requerida ou a pigmentação não pode sofrer interferências.

Estas normalmente apresentam alta viscosidade, são indicadas para a produção de telhas, domos, botões e estatuários e podem ser estabilizadas à luz, pois contém os chamados absorventes de luz ultravioleta. Estes tipos de resinas contém agentes tixotrópicos, isto é, agentes que impedem que a resina escoe quando aplicada em uma superfície na posição vertical. Podendo ser pré-aceleradas ou estabilizadas sobre a ação da luz (ELEKEIROZ, 2004).

As resinas ortoftálicas “*Standard*”, também conhecidas como resinas básicas, podem ser utilizadas nos mais diversos sistemas de produção. Aceitam a adição de aceleradores, agentes tixotrópicos, absorvedores de raios ultravioletas, pastas pigmentadas. A vantagem da utilização deste tipo de resina é que o consumidor poderá dosar seu aditivo nas proporções que melhor aprover, não tendo que se adaptar aos valores fixos determinados pelos fabricantes (ELEKEIROZ, 2004).

Normalmente são utilizadas em gel *coats*, gel *primers*, laminação aquecida e a frio. É possível uma enorme variação de características por meio de pequenas modificações na formulação deste tipo de resinas. É possível destacar, ainda, as viscosidades elevadas ou baixas; reatividades altas, baixas ou médias; mais rígida ou menos rígida, tudo em razão da variação das proporções de mais ou menos anidrido maleico ou ainda a troca de glicóis, ocasionando maior ou menor tempo de reação e assim por diante.

As resinas isoftálicas são produzidas a partir do ácido isoftálico e apresentam boas resistências químicas, térmicas e mecânicas. Há dois tipos principais: as resinas isoftálicas comuns e as com neopentilglicol (NPG). As resinas isoftálicas comuns são normalmente formuladas com propileno glicol. Apresentam temperatura de distorção térmica - HDT por volta de 100°C e resistência química ligeiramente superior às resinas ortoftálicas. São indicadas para produções de moldes, modelos, estrutura de tanques e tubulações para produtos químicos ou saneamento básico. Enquanto as resinas isoftálicas com NPG, são formuladas com

neopentilglicol, apresentam temperatura de distorção térmica - HDT por volta de 130°C e resistência química muito superior às ortoftálicas (ELEKEIROZ, 2004).

Antes do surgimento das resinas tereftálicas, as resinas isoftálicas apresentavam maior resistência mecânica e elétrica dentre as resinas poliéster, indicadas para gel “coats” de banheira de hidromassagem e piscinas, barreira química e estrutura de tubulações, tanques para combate à corrosão e saneamento básico, massas para prensagem, revestimentos industriais, peças para a indústria elétrica inclusive para alta tensão. Resistentes à água fervente, à água do mar, à alguns ácidos e bases, em diversas temperaturas e concentrações (ELEKEIROZ, 2004).

As resinas tereftálicas são produzidas a partir do ácido tereftálico. Apresentam excelentes resistências mecânicas, térmicas e elétricas. Sua resistência química é ligeiramente superior a isoftálica em alguns meios corrosivos. As resinas tereftálicas com NPG são formuladas com neopentilglicol. Apresentam HDT por volta de 140°C. As indicações de aplicação desta resina são idênticas as isoftálica com NPG. As resinas tereftálica comuns, formuladas basicamente com propileno glicol, apresentam HDT por volta de 100°C. A resistência química e mecânica desse tipo de resina é inferior aos tipos formuladas com NPG. As resinas tereftálica no Brasil têm sido muito utilizadas devido suas altas propriedades mecânicas (ELEKEIROZ, 2004).

As resinas bisfenólicas são formuladas a base de bisfenol “A” modificado e apresentam ótimas resistências químicas. Sua temperatura de distorção térmica está em torno de 120°C. Resiste a diversos ácidos e bases. Essa resina é de largo emprego no combate à corrosão industrial. Indicada para a construção de tubulações, tanques e revestimentos industriais. É normalmente fornecida na forma pré-acelerada (ELEKEIROZ, 2004).

As resinas éster-vinílicas são obtidas a partir da reação do epóxi com ácido metacrílico. Esta resina também é dissolvida em estireno como as demais resinas poliéster, embora alguns autores separem-na da resina poliéster. Existem dois tipos fundamentais desta resina. O primeiro tipo apresenta uma boa resistência química a ácidos e bases, com HDT por volta de 110°C. O segundo tipo apresenta uma boa resistência química a agentes oxidantes fortes e alguns solventes, com HDT por volta de 137°C. Tais resinas são indicadas para a construção de tanques, tubulações e revestimentos industriais, chaminés, coifas e lavadores de gases. Apresentam grande alongamento da ruptura (ELEKEIROZ, 2004).

As resinas à base de ácido het e NPG. Apresentam boa resistência a agentes oxidantes e a alguns solventes. Sua temperatura de distorção térmica tem valores próximos de 137°C. Apresentam características ignífugas por serem alucinadas (ELEKEIROZ, 2004).

As resinas flexíveis normalmente apresentam-se associadas a um tipo de resina poliéster para conferência de algumas propriedades específicas, como o aumento da flexibilidade, redução do pico exotérmico, como aditivo para massas de prensagens. A resina flexível possui temperatura de termo distorção extremamente baixa, ao redor de 40°C. Pode-se empregar ácido adípico, na obtenção desse tipo de resina em virtude do mesmo ser um ácido saturado com cadeia molecular longa, obtendo-se espaçamento nas ligações ésteres, que são os pontos rígidos (ELEKEIROZ, 2004).

As resinas auto extingüíveis são usadas onde há exigências por segurança ou normalização em evitar-se a propagação do fogo. Existem resinas formuladas com halogêneos que contêm como matérias-primas principais, o tetracloroftálico ou tetrabromoftálico, de modo que as resinas depois de curadas e na presença de uma chama, liberam gases cloro ou bromo, com consequente extinção do fogo, desde que cessada a fonte, ou ainda o uso em resinas não halogenadas carregadas com alumina hidratadas, parafinas cloradas e trióxido de antimônio.

Existem várias normas que controlam tais mecanismos: tempo de auto extinção da chama e extinção de queima, liberação de fumaça, dentre outros. Entre estas, uma das mais exigidas é a ASTM D635 (ELEKEIROZ, 2004).

As resinas não reativas são indicadas para a produção de pastas pigmentadas e isentas de monômero de estireno. A causa de não serem reativas é evitar que, durante a moagem do pigmento, normalmente em moinho de rolos, haja endurecimento da resina, pois há liberação de calor (ELEKEIROZ, 2004).

Associado a utilização das resinas, existem dois componentes sempre presentes: o gel “coat” e o desmoldante. O gel “coat” é toda camada de resina sem reforço que pode ser aditivada, pigmentada ou não, e que é aplicada à superfície de uma estrutura. Possui, em média, uma espessura entre 0,3 e 0,5 mm. Apresenta as seguintes finalidades básicas:

a) Estética – substituir a pintura convencional dando às peças acabamento liso;

- b) Barreira química – proteger a superfície da peça contra a ação das intempéries do meio ambiente;
- c) Substrato – servir de base para aplicação de pintura.

Os desmoldantes são usados para impedir que a peça fique aderida nas paredes do molde. Existem três tipos de desmoldantes disponíveis no mercado. O primeiro é o álcool polivinílico, também conhecido como PVAL. O PVAL forma um filme ou barreira sobre a superfície do molde. O segundo desmoldante é formado por uma mistura de cera de carnaúba, cera de abelha, parafina e solvente. Esse desmoldante é conhecido na indústria simplesmente como "cera desmoldante" e é muito usado nos processos de laminação com molde aberto. O terceiro tipo de desmoldante é conhecido como semipermanente e ainda não é muito popular no Brasil. O desmoldante semipermanente se adere à superfície do molde e não contamina as peças (HIDROPLAS, 1994).

2.2.2 Sistema de endurecimento a frio

As resinas denominadas como pré-aceleradas, só podem ser processadas a frio. A pré-aceleração da resina significa que já contém um promotor que acelerará a decomposição de radicais livres de um peróxido orgânico para o endurecimento da resina poliéster, isto é, a cura. Estes aceleradores são na maioria das vezes sais de cobalto, por exemplo, o octoato ou naftenato de cobalto. Pode-se, ainda, em casos específicos, ter resinas pré-aceleradas com DMA – dimetil anilina – que somente irão reagir com o peróxido de benzoíla, ou ainda, aceleradas em conjunto com sais de cobalto e DMA, esta última reagirá normalmente com o peróxido de metil etil cetona – MEKP (CARVALHO, 2002).

Quando se dilui na resina, em proporções adequadas, o composto de sais de cobalto e peróxido de metil etil cetona, há liberação de calor e posterior endurecimento da mesma. O peróxido de metil etil cetona é conhecido na sua forma abreviada MEKP, que não deve ser confundido com o solvente MEK – metil etil cetona. O MEKP apresenta-se em estado líquido transparente, cristalino com concentração

de 50% de dibutilftalato. A preocupação com a qualidade deste produto é necessária, uma vez que poderá afetar na cura da resina poliéster (ELEKEIROZ, 2004).

O dimetil anilina é conhecido como DMA. Possui a tendência de elevação do pico exotérmico e amarelamento nos laminados executados com este produto. É altamente tóxico, inclusive a pele absorve extremamente, sendo necessário o uso de luvas durante a sua manipulação e deve-se evitar aspirar seus vapores. Sua aplicação é indicada quando se trabalha em ambientes úmidos e frios. Seu uso em conjunto com sais de cobalto, proporciona condições de trabalho com temperaturas abaixo de 15°C e *gel time* extremamente rápido, quando necessário. Convém trabalhar-se com este produto diluído para facilitar a dosagem (CARVALHO, 2002).

Segundo o mesmo autor, o peróxido de benzoila, conhecido também como BPO é fornecido em forma de pasta e com 50% de concentração. É utilizado a frio em conjunto com o DMA ou a quente em temperaturas superiores a 80°C. Há outros peróxidos e aceleradores, para tanto é importante contatar os fabricantes desses produtos para o uso adequado, condições de armazenamento e seus limites. Uma fase importante no sistema de cura a frio é a determinação do “*gel time*”. *Gel time*, ou tempo de gelatinização, é o tempo útil que o operador tem para a aplicação das resinas. Dois fatores influenciam a variação do tempo de gelatinização: a oscilação da temperatura e a variação da umidade relativa do ar.

É conveniente traçar um gráfico para cada tipo de resina com variação de temperatura e dosagens de peróxido e aceleradores para um acompanhamento adequado da aplicação da resina poliéster. Convém salientar que há diferenças de “*gel time*” para cada tipo de resina, ou ainda de fabricante para fabricante. Pico exotérmico é a temperatura máxima que uma determinada massa de resina atinge durante seu processo de endurecimento com determinadas quantidades de acelerador e catalisador. O pico exotérmico ocorre após o período do *gel time* (ELEKEIROZ, 2004).

No sistema de endurecimento a quente, as resinas utilizadas não deverão ser pré-aceleradas. A temperatura utilizada está compreendida na faixa de 80°C a 150°C. A temperatura escolhida determinará o tipo de catalisador a ser utilizado, bem como o tempo de endurecimento. Os principais processos onde se utiliza a cura a quente são o BMC (massas prensadas) ou SMC (laminados prensados) (ABMACO, 2004).

Em geral, uma pequena porcentagem do peso, após a cura dos produtos termorrígidos, é constituída por estireno residual não polimerizado. O estireno residual é proveniente do catalisador empregado na polimerização da resina. Esse estireno livre permanece sem polimerizar durante vários dias após a laminação da peça. Ele atua como plastificante podendo reduzir a dureza superficial, afetar a estabilidade dimensional e a pintura final. O pós-cura é uma operação recomendável quando se trabalha no sistema de endurecimento a frio e quando a peça ou produto for utilizado em condições severas, por exemplo, peças ou revestimentos de área de corrosão, contato com alimento ou até mesmo em uma produção em série, onde a superfície lisa da peça denominada *gel coat*, recebe pintura de acabamento. Para todos esses casos, o teor de estireno pode ser reduzido a valores inferiores a 0,1% em peso do laminado. O processo de pós-cura consiste em aplicar-se ar quente sobre o produto, onde a temperatura e o tempo de permanência dependem do tipo de catalisador empregado. O objetivo do pós-cura é diminuir o nível de estireno residual. (CARVALHO,2002).

2.2.3 Fibras de reforço

Devido a busca por materiais sustentáveis, fibras naturais vêm sendo estudadas com o intuito de em um futuro seja agregada nas indústrias em substituição das fibras sintéticas, porém ainda hoje em dia o uso de fibras de vidro para confecção de materiais ainda é a mais utilizada devido a inúmeros benefícios, disponibilidade e propriedades se comparada as fibras naturais (PEREIRA, 2017).

A partir da década de 40 o uso das fibras de vidro cresceu e sua produção aumentou em escala comercial para atender a demanda da indústria bélica e naval da 2ª Guerra Mundial (KEMERICH et al, 2013).

As fibras de reforços são materiais fibrosos que, quando adequadamente incorporadas aos polímeros, aumentam a resistência mecânica de forma significativa. As principais fibras de reforços aplicadas em compósitos são as fibras de vidro e as fibras de carbono. As fibras de vidro são constituídas por vidro do tipo "E" – um vidro especial que contém óxidos de silício, alumínio, boro, cálcio e característica alcalina

menor que 1%. Os tipos de fibras de vidro mais utilizados são: manta, “*roving*”, “*woven roving*”, tecidos e manta moldável (LANDESMANN, 2015; OWENS CORNING, 2019).

A manta é produzida a partir de fios cortados, unidos quimicamente e de forma aleatória. Possui boa resistência mecânica e é indicada para peças onde se deseja um melhor controle da espessura no processo de laminação manual. A gramatura da manta de fibra de vidro pode ser encontrada nos valores 225 g/m², 450 g/m² e 600 g/m², estas são formadas de fios de fibra de vidro picados e aglomerados com formulação específica. O “*roving*” é composto por fios contínuos de vidro e possuem diversas aplicações. As fibras do “*roving*” devem ser cortadas antes de serem impregnadas com as resinas termorrígidas. O “*roving*” tem custo mais baixo que as mantas e tecidos e, por isso, são muito usados nos processos de laminação com moldes abertos. O “*woven roving*” corresponde a um tecido fabricado com o próprio “*roving*”, originando dessa forma um tecido especial onde fornece boas características mecânicas aos compósitos. Sua gramatura está entre 600 g/m² e 800 g/m². O tecido usado para a laminação manual é fabricado com fios de “*roving*” torcidos e trançados. Sua gramatura pode ser de 200 g/m², 300 g/m², 600 g/m² ou 800 g/m², não devendo ser usados próximo ao gel “*coat*”, pois, seu desempenho marca a superfície da peça. Os tecidos possuem seus fios trançados ordenadamente, o que confere maior resistência mecânica ao compósito, comparando-se às mantas, as quais possuem seus fios desordenados (HIDROPLAS, 1994).

A manta moldável “MM” é um produto designado para uso em várias técnicas de transferência de resina em moldes fechados: moldagem por transferência de resina “RTM”, moldagem por transferência de resina a baixa pressão “*RTM-Light*”, prensagem e laminação a vácuo. É composta de um núcleo de tecido sintético costurado entre duas camadas de fibra de vidro picada. O núcleo sintético proporciona um fluxo superior de resina, enquanto as fibras de vidro conferem excelentes propriedades mecânicas ao laminado (OWENS CORNING, 2019).

A referida empresa destaca as seguintes características desta manta:

- Compatibilidade com resinas poliéster, viniléster, epóxi e poliuretano;
- Utilização com resinas contendo carga mineral;
- Boa resistência ao arraste das fibras;
- Fácil escoamento da resina;
- Rápida molhagem;

- Boa conformabilidade no molde;
- Capacidade para produzir peças com espessuras diversas; e
- Excelente acabamento superficial.

A manta moldável, devido a sua habilidade de alta fluidez da resina e rapidez de molhagem em processos de moldagem por transferência de resina, permite produção de peças com excelente qualidade e reduzido tempo de processamento, aumentando a produtividade da linha. Para melhor especificar este produto, segue-se a nomenclatura conforme a Figura 2.1 (OWENS CORNING, 2019).

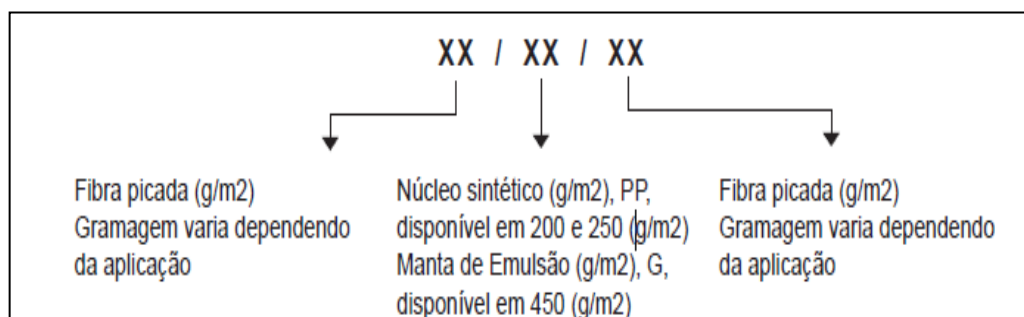


Figura 2.1: Nomenclatura para especificação da manta moldável (OWENS CORNING, 2019).

A Tabela 2.2 lista as configurações disponíveis da manta moldável e suas respectivas propriedades. A manta moldável é desenhada para ser usada como uma camada única de reforço, sendo que nenhuma operação de pré-formagem se faz necessária antes de colocá-la no molde. A espessura da peça final e a quantidade de vidro requerida são fatores decisivos na escolha do material adequado. A proporção de vidro e resina ditará a resistência mecânica da peça como um todo (OWENS CORNING, 2019).

Tabela 2.2: Configurações disponíveis de manta moldável (OWENS CORNING, 2019).

Produto Identificação Global	Gramagem Total (g/m ²)	Peso aproximado (kg)	Largura (cm)
S200/PP200/S200	600	51	125
		64	156
S300/PP200/S300	800	11,5	24
		60	125
		75	156
		108	226
		120	250
S350/PP200/S350	900	63	125
		78,5	156
S350/PP250/S350	950	66,5	125
		83	156
S450/PP200/S450	1100	69	125
		86	156
S450/PP250/S450	1150	69	125
		86	156
		116	210
		138	250
S600/PP250/S600	1450	69	125
		86	156
		138	250
S300/G450/S300	1050	78	125
S900/G450/S100	1450	83	190
S600/G450/S450	1500	90	200
S900/G450/S250	1800	24	50
		12	25
S900/G450/S450	1800	27	50
		108	200

A manta moldável pode geralmente ser manuseada com 35% de carga em moldagem por compressão e 58% de cargas para moldagens por injeção. A espessura do laminado para cada tipo de manta é demonstrada conforme Tabela 2.3.

Tabela 2.3: Espessura do laminado em função do tipo de manta (OWENS CORNING, 2019).

Produto	2,0 mm	2,5 mm	3,0 mm	3,5 mm	4,0 mm	5 – 6 mm
S200/PP200/S200						
S300/PP200/S300						
S350/PP200/S350						
S350/PP250/S350						
S450/PP200/S450						
S450/PP250/S450						
S600/PP250/S600						

2.3 Aditivos em compósitos

Aditivos em polímeros são materiais adicionados como componentes auxiliares com o objetivo de alterar e/ou melhorar as propriedades finais dos materiais. Sua inclusão nas formulações ou composições dos polímeros visa uma ou mais aplicações específicas como, por exemplo, reduzir o custo, modificar e ou melhorar propriedades, facilitar o processamento e colorir. Os principais aditivos para os polímeros são: fibras de reforços ou reforços fibrosos, cargas inorgânicas minerais, plastificantes, lubrificantes, pigmentos, corantes, antioxidantes, antiozonantes, absorvedores de raios ultravioletas, retardantes de chamas, estabilizantes térmicos, agentes de expansão, agentes antiestáticos, agentes aromatizantes, antifungos e modificadores de impacto. Devido à grande diversidade de aplicação dos materiais poliméricos e compósitos é necessário o estudo aprofundado de cada aditivo para a aplicação desejada (DE PAOLI, 2008).

Existem vários aditivos que podem ser adicionados à resina insaturada, dependendo das características que se quer dar ao produto final. Os agentes ultravioletas “UV”– acrilatos e hidroxibenzofenona são compostos que têm a propriedade de absorver as radiações ultravioletas, dissipando sua energia de forma inócua. Inicialmente os raios “UV” atacam as instaurações presentes no polímero causando o amarelamento da resina e posteriormente continua rompendo as ligações originando perdas das propriedades mecânicas (ELEKEIROZ, 2004).

A definição de tixotropia se dá para o fenômeno no qual um colóide muda sua viscosidade, passando de solução para gel ou vice-versa. Os fluidos que apresentam esse comportamento têm como característica principal a dependência da deformação com o tempo de cisalhamento. De acordo com Costa (2017), apresentam uma queda de viscosidade com o tempo quando submetido a uma certa deformação constante. Os agentes tixotrópicos conferem às resinas insaturadas a propriedade de ser aplicado em superfícies verticais sem sofrer escorrimento. Geralmente são aditivos de origem natural, de grande área superficial e de baixa densidade aparente que aumentam a viscosidade da resina enquanto estiver estática e retorna à viscosidade normal após a agitação. Dentre estes agentes o manual destaca a sílica e os asbestos (COSTA,2017; HIDROPLAS,1994).

Os compostos halogenados e alumina tri-hidratada conferem ótimas características retardantes ao fogo, reduzindo a velocidade de propagação da chama, com baixo índice de fumaça e cessando a queima assim que retirada a fonte de calor (ELEKEIROZ, 2004).

Os pigmentos e os corantes possuem a função básica de conferir ao *gel coat* ou à resina, a coloração necessária para obtenção de alta performance de cor e estética especificadas para o produto final. Os pigmentos são compostos de matérias inorgânicas e os corantes, de matérias orgânicas. Os pigmentos são insolúveis na resina poliéster e não deixam passar luz, os corantes são solúveis em poliéster, ambos se dividem em sintéticos e naturais.

Como exemplos de corantes destacam-se o carbonblack e antraquinona e como pigmentos, os óxidos de ferro, cromatos, óxido de antimônio e molibdatos (ELEKEIROZ, 2004).

2.3.1 Cargas minerais em compósitos

Pode-se definir cargas minerais como sendo o uso de minerais em matrizes poliméricas para produção de um compósito, seja termofixo, termoplástico ou elastômero, que modifica uma ou mais propriedades do material puro. A grande maioria das cargas utilizadas atualmente são inertes, ou seja, não desempenha e nem influencia na polimerização e podem atuar como dissipadores de calor. Ao adicionar cargas nos polímeros ocorre um aumento da viscosidade que leva a um maior tempo no processo de moldagem (FACTORI, 2009; GARAY, 2010).

Classificadas como aditivos, as cargas minerais são utilizadas em resinas insaturadas para melhoria de certas características dos produtos tais como a resistência à abrasão, aumento do módulo de elasticidade, dissipação de calor, estabilidade dimensional e redução de custos (ELEKEIROZ, 2004).

Inicialmente as cargas minerais eram utilizadas para reduzir o custo de fabricação dos polímeros, porém com avanços científicos e tecnologia empregada observou que esses elementos além de auxiliar na questão de custo representa um grande papel no ganho de propriedades e características finais dos compósitos (MIRANDA, 2019).

As cargas minerais são usadas principalmente para substituir parte da resina e das fibras de vidro e assim reduzir o custo do produto final. A aplicação de carga mineral no processo de transformação de compósitos de resina poliéster e fibra de vidro, é uma prática muito utilizada. Dentre as cargas mais empregadas, destacam-se o carbonato de cálcio (calcita), talco industrial (agalmatolito), alumina e as microesferas (FACTORI, 2009).

As cargas inorgânicas contribuíram muito para o desenvolvimento de novos materiais pelas indústrias termoplásticas. No princípio as cargas eram adicionadas a fim de reduzir os custos de resinas nas peças, porém com o tempo foi percebendo que além desse benefício essas cargas podem alterar as propriedades dos plásticos. Atualmente milhares de estudos são feitos com o objetivo de descobrir novas configurações, porcentagem de misturas a fim de obter determinada propriedade (YALCIN, B; AMOS, S.E, 2015).

Essas cargas podem beneficiar o material nas seguintes formas:

- Propriedades mecânicas: Adição de fibra de vidro, talco, carbonato de cálcio;
- Propriedades térmicas, elétricas e magnéticas: atuam como modificadores com a adição de carbono preto (carbon black), alumina, nitreto de boro, nanotubos de carbono, grafeno;
- Modificadores de superfície: Adição de sílica, molibdenita, grafite, nitreto de Boro;
- Retardadores de fogo: Adição de hidróxidos metálicos;
- Estabilizantes e melhoria processamento: Adição sílica pirogenada, hidrotalcites.

Até os anos 60, a inserção de cargas nos polímeros para algum tipo de benefício trazia aumento no peso da peça. Por exemplo, a adição de elementos retardadores de chama pode aumentar o peso da peça em até 70%, porém com a descoberta e estudos para as microesferas de vidro modificou esse pensamento de aumento do peso com adição de cargas (YALCIN, B; AMOS, S.E, 2015).

A importância de reduzir o peso final do produto é de grande utilidade para indústrias do transporte, aeroespacial, eletrônicos, esportes e lazer. Por exemplo, segundo Departamento de Energia dos EUA, a redução de 10% no peso significa redução de 7% no consumo de combustível (YALCIN, B; AMOS, S.E, 2015).

Cargas inorgânicas minerais inertes como, por exemplo, o carbonato de cálcio “CaCO₃”, permitem reduzir custo da peça sem afetar propriedades. Guedes & Filkauskas (1986), exemplificam a utilização destes materiais em piso de vinil e cadeiras de jardim em polipropileno “PP”, que contém até 60% de cargas. O uso de fibras (vidro, carbono e boro) ou algumas cargas minerais (talco, mica, caulim, wolastonita) aumentam a resistência mecânica. As cargas fibrosas podem assumir formas de fibras curtas ou longas. O negro de fumo em pneus (borracha) e em filmes para agricultura, polietileno “PE”, aumentam a resistência mecânica e a resistência ao ataque por raios ultravioleta “UV”. Os autores mencionam que aditivos conhecidos como plastificantes podem alterar completamente as características de plásticos como o policloreto de vinila “PVC” e borrachas, tornando-os mais flexíveis e tenazes.

2.3.2 Carbonato de Cálcio – CaCO₃

O carbonato de cálcio (CaCO₃) é um material de fácil acesso e bastante abundante, pois representa 4% da crosta terrestre. Além desse fator essa carga é biocompatível, inodoro e praticamente insolúvel em água. Pode ser encontrado na sua fase amorfa ou hidratada, como por exemplo, carbonato de cálcio monohidratado e carbonato de cálcio hexahidratado respectivamente (MIRANDA, 2019).

Carbonato de cálcio, classificado como um composto inorgânico e de estrutura tetraédrica, o CaCO₃ é resultado da reação entre o CaO (óxido de cálcio) e dióxido de carbono (CO₂). Pode ser encontrado na natureza em duas formas cristalinas, aragonita ou calcita. A forma calcita é a mais conhecida e comum de encontrar e apresentam forma romboédrica ou trigonal (GARAY, 2010; AL OMARI, 2016).

É um material praticamente insolúvel em água, ponto de fusão de 850°C e uma densidade de 2,83 g/cm³. Sua aparência é de pó de coloração branca. Dentre os inúmeros tipos de cargas existentes, o CaCO₃ está entre os mais utilizados devido ao seu baixo custo (GARAY, 2010; WICAKSONO, 2019).

O surgimento e crescimento do CaCO₃ como agente de carga em materiais compósitos se deu pelo avanço das pesquisas nos últimos anos em encontrar materiais especiais para determinadas aplicações. Por ser um produto de baixo custo

sempre é preciso pensar nesse tipo de carga para fabricação de materiais compósitos e como enchimento (WANG, 2017; SCHLICKMANN et al., 2019).

Seu uso se dá em diversos segmentos de indústrias (papel e celulose, tintas, pigmentos, plásticos, borrachas, lubrificantes, cosméticos, farmacêuticas e alimentícia) devido sua capacidade como carga, pigmento, extensor e antiácido dependendo de sua pureza, morfologia, reologia, distribuição granulométrica, área superficial e capacidade de adsorção (ALTINER, 2018 apud MIRANDA, 2019).

Para uma boa interação com a matriz é necessário que a carga possua dimensões da ordem de micro a nanômetros, com geometria predominante esférica. Além dessas características, são encontradas nos compostos CaCO_3 um alto ponto de fusão o que confere o uso do compósito em temperaturas maiores do que se usado somente uma matriz polimérica (SCHLICKMANN et al., 2019).

Wang (2017) mostra em um de seus estudos a incorporação do nanocarbonato de cálcio em fibras vegetais numa matriz de polietileno de alta densidade. No seu estudo a fibra vegetal estudada foi a de bambu e o método de fabricação foi a extrusão. Wang conseguiu observar uma redução o peso do compósito e uma melhor propriedade interfacial entre as amostras estudadas.

Estudos atuais trazem o carbonato de cálcio como ótima alternativa para nanocompósitos como também para peças em tamanho macro devido a facilidade de encontrar essa carga em vários tamanhos de partículas, sua ótima interação com a matriz devido a sua área de superfície, bem como sua morfologia (SCHLICKMANN et al., 2019).

Schlickmann et al. (2019), mostra em seu estudo o efeito da inserção de micro e nano partículas de carbonato de cálcio em uma matriz termoplástica de PVC (polivinilcloro) para aplicação em indústrias devido ao baixo custo de obtenção dessa carga. A partir disso, é mostrado após análises microscópicas que a interação da carga na matriz foi mais eficaz e dispersa quando inserido na escala nano, devido a sua maior área superficial que interage com o polímero da matriz, porém ao usar uma combinação dessas duas escalas de tamanho de partícula obteve um melhor ganho das propriedades térmicas e de interação.

Segundo Jazi (2012) apud Schlickmann (2019), a inserção de cargas nanométricas de CaCO_3 na matriz termoplástica proporciona um ganho notório de cinco vezes no módulo Young e resistência ao impacto, porém provoca uma queda no alongamento.

Miranda (2019) mostrou que a inserção de nanopartículas de carbonato de cálcio em matriz epóxi nas concentrações mássicas de 1% a 5% tornavam os compósitos termicamente estáveis. Além disso na concentração de 3%, o compósito mostrou um aumento de 14°C na sua temperatura de transição vítrea (T_g) e um aumento do módulo de elasticidade de 59% ao ser comparado com a matriz de epóxi pura.

2.3.3 Microesferas ocas de vidro

Desde o início dos tempos, houve um grande esforço para o desenvolvimento de materiais que facilitavam a sobrevivência das espécies, dito isso podemos exemplificar a descoberta do fogo, as rodas, forjas entre outras descobertas (YALCIN, B; AMOS, S.E, 2015).

Com a Revolução Industrial esse desenvolvimento foi despertado por cientistas, engenheiros e estudiosos com o objetivo de aprimorar seus maquinários com maior rendimento e eficiência. A partir disso que aconteceram as substituições de metal, vidro, madeira e até pedras por equipamentos em plásticos e compósitos. Consequentemente a tendência é a evolução e buscar os melhores rendimentos, custos e melhorias para os processos já existentes (YALCIN, B; AMOS, S.E, 2015).

No ano de 1930, a empresa 3M fabricava esferas de vidro para uso em pinturas reflexivas em estradas e iniciava os estudos para as microesferas ocas de vidro, porém seu baixo rendimento fez com que essas pesquisas ficassem em segundo plano. Em 1950 a empresa fabricava folhas reflexivas para o exército francês usando esse mesmo material, porém após uma encomenda de grande volume a empresa não atendeu as especificações de brilho dessas folhas (YALCIN, B; AMOS, S.E, 2015).

Um cientista chamado Warren Beck assumiu então a responsabilidade em analisar o porquê desse material não cumprir os requisitos em grande escala e foi assim que percebeu que existiam microbolhas ocas nessas folhas. Desde então várias pesquisas foram feitas e em 1963 foi registrado o pedido de patente para o produto onde formulava cuidadosamente a fibra de vidro, moendo-o para tamanho e distribuição de tamanho de partículas específico e finalmente reaquecendo para a

formação de microesferas ocas de vidro de parede única (YALCIN, B; AMOS, S.E, 2015).

O uso de microesferas ocas de vidro aumentou em diversos seguimentos desde então têm sido utilizadas em tintas de pintura de asfaltos e placas, na confecção de cartuchos para impressoras, em aplicações automotivas leves, no revestimento e enchimento de carrocerias, sendo incorporadas em espumas e em outros materiais plásticos e compósitos com o objetivo de redução de peso entre outros benefícios (TROFIMOV, 2006; YALCIN, B; AMOS, S.E, 2015).

Reduzindo e substituindo porcentagens de cargas de alta densidade pelas microesferas ocas de vidro, vários estudos constataram a redução da densidade mantendo as propriedades originais do compósito. Por exemplo, termoplásticos a base de olefinas (TPO) contendo grande quantidade de talco foi substituído pelas microesferas ocas de vidro e constatado uma redução de 13% no peso mantendo um equilíbrio aceitável de desempenho e característica de processamento de peças injetadas para a indústria automotiva. A incorporação em polímeros de alta temperatura reduziu em 10% o peso final da peça contribuindo para maior economia em aplicações do setor aeroespacial (DOUMBIA, 2015; YALCIN, B; AMOS, S.E, 2015).

Além do benefício já citado ao longo desse trabalho de redução de densidade, as microesferas ocas de vidro contribuem para os materiais termoplásticos como benefício de produtividade através de taxas de resfriamento mais rápidas, estabilidade dimensional, aumento módulo rigidez e resistência a distorção por calor, condutividade térmica e constante dielétrica reduzida (ZHU, 2013; YALCIN, B; AMOS, S.E, 2015).

Segundo Yalcin e Amos (2015) as microesferas ocas de vidro aumentam a taxa de resfriamento das peças termoplásticas através de seu efeito na difusividade térmica. O aumento da porcentagem em peso de microesfera, conforme dito, diminui a densidade do compósito e também a capacidade calor específico, que por sua vez aumenta a difusividade térmica e consequentemente sua taxa de resfriamento.

Outro estudo realizado e com resultados satisfatórios foram a redução da taxa de resfriamento em perfis extrudados de compósitos de madeira na presença de microesferas ocas de vidro, reduzindo a massa térmica total. A melhora significativa dessa taxa aumenta a produtividade da máquina e do operador proporcionando economia de custos (YALCIN, B; AMOS, S.E, 2015).

A utilização de microesferas ocas de vidro em sistemas de isolamento foi estudada por Allen (2003) e testadas na NASA, onde foi observado que o material possui bom desempenho em vácuo além das já conhecidas propriedades de baixa densidade, dureza alta e não inflamável. As microesferas tiveram um melhor desempenho em comparação a revestimentos com perlita, pelo fato de não sofrerem com compactação característicos a estes revestimentos e ganho econômico pelo fato de diminuir as manutenções (ALLEN, 2003).

Microesferas ocas de vidro são amplamente utilizadas como cargas de núcleo em materiais compósitos devido suas diversas propriedades que trazem benefícios em todas as áreas de utilização desse material, ganhando cada vez mais espaço nas indústrias automotivas, aeronáutica e marítimas pela sua leveza aliada com grandes propriedades mecânicas (PEREIRA, 2019).

As microesferas ocas de vidro têm formato esféricos com diâmetro médio de 15 μm a 65 μm e paredes de 0,5 μm a 1,5 μm de espessura. Devido à presença no seu interior de um gás inerte, dá origem a compósitos de baixa densidade, baixa condutividade elétrica e uma constante dielétrica baixa. A incorporação de microesferas de vidro nos compósitos é promissora na busca por baixa densidade e pelo aumento do módulo de Young. A incorporação desse tipo de carga nos polímeros, visa obter um material de baixa massa por meio de vários processos de fabricação como injeção, extrusão, moldagem (CUNHA, 2015; LEE, 2017).

De acordo com a Associação Brasileira de Materiais Compósitos (ABMACO, 2004), para se produzir massas de acabamento leves e fáceis de lixar, são usados espessantes conhecidos como microesferas. No preparo de massas com esse tipo de material, a quantidade de espessantes deve ser suficiente para dar a consistência necessária para o local de aplicação, seja em superfícies verticais ou horizontais. As microesferas ocas possuem uma densidade muito baixa e produzem massas de excelente qualidade. As microesferas mais conhecidas são as ocas de vidro (*glass bubbles*), que são fornecidas com uma variada quantidade de tamanhos de partículas. Sendo significativamente mais baratas que as de resina fenólica, são preferidas por muitos construtores. Estas são fabricadas a partir de vidro tipo C e têm tamanhos de partículas que variam de 40 μm a 80 μm e uma densidade de 0,230 g/cm^3 . Já as microesferas fenólicas são um tipo de carga pouco conhecida pelos construtores, embora muito utilizadas por profissionais que constroem barcos de

regata, e que, como o próprio nome diz, são derivadas de resina fenólica (ABMACO, 2004).

Xie et al. (2011), partindo das microesferas de vidro S38 e k25, registradas pela 3M e encontradas comercialmente no mercado, descobriram uma rota de fabricação para microesferas de vidro porosas de forma simples e que podem ser fabricadas em larga escala. Esse estudo teve como objetivo usar as microesferas de vidro porosas como aditivos de baterias chumbo-ácido.

Elas têm uma cor marrom avermelhada, são extremamente leves e utilizadas preferencialmente com resina epóxi, pois alguns tipos de resina poliéster, com alto teor de monômero de estireno, podem provocar ataque químico e o colapso das partículas. É importante manter este produto em lugares secos pois estas microesferas absorvem umidade rapidamente. Os tamanhos das partículas estão na faixa de 50 μm e sua densidade média é de 0,250 g/cm^3 (ABMACO, 2004).

Segundo Aruniit et al. (2012) apud (CUNHA, 2015), as microesferas vêm sendo aplicadas na indústria automobilística pela redução da densidade de peças e redução do encolhimento das peças fabricadas. Yalcin et. al (2012) observou uma redução no empenamento e de rechupes em placas de polipropileno além de uma melhora em cantos vivos de placas extrudadas.

De acordo com Coose et al. (2019), nos compósitos de polímeros com microesferas ocas de vidro as condições de processamento, concomitante a quantidade e tamanho das partículas, mais as interações delas com a matriz polimérica, interferem diretamente no estabelecimento das propriedades, pois afeta a dispersão e distribuição destes elementos. Posto isso, a troca de certas cargas pelas microesferas ocas de vidro têm sido uma ideia instigante e alguns trabalhos trazem os resultados nas propriedades mecânicas e físicas de compósitos submetidos a vários meios de processamento.

As utilizações das microesferas de vidro na indústria em geral foram impulsionadas pela necessidade de utilizar materiais cada vez mais resistentes, rígidos e alta resistência ao impacto com baixa densidade. Nos últimos anos as preocupações ambientais estão sendo um desafio para a indústria automobilística devido a emissão de poluentes e reciclabilidade dos componentes, essa preocupação faz com que a redução de peso seja requerida nesses casos (CUNHA et al, 2018).

A mistura de microesferas ocas de vidro em matriz polimérica insaturada poliéster traz um decréscimo na resistência a tração na medida que aumenta a

proporção em peso de microesferas de vidro. A adição dessa carga também traz implicação na dureza do compósito, onde se observou uma queda nessa propriedade. Essas duas propriedades devem ser amplamente estudadas pois são muito requeridas quando o material está em serviço (ARUNIIT, 2012)

Cunha et al. (2018) mostra em seu estudo que as adições de 5% em peso de microesferas ocas de vidro resultaram em uma diminuição de 12,5% na densidade final da peça. Cunha et al. (2018) também mostra que a resistência ao impacto de amostra de microesferas ocas de vidro em matriz ABS diminui se comparada apenas com a resistência do ABS puro, isso pelo fato que as microesferas trazem fragilidade para o compósito.

Segundo Yung et al. (2009) apud (CUNHA, 2015) ao acrescentar as cargas de microesferas de vidro no material, o mesmo sofre alterações nas propriedades que é essencial para sua utilização. Verificaram que a temperatura de transição vítrea T_g no compósito de matriz epóxi incorporadas com microesferas aumentava de acordo com o percentual incorporado de carga, que no estudo variava de 10% a 50%, isso se deve pela restrição que a incorporação das cargas causa na mobilidade da cadeia polimérica. Essa verificação de restrição da mobilidade também foi estudada e mostrada nos trabalhos de Li, Luo e Lin (2013) apud (CUNHA, 2015).

Vignali (2019) realizou estudo com compósito com superfície modificada com microesfera de vidro maciça em processos de moldagem rotacional e observou que as microesferas de vidro se mostraram bem aderidas e dispersas na matriz polimérica. As microesferas afetaram as propriedades mecânicas aumentando a rigidez do material causados pela maior dureza das microesferas. Foi observado um aumento no módulo de Young e diminuição no alongamento na ruptura.

Uma nova área de estudo que pode ser beneficiado com as microesferas de vidros é de auto cicatrização "*self-healing*". Esse termo é nada mais que a capacidade que um material tem em se recuperar ou reparar uma falha automaticamente e sem interferência externa. Zhang (2014) mostra no seu estudo a inserção de uma solução de epóxi e amina no interior das microesferas de vidro para realização de auto cicatrização em matrizes epóxis quando estas iniciem uma trinca ou até mesmo uma falha. Zhang (2014) observou que a maior eficiência de cicatrização foi de 62% e atingido depois de 24h e em uma temperatura de 50°C. Outra observação foi que a tenacidade a fratura foi aprimorada e o módulo de elasticidade permanece constante e a resistência a tração foi deteriorada com a

inclusão dos agentes dentro das microesferas (GHOSH, 2009 apud GAMBI, 2019; ZHANG, 2014)

As esferas plásticas, também conhecidas como esferas termoplásticas são, sem dúvida alguma, os tipos mais exóticos de espessantes que se pode trabalhar, por serem mais fáceis de lixar e mais leves também. É possível fazer massas com um peso 20% menor que aquelas produzidas com esferas fenólicas ou de vidro, que por sua vez já são muitas vezes mais leves que aquelas produzidas com talcos e carbonato de cálcio. O tamanho médio das partículas é de 50 μm para uma densidade de 0,075 g/cm^3 (NASSEH, 2011).

Mais recentemente Berman et al. (2021) realizaram estudos relacionados às propriedades mecânicas e físicas de compósitos híbridos produzidos com cargas de carbonato de cálcio e microesferas ocas de vidro pelo processo “*Sheet Molding Compound (SMC)*” para aplicação na indústria automotiva e obtiveram materiais de baixa densidade, na ordem de 0,98 g/cm^3 e com aceitáveis valores em suas propriedades.

2.4 Processos de fabricação para compósitos

Os compósitos a base de resina poliéster e fibra de vidro podem ser fabricados por vários processos. A escolha do processo depende de vários fatores, dentre estes destacam-se a forma do produto e a quantidade diária a ser produzida. A Figura 2.2 apresenta os processos de fabricação levando-se em consideração a proporção da quantidade em peso de peças transformadas (ALMACO, 2017).

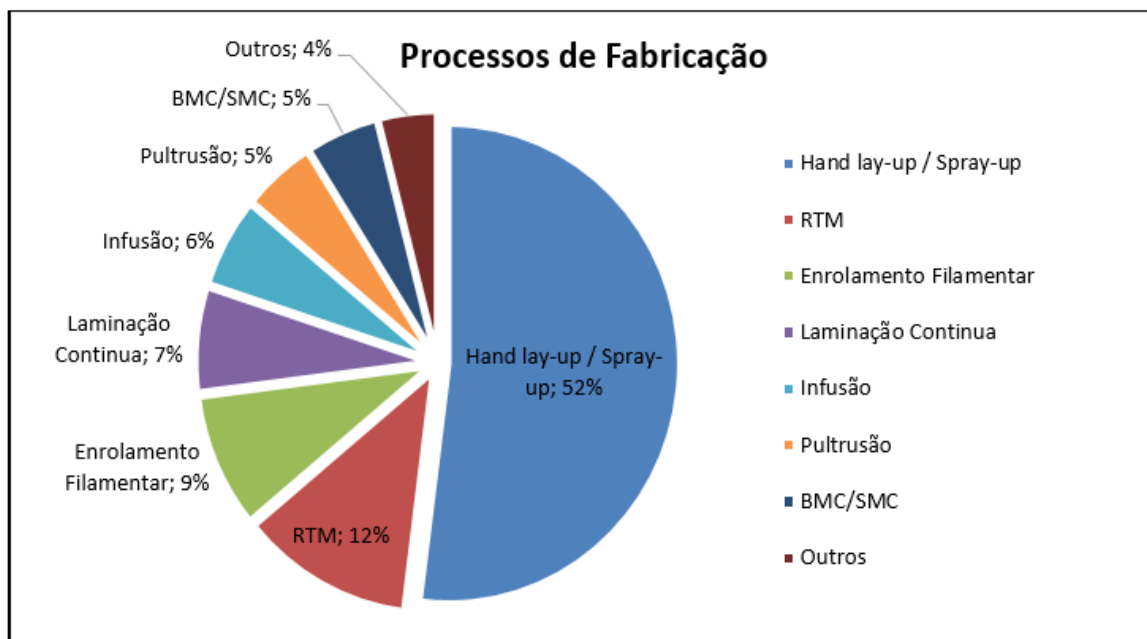


Figura 2.2: Participação dos processos de fabricação para compósitos (ALMACO, 2017).

A nível mundial, os processos de moldagem por projeção simultânea (*spray-up*), moldagem por contato manual (*hand lay-up*) e moldagem por transferência de resina (RTM), somam juntos 64% de toda a quantidade em peso das peças produzidas em compósitos a base de resina poliéster e fibras de vidro.

2.4.1 Moldagem por contato manual “*Hand lay-up*”

O processo de moldagem por contato manual “HLU” pode ser utilizado para a produção de peças de vários tamanhos como, por exemplo, peças técnicas de pequena, média e elevada área de laminação, como em piscinas com áreas de laminação até 150 m². Entretanto, este método é geralmente limitado à fabricação de peças com formatos relativamente simples e que requerem somente uma face com aparência lisa (a outra face é rugosa devido à moldagem). É indicado para volumes pequenos e médios de produção, e apresenta baixo investimento em equipamentos (OWENS CORNING, 2019).

A moldagem por contato manual consiste em aplicar sucessivamente dentro do molde:

- um agente desmoldante;

- uma camada de gel;
- uma camada de reforço (vidro, aramida, carbono) na forma de manta, de fios picados ou de tecido roving;
- uma camada de resina líquida termofixa, com viscosidade entre 300 cP e 400 cP, e com média reatividade, e impregnar o reforço com as mãos com o auxílio de um rolete ou pincel.

Esta operação se repete tanto quanto for necessário, até se obter a espessura desejada da estrutura, conforme mostra a Figura 2.3.

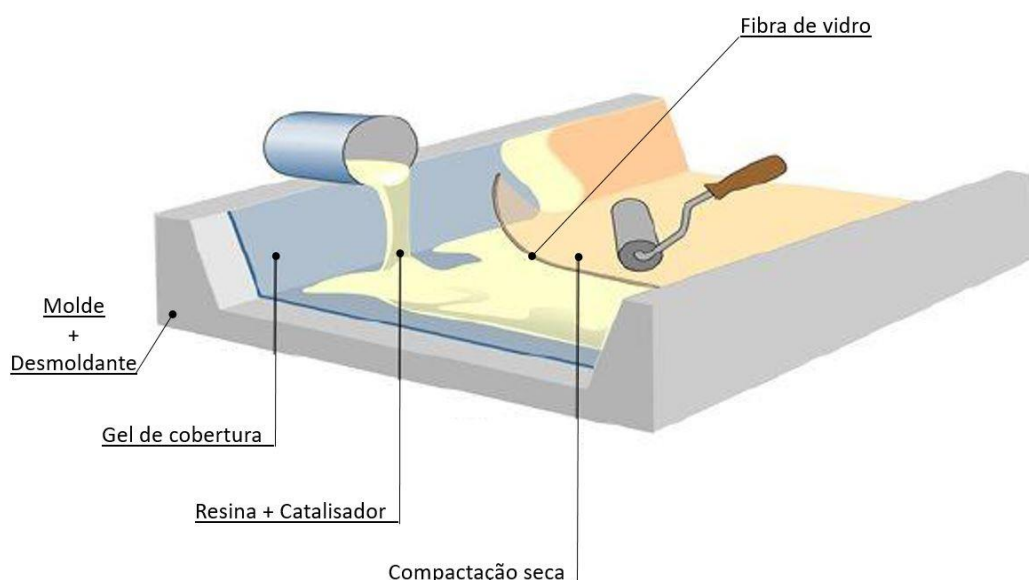


Figura 2.3: Esquema de moldagem pelo processo “HLU” (POLIYA, 2019).

2.4.2 Moldagem por projeção simultânea “*Spray-up*”

A moldagem por projeção simultânea “*SPRAY-UP*” é derivada da moldagem por contato manual e é particularmente conveniente para peças de tamanho médio e grande com formatos simples, apresentando apenas uma face regular. Como exemplo de peças que utilizam este processo, temos: cascos de lanchas e barcos a vela, piscinas, coberturas, tampas para tanques de grandes

diâmetros e banheiras de acrílico reforçado. A produtividade é maior comparável à moldagem por contato manual, principalmente para as peças com maior área de laminação (OWENS CORNING, 2019).

A moldagem por projeção simultânea consiste em aplicar sucessivamente dentro do molde:

- um agente desmoldante;
- uma camada de gel.

A diferença em relação à moldagem manual começa na aplicação da resina. O processo consiste em projetar simultaneamente sobre o molde fios de vidro picados, normalmente com 30 mm de comprimento, e a resina necessária para sua impregnação. Após a projeção, é necessário fazer-se a laminação manual para compactar a mistura de vidro-resina no molde e, se possível, eliminar as bolhas de ar produzidas pelo sistema de projeção, conforme mostra a Figura 2.4. A máquina de projeção geralmente consiste em:

- um triturador de vidro movido por ar comprimido;
- uma bomba pneumática para alimentar resina na pistola de projeção;
- um sistema com solvente para limpar a pistola.

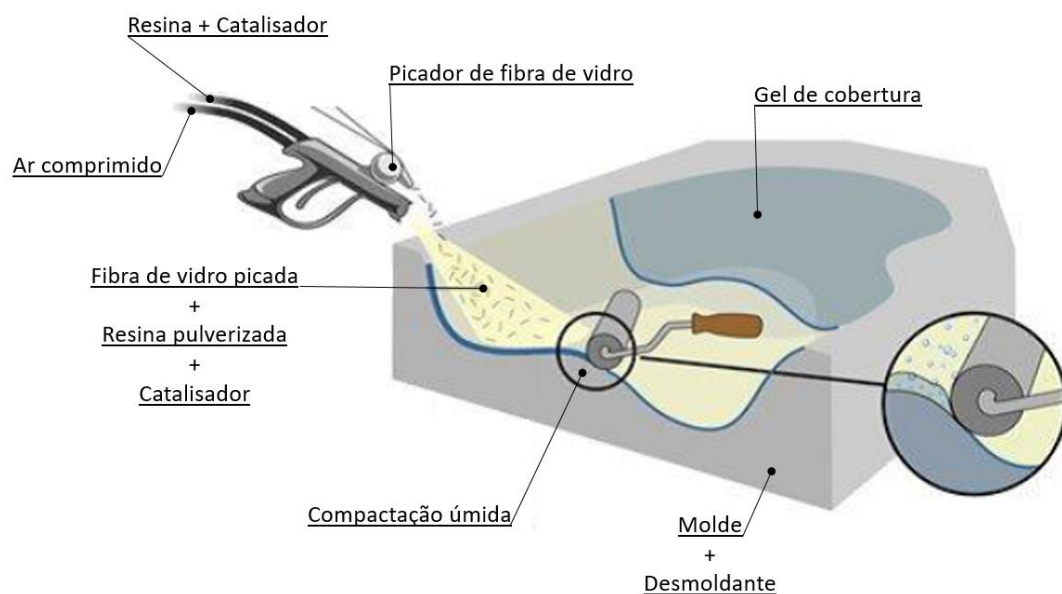


Figura 2.4: Esquema de moldagem pelo processo "SPRAY-UP" (POLIYA, 2019).

2.4.3 Moldagem por injeção de resina “RTM”

O processo de injeção de resina “RTM - *Resin Transfer Moulding*” permite a moldagem de componentes com forma complexa e área de superfície grande com bom acabamento de superfície em ambos os lados. É adequado para a fabricação de peças de pequeno e médio porte, com largo emprego em peças com diferentes aplicações em transportes, como cabines de caminhão (OWENS CORNING, 2019).

Este processo consiste em preencher a cavidade de um molde, rígido e fechado, injetando uma resina por um ou vários pontos, dependendo do tamanho do componente. Os reforços de fibras de vidro, em forma de mantas, são colocados no interior do molde previamente, antes de fechar e travá-lo firmemente, conforme mostra a Figura 2.5. Normalmente são usadas resinas de poliéster, epóxi, fenólicas e acrílicas para o preenchimento. Tipos diferentes de modelos podem ser usados dependendo da quantidade de produção esperada. O calor pode ser aplicado ao molde para encurtar o tempo de cura. Em tais casos o uso de moldes de aço pode ser necessário. Podem ser usados resinas de baixa retração com estes moldes para melhorar o acabamento da superfície e aparência. Alternativamente, pode-se utilizar o RTM de baixa pressão, pois permite baixar custos, tanto no investimento de molde e equipamentos, quanto na fabricação de peças (OWENS CORNING, 2019).

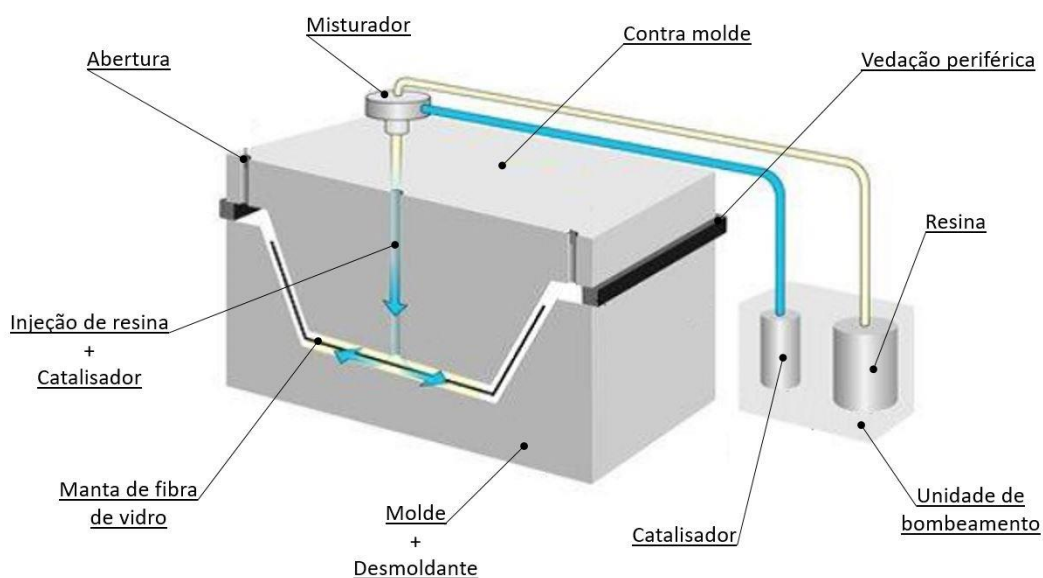


Figura 2.5: Esquema de moldagem pelo processo “RTM” (POLIYA, 2019).

Amplamente utilizado ao nível industrial, o “RTM” ou Moldagem por Injeção de Resina oferece muitas vantagens na fabricação de produtos poliméricos como, por exemplo, a redução de custos. Além disso, este processo não agride o meio ambiente, já que é executado hermeticamente, permitindo inclusive uma nítida melhoria das condições de higiene do trabalho (HIDROPLAS, 1994).

Segundo a mesma fonte, inicialmente o “RTM” era chamado de injeção de resina líquida, utilizando a pressão hidrostática assistida por vácuo ou a pressão transmitida por uma ou duas bombas volumétricas, para transmitir a resina para o molde. A utilização da técnica de injeção de resina líquida, para a obtenção de peças em plásticos reforçados e em grande série, é amplamente aplicada ao nível industrial. Em todas as tecnologias onde somente a resina líquida está em movimento no molde, há reforços específicos, tais como as mantas com núcleo para escoamento da resina, mantas de fio contínuo e os tecidos de fibra de vidro.

Todos os tipos de resinas de baixa viscosidade podem ser utilizados e modificados para a obtenção de certas características particulares sobre os materiais obtidos como, por exemplo, melhor resistência ao fogo, características mecânicas elevadas ou melhorias da qualidade na superfície do produto (ELEKEIROZ, 2004).

O processo de injeção oferece vantagens na obtenção de peças com duas faces lisas, uma boa reprodutibilidade, respeitando as qualidades das matérias-primas dispostas em execução. Peças com dimensões e formas variadas podem ser obtidas simultaneamente com a mesma máquina de injeção. As condições de higiene do trabalho são nitidamente melhoradas, já que as resinas não estão em contato direto com o ambiente nem com os operadores. Estando em conformidade com os requisitos de segurança do trabalho, traz a solução do problema de emissão de estireno na atmosfera, já que todas as operações ocorrem em vaso fechado. (HIDROPLAS, 1994).

As características mecânicas do material estão diretamente ligadas ao tipo e à porcentagem do reforço utilizado. As taxas de fibra de vidro aplicadas neste processo estão compreendidas entre 12 e 50% em volume, que corresponde a 23 e 68% em peso, com uma resina de densidade $1,2 \text{ g/cm}^3$ e por uma densidade do vidro de $2,6 \text{ g/cm}^3$. Essas participações serão obtidas escolhendo o tipo de reforço adequado, seja manta, seja tecido, ou a combinação dos dois (OWENS CORNING, 2019).

3 MATERIAIS E METODOS

3.1 Confeções de corpos de prova

Seguindo-se a linha de pesquisa Processos de Fabricação, do curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica este trabalho propõe estudar os efeitos da inclusão de microesferas ocas de vidro em compósitos à base de resina poliéster insaturada e fibra de vidro provenientes dos processos de fabricação: Moldagem por contato manual “*Hand lay-up*”, moldagem por projeção simultânea “*Spray-up*” e moldagem por injeção de resina “*Resin Transfer Moulding – RTM*”.

Inicialmente estudou-se os tipos de corpos de prova que seriam necessários para a realização dos ensaios pretendidos.

Dentre os ensaios previstos para cada tipo de mistura destacam-se:

- Ensaio da densidade da mistura antes da catálise;
- Ensaio da densidade da mistura após a catálise;
- Ensaio da densidade do compósito (mistura mais fibra de vidro);
- Ensaio de contração dimensional pós cura;
- Ensaio de viscosidade da mistura;
- Ensaio do módulo de elasticidade à torção – G;
- Ensaio do coeficiente de atrito dinâmico – COF;
- Ensaio de tração;
- Ensaio de flexão;
- Ensaio de impacto;
- Ensaio de dureza;
- Ensaio de condutividade térmica;
- Ensaio de absorção sonora;
- Ensaio de absorção de água;
- Ensaio de propagação de chamas;
- Análise microestrutural do compósito;
- Análise operacional ao processo produtivo;
- Análise de viabilidade econômica.

Optou-se pela construção de três tipos geométricos de corpos de prova de modo a atender os procedimentos e as necessidades das normas referentes às dimensões e quantidades a serem utilizadas. O primeiro tipo foi a forma cilíndrica de diâmetro 5,0 mm por um comprimento de 130,0 mm, constituído apenas de resina poliéster insaturada e aditivos para a realização dos ensaios do módulo de elasticidade à torção – G.

Um segundo tipo também na forma cilíndrica de diâmetro 30,0 mm por comprimento de 70,0 mm constituído apenas da mistura de resina e aditivos, sendo que através de um processo de corte por usinagem foram retiradas fatias de espessuras 5,0 mm de modo a permitir a realização dos ensaios do coeficiente de atrito dinâmico – COF.

Por fim, um terceiro tipo no formato de placas na espessura de 3,2 mm por comprimento de 500 mm e largura de 500 mm de modo a atender as dimensões necessárias para se construir os corpos de prova. Dessa forma, pode-se simular a situação real de um compósito de resina poliéster insaturada com os aditivos e agora associado às fibras de vidro, que representam a parte estruturante dos compósitos.

3.1.1 Corpo de prova – Tipo I

Para uma melhor adequação aos equipamentos de ensaios do Laboratório de Física do campus da Unesp de Bauru, determinou-se a necessidade de confeccionar corpos de prova na forma de um cilindro de diâmetro 5,0 mm por comprimento de 130,0 mm.

Para garantir a padronização dimensional dos corpos de prova, construiu-se um molde em resina poliéster, reforçado com fibra de vidro e com a superfície em gel “coat” isoftálico para garantir uma superfície lisa nos corpos de prova. Este molde possui as dimensões 120 mm x 220 mm x 80 mm e possui um orifício de diâmetro 5,0 mm e guias para a abertura em duas partes para a retirada dos corpos de prova, conforme ilustrada a Figura 3.1.

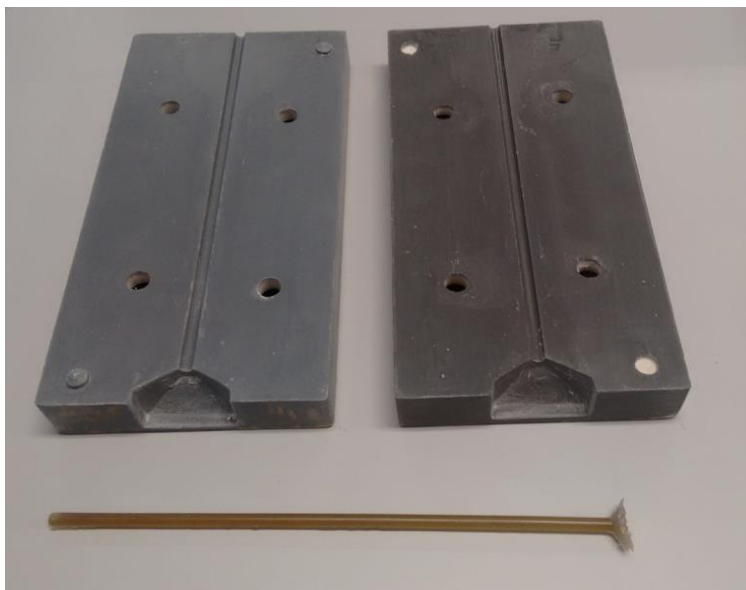


Figura 3.1: Corpo de prova Tipo I juntamente com o seu molde de reprodução.

3.1.2 Corpo de prova – Tipo II

Mediante às necessidades dos equipamentos utilizados para a determinação do coeficiente de atrito dinâmico do Laboratório de Física do campus da Unesp de Bauru, utilizou-se como molde um tubo de PVC - Policloreto de vinila de diâmetro interno 30,0 mm e comprimento 70 mm. Tampando-se uma das aberturas do tubo foi possível sua utilização como molde para a fabricação de tarugos em resina poliéster insaturada com aditivos nas dimensões acima citadas. Posteriormente, destes tarugos fabricados, foram retirados os corpos de prova na forma de disco com diâmetro 30,0 mm e altura de 5,0 mm.



Figura 3.2: Corpo de prova Tipo II. Molde em PVC, tarugo e disco.

3.1.3 Corpo de prova – Tipo III

Diante da necessidade de se construir placas de compósitos de resina poliéster insaturada e seus aditivos associados às fibras de vidro, nas condições reais dos processos de fabricação em estudos, foi construído um molde metálico nas dimensões de 500 mm por 500 mm constituído de duas superfícies planas e calibrado com guias de fechamento para a obtenção de placas com espessura 3,2 mm, conforme ilustrado na Figura 3.3.



Figura 3.3: Molde metálico para a fabricação de amostras de corpos de prova Tipo III.

O processo para a obtenção das placas se dá por prensagem, mediante o posicionamento da manta em fibra de vidro em uma das superfícies e o derramamento da resina poliéster sobre esta manta seguido do fechamento da outra parte do molde, com o auxílio de grampos de aperto. O excesso de resina é direcionado para fora da superfície de prensagem para garantir o controle da espessura e após a polimerização

da resina obtém-se a placa que servirá para a extração dos corpos de prova que serão utilizados nos ensaios previstos.

O molde para a fabricação dos corpos de prova, bem como a fabricação dos corpos de prova, foi construído nos laboratórios das empresas do Grupo Caio.

3.2 Materiais

Para a fabricação dos corpos de prova dos tipos I, II e III, utilizou-se os materiais citados abaixo:

-Resina poliéster insaturada produzida pela empresa Ashland sob referência comercial Arazyn 13.0, cujas características técnicas estão descritas no Anexo A. O catalisador recomendado pelo fabricante é o peróxido de acetilacetona (AAP), comercializado pela mesma empresa.

A composição dos corpos de provas variou de acordo com o tipo e o percentual de carga adicionado. As cargas utilizadas nas resinas foram:

-MOV, fabricada pela empresa 3M do Brasil sob referência comercial *Glass Bubbles* S-22. A matéria prima utilizada para a sua confecção é o Borosilicato de Sódio e Cálcio, apresentando densidade $0,22 \text{ g/cm}^3$ e diâmetro médio de $65 \text{ }\mu\text{m}$. Suas utilizações seguiram conforme a variação da porcentagem em massa, sendo 2 partes de MOV para cada 100 partes de resina e chegando até 20 partes de MOV para 100 partes de resina, sempre acrescidas de 2 partes de cada vez. A definição do limite superior em 20 partes de MOV se deve ao fato de que a mistura nesta condição apresentar uma viscosidade elevada, com aspecto pastoso e notoriamente impraticável sua utilização nos processos produtivos citados neste trabalho. Adotou-se a quantidade de dez corpos de prova entre o limite extremo e o valor referencial correspondente a resina sem a adição de cargas, chegando ao intervalo de 2 partes de MOV entre cada corpo de prova.

-Carbonato de cálcio, também conhecido como calcita, é um dos minerais mais abundantes na natureza. É uma substância química de fórmula CaCO_3 e o principal componente de rochas como os calcários. Tem características alcalinas, ou

seja, é um sal com características básicas que aumenta o pH de uma solução aquosa e é resultado da reação do óxido de cálcio, cal virgem, com dióxido de carbono. O carbonato de cálcio é uma substância mineral, inorgânica, beneficiada, que pode ser utilizada em diversas áreas.

O uso deste tipo de carga é habitual nos meios produtivos entre os processos de fabricação citados neste trabalho por isso foi decidido construir placas com este tipo de carga com a variação percentual em massa na mistura a cada 5 partes de CaCO_3 para cada 100 partes de resina, chegando até o limite superior de 50 partes de CaCO_3 para cada 100 partes de resina, condição esta em que a mistura também assume uma viscosidade elevada com aparência pastosa e notoriamente impraticável sua utilização nos processos produtivos citados neste trabalho. Sua granulometria é classificada em malha 325 *mesch* e sua densidade está entre 2,70 a 2,85 g/cm³. Adotou-se a quantidade de dez corpos de prova entre o limite extremo e o valor referencial correspondente a resina sem a adição de cargas, chegando ao intervalo de 5 partes de CaCO_3 entre cada corpo de prova.

Especificamente para a confecção dos corpos de prova do tipo III, incorporou-se a cada tipo de mistura de resina e seu aditivo, uma manta moldável de fibra de vidro MM S300/PP200/S300 específica para o processo RTM e produzida pela Owens Corning conforme especificação já descrita no capítulo 2.2.3. A opção por este tipo de manta é devido ao seu núcleo espaçador que proporciona um maior fluxo de resina, enquanto as fibras de vidro conferem excelentes propriedades mecânicas ao laminado. Sua massa por área é formada pela soma das massas das camadas externas de fibra de vidro e a massa do núcleo, totalizando a massa de 800 g/m².

A Tabela 3.1 mostra as composições da mistura de resina utilizadas para a fabricação dos corpos de prova do tipo I, II e III.

Tabela 3.1: Composição da mistura da resina e aditivos nos corpos de prova tipo I, II e III.

Composição da Mistura: Resina com Aditivos						
Corpo de Prova	Resina Poliéster Insaturada		Microesfera Oca de Vidro		Carbonato de Cálcio	
	Parte em Massa	Porcentagem (%)	Parte em Massa	Porcentagem (%)	Parte em Massa	Porcentagem (%)
CP -00	100	100,00	---	---	---	---
CP -01	100	98,04	2	1,96	---	---
CP -02	100	96,15	4	3,85	---	---
CP -03	100	94,34	6	5,66	---	---
CP -04	100	92,59	8	7,41	---	---
CP -05	100	90,91	10	9,09	---	---
CP -06	100	89,29	12	10,71	---	---
CP -07	100	87,72	14	12,28	---	---
CP -08	100	86,21	16	13,79	---	---
CP -09	100	84,75	18	15,25	---	---
CP -10	100	83,33	20	16,67	---	---
CP -11	100	95,24	---	---	5	4,76
CP -12	100	90,91	---	---	10	9,09
CP -13	100	86,96	---	---	15	13,04
CP -14	100	83,33	---	---	20	16,67
CP -15	100	80,00	---	---	25	20,00
CP -16	100	76,92	---	---	30	23,08
CP -17	100	74,07	---	---	35	25,93
CP -18	100	71,43	---	---	40	28,57
CP -19	100	68,97	---	---	45	31,03
CP -20	100	66,67	---	---	50	33,33

O corpo de prova CP-00 foi construído com 100% de resina, e foi adotado como referência. A adoção do CP-00 como referência ao demais corpos de prova se deve ao fato dos processos de fabricação “HLU” e “SPRAY-UP” não utilizarem aditivos de cargas em seus processamentos. Nesta oportunidade, o processo “RTM” que utiliza o aditivo de carga mineral de CaCO_3 também será comparado na condição de 100% de resina em seu processamento.

Na elaboração da mistura, adotou-se como referência a massa da resina como 100 partes em massa e sobre este valor foram adicionadas as parcelas de

cargas correspondentes a cada tipo de corpo de prova confeccionado. No caso do CP-01, o primeiro em receber o aditivo misturado a resina, para cada 100 gramas de resina foram adicionadas 2 gramas de MOV.

Fazendo uma análise no percentual da massa de cada componente após a mistura, teremos 100 gramas de resina e 2 gramas de MOV em um total de 102 gramas de mistura, isso equivale a um percentual de 98,04% de resina e respectivamente 1,96% de MOV na composição da mistura. O mesmo raciocínio é válido para a determinação das porcentagens das massas de cada componente da mistura para os demais corpos de prova construídos.

Do CP-01 ao CP-10 foram acrescentadas MOV variando-se de 2 em 2 partes em massa para cada 100 partes em massa de resina. Em função de sua baixa densidade, uma composição acima de 20 partes em massa representa uma mistura pastosa, com pouco uso no processo de fabricação de peças em compósitos pelos processos “HLU”, “*SPRAY-UP*” e “RTM”, motivo pelo qual optou-se em não estudar seus efeitos na composição das misturas.

Do CP-11 ao CP-20 foram acrescentados CaCO_3 variando-se de 5 em 5 partes em massa para cada 100 partes em massa de resina. Em função de sua elevada densidade, uma composição acima de 50 partes em massa representa uma mistura pastosa, com pouco uso nos processos de fabricação de peças em compósitos pelos processos “HLU”, “*SPRAY UP*” e “RTM”, motivo pelo qual optou-se em não estudar seus efeitos na composição das misturas.

A massa do catalizador APP utilizada para promover a polimerização da resina, representa 1% da massa da resina empregada nos ensaios. Desta forma, ao longo deste trabalho, quando for reportado a massa de resina utilizada para um determinado ensaio, o catalizador está sendo considerado como parte integrante da massa de resina a qual está sendo referenciada.

3.3 Normas para confecção dos corpos de prova

Na sequência do trabalho foram pesquisadas as normas pertinentes a cada ensaio a ser realizado para retirada das amostras dos corpos de prova de cada placa

construída do tipo III. As normas selecionadas e utilizadas para a obtenção de cada corpo de prova foram:

- Ensaio de tração: Os corpos de prova destinados a este tipo de ensaio seguiram a norma ASTM D638. Foram retiradas de cada placa de ensaio seis corpos de prova longitudinais e seis transversais.

- Ensaio de flexão: Os corpos de prova destinados a este tipo de ensaio seguiram a norma ASTM D790. Foram retiradas de cada placa de ensaio seis corpos de prova longitudinais e seis transversais.

- Ensaio de impacto: Os corpos de prova destinados a este tipo de ensaio seguiram a norma ASTM D256. Foram retiradas de cada placa de ensaio seis corpos de prova longitudinais e seis transversais.

- Ensaio de dureza: Os corpos de prova destinados a este tipo de ensaio seguiram a norma ASTM 2583. Foi retirado de cada placa um corpo de prova na dimensão de 150 mm por 150 mm para a realização dos ensaios.

- Ensaio de condutividade térmica: Os corpos de prova destinados a este tipo de ensaio seguiram a norma ASTM C518. Foram retiradas de cada placa de ensaio cinco corpos de prova de diâmetro 50 mm para a realização dos ensaios.

- Ensaio de absorção sonora: Os corpos de prova destinados a este tipo de ensaio seguiram a norma ASTM E1050. Foi retirado de cada placa um corpo de prova de diâmetro 100 mm para a realização dos ensaios.

- Ensaio de absorção de água: O corpo de prova destinados a este tipo de ensaio seguiram a norma ASTM D570. Foi retirado de cada placa um corpo de prova na dimensão de 150 mm por 150 mm para a realização dos ensaios.

- Ensaio de propagação de chamas: Os corpos de prova destinados a este tipo de ensaio foram feitos em conformidade a norma UL-90. Foi retirado de cada placa um corpo de prova na dimensão de 130 mm por 20 mm para a realização dos ensaios.

Para um melhor aproveitamento da retirada de amostras de cada placa de corpo de prova do tipo III, foi elaborado um plano de corte. Através de um desenho elaborado em software auto-CAD foi possível organizar todas as amostras e gerar um arquivo que serviu de referência para o envio das informações a uma máquina de corte por jato de água. Conforme a Figura 3.4 pode-se observar o *lay out* das amostras retiradas de cada placa.

O equipamento utilizado foi a máquina modelo BB – GANTRY BRIDGE, fabricado pela DARDI e pertencente a empresa TECGLASS, conforme ilustrado na Figura 3.5. Esta empresa está localizada na região de Botucatu e atua no seguimento de corte e têmpera de vidros planos para diversos segmentos industriais.



Figura 3.5: Máquina de corte com jato d'água modelo BB – GANTRY BRIDGE - DARDI.

Após todas as placas serem cortadas, efetuou-se o destacamento e identificação das amostras correspondente a cada tipo de ensaio a ser realizado, concluindo-se assim os trabalhos de obtenção das amostras e preparação para a fase subsequente que é a realização dos ensaios.

3.4 Realização de ensaios e análises

Em contato com a empresa 3M do Brasil, fabricante das microesferas ocas de vidros, também conhecida comercialmente como “*Glass Bubbles*”, e mediante a apresentação da proposta deste trabalho utilizando seus produtos, a mesma demonstrou interesse em participar e colaborar nas realizações dos ensaios por conta da ampliação de conhecimentos e possibilidades de utilização de seus produtos em novos mercados.

Assim sendo, parte dos ensaios deste trabalho foram realizados nos laboratórios da empresa 3M do Brasil, sendo que alguns foram efetuados no exterior.

Outros ensaios foram realizados nos laboratórios das empresas do Grupo Caio, empresa líder no mercado de transporte coletivos urbanos e que utiliza compósitos de resina poliéster reforçada com fibra de vidro em seus produtos e que constantemente realiza pesquisas em novos materiais e aplicações neste segmento.

Também foram realizados no Campus da Unesp de Bauru nos laboratórios do Departamento de Física alguns ensaios mediante a utilização de novas tecnologias e metodologias para a determinação de valores de ensaios mecânicos.

3.4.1 Ensaio das densidades

As densidades obtidas foram mensuradas em três estágios do processo em estudo, sendo o primeiro levantamento realizado logo na mistura da resina ainda no estado líquido em conjunto com as respectivas proporções de aditivos antes da sua catálise. O segundo levantamento foi obtido com a resina e seus respectivos aditivos já catalisados, ou seja, na condição de pós cura. O terceiro levantamento da densidade foi realizado considerando a inclusão do elemento estruturante o compósito que são as fibras de vidro.

A opção de se fazer separadamente estes três ensaios é de verificar o comportamento das densidades das misturas das resinas e seus aditivos, nas proporções da Tabela 3.1, antes da sua catálise, após a sua catálise e com o acréscimo de fibras estruturantes correspondente a fase não continua dos compósitos.

3.4.1.1 Densidade da resina com aditivo antes da catálise

A preparação das misturas das resinas com os aditivos ocorreu em um ambiente de temperatura e umidade relativa do ar controlada, com valores na ordem

de 25°C e 50 % respectivamente. Os ensaios das densidades das resinas com aditivos antes da catálise foram realizados nos laboratórios das empresas do Grupo Caio.

Parte do volume da mistura destinada à fabricação de cada corpo de prova, foi reservado para a determinação da densidade enquanto no estado líquido. Com a utilização de um picnômetro com tampa, fabricado em latão polido com volume calibrado em 50 ml, construído de acordo com a norma ASTM D1475 e ilustrado na Figura 3.6.



Figura 3.6: Picnômetro com tampa em latão polido – capacidade 50 ml.

Este instrumento é de uso específico para resinas e tintas, pois seu orifício na tampa permite um controle preciso do volume coletado e diante de uma balança analítica tipo capela com precisão de 0,0001g, referência SHIMADZU, modelo AY 220, conforme ilustrado na Figura 3.7, foi possível determinar a densidade da mistura.



Figura 3.7: Balança analítica modelo AY 220 - SHIMADZU.

Os valores das densidades de cada corpo de prova estão relacionados e analisados na seção 4.1.1.

3.4.1.2 Densidade da resina com aditivo pós catálise

Os ensaios das densidades das resinas pós catálise foram realizados nos laboratórios das empresas do Grupo Caio, onde foram preparados e confeccionados corpos de prova no mesmo ambiente descrito na seção 3.4.1.1. Para cada corpo de prova, cuja dimensões: diâmetro 30,0 mm e comprimento 70,0 mm, utilizou-se um picnômetro com tampa em latão polido com capacidade 100 ml juntamente com o auxílio de uma balança analítica de precisão 0,0001 g do tipo capela, conforme ilustrados nas Figuras 3.6 e 3.7, foi possível medir a massa da mistura de cada corpo de prova e seu respectivo volume. A técnica utilizada foi o princípio de Arquimedes, onde, com a utilização do picnômetro foi medido o volume de água destilada correspondente ao volume de cada corpo de prova. Para obter-se uma maior precisão

na determinação do volume de água, optou-se por medir a massa do volume de água correspondente a cada corpo de prova e considerando a densidade da água destilada no ambiente de ensaio a 25°C como sendo 0,997g/cm³, dividiu-se os valores obtidos de cada massa pela referida densidade da água. Desta forma, o valor obtido representa o volume de água correspondente ao volume de cada corpo de prova. Na sequência obteve-se a massa de cada corpo de prova mediante a utilização de uma balança analítica e dividiu-se pelo volume correspondente para a determinação da densidade pós cura, cujo valores estão relacionados e analisados na seção 4.1.2.

3.4.1.3 Densidade do compósito: Resina com aditivo e fibra de vidro

O levantamento destes dados foi obtido mediante a utilização de um Picnômetro a gás hélio, modelo **Micromeritics AccuPic II 1340**, conforme Figura 3.8.



Figura 3.8: Picnômetro a gás modelo **Micromeritics AccuPic II 1340**.

Este ensaio foi realizado nos laboratórios da empresa 3M do Brasil. O princípio de funcionamento deste equipamento é baseado na lei dos gases, expressa pela Equação 3.1, onde: P= pressão (Pa); V= volume (m³); n= nº de mols; R= constante universal dos gases (8,31 J mol⁻¹ K⁻¹); T= temperatura (K).

$$PV = nRT$$

Equação 3.1: Equação geral dos gases perfeitos.

Uma pequena amostra de cada corpo de prova foi pesada e inserida na câmara de análise do equipamento, cujo volume é conhecido, e hermeticamente fechada. O volume inicial do espécime foi determinado através da alteração de pressão do gás hélio, quando este é injetado na câmara e depois liberado para expansão em reservatório de volume também conhecido

Em se tratando de um composto de resina poliéster com fibras de vidro e prevendo a pequena variação da concentração das quantidades de fibras de vidro na região da amostragem, foram realizadas medições em três amostras diferentes para cada corpo de prova, cujo valores estão relacionados e analisados na seção 4.1.3.

3.4.2 Ensaio de contração dimensional pós cura

Os ensaios das contrações dimensionais foram realizados nos laboratórios das empresas do Grupo Caio. Para cada mistura de resina com aditivo, correspondente a cada corpo de prova, foi realizado o ensaio de contração linear pós cura. No momento da confecção dos corpos de prova, efetuou-se também um ensaio para verificação da contração linear da mistura após sua catalise. Foi construído um recipiente na forma triangular equilátera em chapa de aço, com uma das faces aberta e voltada para cima de modo a formar uma calha com as dimensões das faces em 50 mm e comprimento 1000 mm, conforme representado na Figura 3.9. A forma triangular equilátera adotada deve-se ao fato de obter a proporcionalidade na geometria da secção da amostra, independentemente do volume da mistura coletada para a catalise.

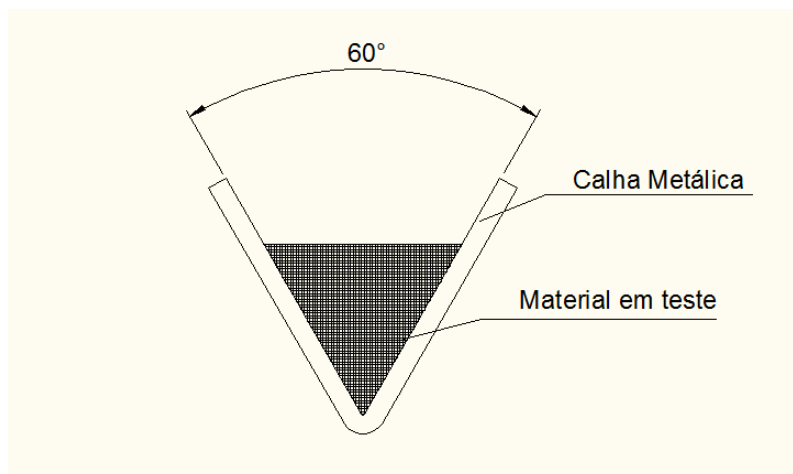


Figura 3.9: Secção transversal da calha para medição da contração linear pós cura.

Mediante o derramamento de 400 ml de mistura nesta calha metálica nivelada e devidamente impermeabilizada com cera desmoldante para evitar a aderência da mistura da resina com a superfície da calha decorrente da sua polimerização, foi possível verificar a contração linear da mistura após sua catalise. Com o auxílio de um paquímetro com precisão de leitura de 0,1mm, constatou-se a diferença dimensional devido a contração, conforme ilustra a Figura 3.10 abaixo:



Figura 3.10: Medição da contração linear pós cura.

A contração linear de cada corpo de prova está expressa em milímetros e representa a contração linear de uma amostra de comprimento inicial de 1000 mm, cujo valores estão relacionados e analisados na seção 4.2.

3.4.3 Ensaio de viscosidade da mistura

Durante a etapa de preparação das misturas da resina com os aditivos correspondentes a cada corpo de prova, foi efetuado também as medições das viscosidades. A realização deste teste ocorreu em um ambiente de temperatura 25°C e umidade relativa 60 %, obedecendo a norma ASTM D2196.

Estes ensaios foram realizados nos laboratórios das empresas do Grupo Caio. Mediante a utilização de um “becker” de capacidade volumétrica de 250 ml, e um viscosímetro rotacional modelo LVT, conforme ilustrado na Figura 3.11 e utilizando-se um disco de arraste “spindle” #2 a 20 rpm.



Figura 3.11: Viscosímetro rotacional modelo LVT.

Os valores das viscosidades de cada corpo de prova estão relacionados e analisados na seção 4.3.

3.4.4 Ensaio do módulo de elasticidade à torção – G

Sendo o módulo elástico uma medida da rigidez do material, este representa uma propriedade essencial em materiais que podem ser potencialmente utilizados em estruturas sujeitas a torção ou tração. Seu valor depende das ligações atômicas e das distâncias entre os átomos na rede cristalina; portanto, esse valor é sensível à adição de elementos, tratamentos termomecânicos e processamento de deformação. Os compósitos são materiais que possuem partes amorfas e cristalinas e podem se formar com diferentes aditivos. Nesse caso, procurou-se estabelecer um padrão geral da influência desses mesmos fatores que são levados em consideração nos metais e seu impacto no módulo elástico.

Este trabalho foi realizado no Laboratório de Física da Unesp de Bauru e estudou a influência de aditivos como MOV e CaCO_3 na resina de poliéster insaturada, estabelecendo uma relação entre o módulo de elasticidade à torção “G” e a quantidade de aditivos incorporados na resina por uma técnica alternativa não destrutiva na determinação desses valores, isto é, usando a espectroscopia mecânica. A vantagem desta técnica, quando comparada a outros métodos dinâmicos a serem obtidos, é que não é necessário conhecer a razão de Poisson da amostra.

Para determinar a inércia rotacional do pêndulo de torção, foram realizadas medições independentes usando um método desenvolvido no próprio laboratório de pesquisa. Essa medida é necessária para validar a equação projetada para calcular G. Várias técnicas para determinar o momento de inércia de um corpo podem ser encontradas na literatura. Quatro valores de inércia rotacional foram fixados para obter uma resposta de frequência. O sensor de rotação foi utilizado para estudar a curva de relaxamento para obter um registro da posição angular em função do tempo. O objetivo da “forma de onda” foi ajustado aos resultados experimentais e, em seguida, foram determinados alguns parâmetros que foram utilizados na equação para calcular o módulo G,

Com o objetivo de ampliar os estudos e conhecimentos sobre o uso de MOV e CaCO_3 em compósitos de resina de poliéster insaturada reforçada com fibra de vidro, este trabalho direcionou a avaliação do comportamento do módulo de torção, G, para diferentes concentrações destes aditivos na resina. Como estamos trabalhando com a parte polimérica, que representa a fase contínua do compósito,

chamada matriz, não incluímos as fibras de vidro que constituem a parte estrutural do compósito.

Os corpos de provas utilizados nestes ensaios foram do tipo I conforme descritos no capítulo 3.1.1 e ilustrados na Figura 3.1, bem como os parâmetros obtidos dos ensaios de densidades conforme Tabela 4.2.

A técnica de espectroscopia mecânica para a determinação do módulo de elasticidade à torção G , consiste em um pêndulo de torção que pode ser ajustado para definir sua inércia em diferentes valores de massa do pendulo, neste caso, foram utilizados quatro valores diferentes e registrados sua posição angular θ em relação a um eixo de rotação em função do tempo t . Um sensor de movimento rotacional (RMS) foi utilizado para esse fim, conforme ilustra a Figura 3.12.

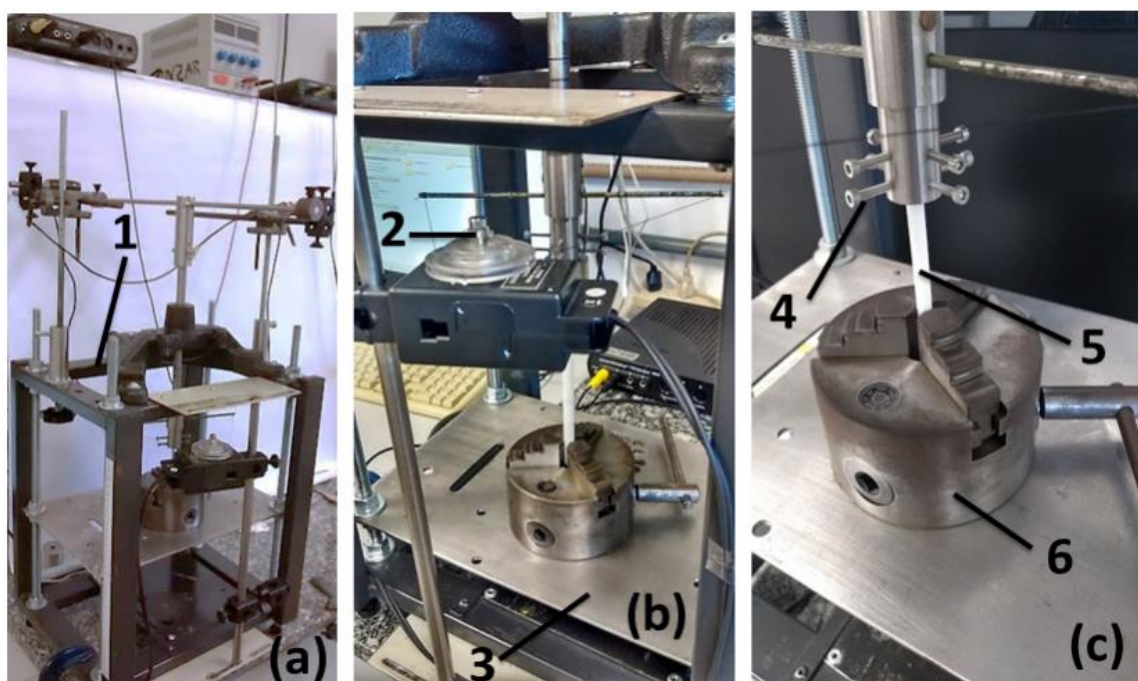


Figura 3.12: Sistema de medição do módulo G por espectroscopia mecânica: (1) estrutura pendular; (2) sensor de movimento rotativo (SMR); (3) base móvel; (4) parafuso de fixação; (5) amostra composta; (6) 3 chapas de castanha. (a) Visão completa do sistema; (b) Visão detalhada do sistema: SMR e amostra de base fixa; (c) Vista dos equipamentos e amostra.

Mediante a utilização de equações específicas voltadas aos estudos da espectroscopia mecânica e não abordadas neste trabalho por entendermos que o foco

está na comparação de resultados. Os valores dos módulos de elasticidades à torção – G de cada corpo de prova estão relacionados e analisados na seção 4.4.

3.4.5 Ensaio do coeficiente de atrito dinâmico – COF

Este trabalho foi realizado no Laboratório de Física da Unesp de Bauru e utilizou-se corpos de prova do tipo II, conforme abordado na seção 3.1.2 e ilustrados na Figura 3.2, com as densidades seguindo-se os valores registrados na Tabela 4.2.

Os estudos de tribologia reúnem conhecimentos adquiridos em física, química, mecânica e ciência dos materiais para explicar e prever o comportamento de sistemas mecânicos. Esses estudos podem ser aplicados em diversas áreas, como automotiva, aeroespacial, eletrônica, biomédica e óptica. Assim, neste trabalho foi construído um tribômetro rotativo com corpo esférico, conforme representação da Figura 3.13 para determinar o coeficiente de fricção dinâmica (COF) e caracterizar o efeito da inclusão de MOV em resina de poliéster não saturada.



Figura 3.13: Tribômetro: (1) - motor elétrico; (2) - Eixo e transmissão após transmissão da rotação do motor elétrico; (3) - Eixo intermediário da transmissão do movimento de rotação; (4) – Eixo de transmissão do movimento de rotação final; (5) - Sensor de movimento rotativo; (6) – Platô com garras; (7) - Controlador de velocidade angular; (8) - Amostra presa nas garras do platô e (9) - Placa cilíndrica presa ao eixo de rotação da amostra, (10) – Haste de polímero, PP; (11) – Haste primária; (12) – Sensor de força; (13) – Contrapeso; (14) – Mesa coordenada XY; (15) – Haste secundária.

Os materiais utilizados nestes estudos foram descritos na seção 3.1.2 e para medir o coeficiente de atrito dinâmico, foi utilizado um tribômetro rotativo com algumas características para atender as nossas necessidades, conforme registrado na Figura 3.13. O contra corpo é esférico de diâmetro de 10 mm e o corpo de prova ou amostra é fixado a um platô com garras. O sistema de medição da força tangencial ou atrito é um sensor de força (F_s) da PASCO, que estará em contato com uma haste. Devido ao movimento relativo entre os corpos de prova (amostra) e contra corpo (esfera de aço inoxidável 304), existe uma força de atrito (F_A) que é transmitida para essa haste em contato com o sensor de força. Por meio de uma interface e um programa específico da PASCO, é possível registrar esta força no sensor (F_s) versus tempo (t). A medida desta força, pode ser realizada dentro de um intervalo de tempo de 30 ou 60 minutos. A força normal ($F_N = 2,04 \text{ N}$) é aplicada por meio do contra corpo na superfície da amostra por gravidade, alterando-se pesos pré-fixados sobre ele. Para cada par de materiais (Aço inox 304 - amostra) determinou-se curvas do coeficiente de atrito dinâmico (COF) em função do tempo. Neste caso é possível definir a relação na Equação 3.2 onde: F_A representa a força de atrito; F_N a força normal; F_s força no sensor e f_c fator de calibração.

$$\text{COF} = \frac{F_A}{F_N} = \frac{F_s \cdot f_c}{F_N}$$

Equação 3.2: Coeficiente de Atrito Dinâmico – COF.

Os resultados obtidos para os fatores de atrito dinâmicos (COF) em função do tempo (t) estão representados graficamente na seção 4.5. Como parâmetros para a obtenção dos valores do referido gráfico destacamos a utilização de esferas de aço 304, Força nominal de 2,04 N e frequência de 1 Hz com dez pontos médios. Cada corpo de prova relacionado representa uma certa porcentagem de MOV inseridas na mistura com a resina poliéster insaturada, conforme relacionado na Tabela 3.1.

O mesmo ensaio foi realizado para as amostras contendo o aditivo de carbonato de cálcio e os resultados obtidos para os coeficientes de atrito dinâmico (COF) em função do tempo (t) estão representados graficamente na seção 4.5. Como

parâmetros para a obtenção dos valores do referido gráfico destacamos a utilização de esferas de aço 304, Força normal de 2,04 N; frequência de 1 Hz e uma média para dez pontos experimentais. Cada corpo de prova relacionado representa uma certa porcentagem de CaCO_3 inseridas na mistura com a resina poliéster insaturada, conforme relacionado na Tabela 3.1.

3.4.6 Ensaio de tração

Os ensaios de tração foram realizados nos laboratórios da empresa 3M do Brasil. Para os ensaios de tração dos corpos de prova do tipo III, utilizou-se amostras confeccionadas conforme descrito nos capítulos 3.1.3 e 3.2, seguindo a norma ASTM D638.

O equipamento utilizado para este tipo de ensaio foi uma máquina de ensaio mecânico modelo EMIC 23-20 fabricada pela INSTRON e ilustrada na Figura 3.14.

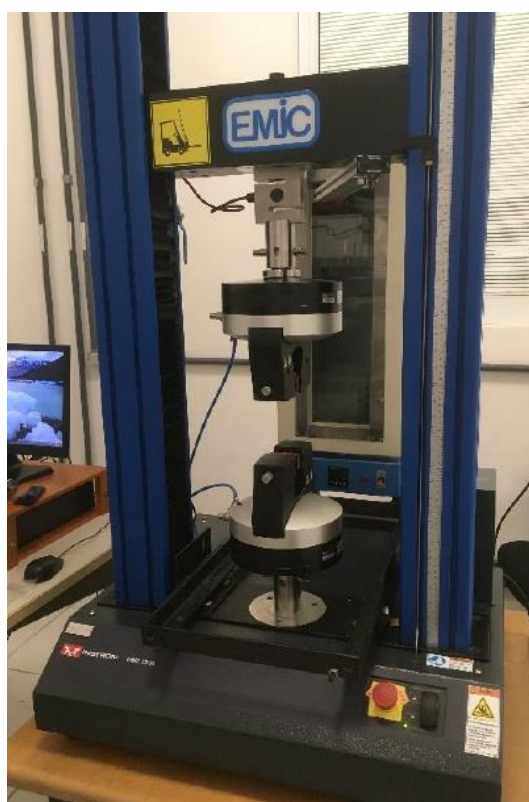


Figura 3.14: Máquina de ensaio mecânico EMIC 23-20, INSTRON.

Conforme recomendações da norma em referência foram ensaiadas cinco amostras no sentido longitudinal e cinco no sentido transversal para a obtenção do valor referencial de cada corpo de prova. Calculou-se a média aritmética de todos os valores obtidos e seus respectivos desvios padrão, a partir destes valores foi montada uma tabela única contemplando a média dos valores obtidos para a carga de ruptura à tração, alongamento até o ponto de ruptura, limite de resistência à tração e seus respectivos desvios padrão, cujo valores estão relacionados e analisados na seção 4.6.

3.4.7 Ensaio de Flexão

Os ensaios de flexão foram realizados em corpos de prova do tipo III, retirados de amostras confeccionadas conforme descrito nas seções 3.1.3 e 3.2, seguindo a norma ASTM D790. Os ensaios foram realizados nos laboratórios das empresas do Grupo Caio.

O equipamento utilizado para este tipo de ensaio foi do tipo de ensaios mecânicos, fabricado pela KRATOS, conforme ilustrado na Figura 3.15 abaixo. Os ensaios foram realizados a uma temperatura de 25°C com velocidade de deslocamento 1,20 mm /min e retorno 50,00 mm/min.



Figura 3.15: Máquina de ensaio mecânico, KRATOS.

Conforme recomendações da norma em referência foram ensaiadas cinco amostras no sentido longitudinal e cinco no sentido transversal para a determinação do valor médio de cada corpo de prova. Calculou-se a média aritmética dos valores médios da carga de flexão, flecha e resistência à ruptura a flexão, além de seus respectivos desvios padrão para cada amostra do corpo de prova, cujo valores estão relacionados e analisados na seção 4.7.

3.4.8 Ensaio de Impacto

Os ensaios de impactos foram realizados em corpos de prova do tipo III, retirados de amostras confeccionadas conforme descrito nas seções 3.1.3 e 3.2, seguindo a norma ASTM D256. O equipamento utilizado para este tipo de ensaio foi o TINIUS OLSEN, modelo IT 503, conforme ilustrado na Figura 3.16.

Este ensaio foi realizado nos laboratórios da empresa 3M do Brasil.

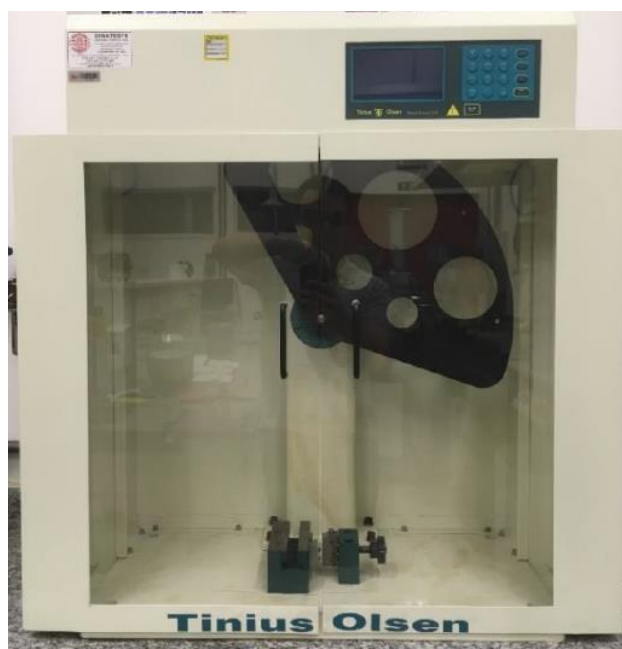


Figura 3.16: Máquina de ensaio ao impacto, modelo IT 503, Tinius Olsen.

Conforme orientações da norma em referência foram ensaiadas cinco amostras no sentido longitudinal e cinco no sentido transversal. Calculou-se a média aritmética de todos os valores obtidos e seus respectivos desvios padrão, a partir destes valores foi montada uma tabela contemplando a média dos valores obtidos para a resistência ao impacto IZOD e seus respectivos desvios padrão, cujo valores estão relacionados e analisados na seção 4.8.

3.4.9 – Ensaio de dureza

Os ensaios de dureza foram realizados em corpos de prova do tipo III, obtidos de amostras confeccionadas conforme descrito nas seções 3.1.3 e 3.2, seguindo a norma ASTM D2583. Os ensaios foram realizados na empresa 3M do Brasil e o equipamento utilizado para este tipo de ensaio foi o durômetro Barcol, modelo GYZJ 934-1, da marca Woltest, conforme ilustrado na Figura 3.17. Os ensaios foram realizados a uma temperatura de 25° C e coletou-se dez valores em pontos diferentes de uma mesma superfície de amostra.



Figura 3.17: Durômetro Barcol, modelo GYZJ 934-1, Woltest.

Conforme orientações da norma em referência, calculou-se a média aritmética de todos os valores obtidos e seus respectivos desvios padrão, a partir destes valores foi montada uma tabela contemplando a média dos valores obtidos para a dureza Barcol e seus respectivos desvios padrão. Os valores das durezas Barcol de cada corpo de prova estão relacionados e analisados na seção 4.9.

3.4.10 Ensaio de condutividade térmica

Os ensaios da condutividade térmica das amostras do tipo III foram feitos nos laboratórios da empresa 3M do Brasil, utilizando-se um condutímetro FOX 50 da TA Instruments, mostrado na Figura 3.18. Este equipamento mede o fluxo de calor entre duas placas isotérmicas mantidas em diferentes temperaturas. O corpo de prova com diâmetro de 50 mm é colocado entre as placas e os dados relacionados à condutividade térmica são fornecidos pelo equipamento. O método utilizado segue a ASTM C518.



Figura 3.18: Condutímetro modelo Fox 50, TA Instruments.

Condutibilidade térmica é uma propriedade térmica típica de cada material homogêneo, correspondente à quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma camada de espessura e de área unitárias desse material por unidade de diferença de temperatura entre as suas duas faces. Assim, a condutibilidade

térmica caracteriza a maior ou menor facilidade de transferência de calor, ou seja, de condução de calor por parte dos materiais.

Os ensaios de condutibilidade térmica foram realizados em corpos de prova obtidos das amostras confeccionadas conforme descrito nas seções 3.1.3 e 3.2, seguindo a norma ASTM C518. Foram realizadas cinco amostras de leitura para cada tipo de corpo de prova, sendo que não foram realizados ensaios nos corpos de prova CP-12, CP-13, CP-15, CP-16, CP-18 e CP-19 pela complexidade da realização dos ensaios. Foi priorizado os resultados de todas as amostras de MOV e registrados apenas os valores de quatro amostras igualmente distribuída, contendo o aditivo de CaCO_3 para se ter uma ideia de grandeza dos resultados e seu comportamento. Os valores obtidos estão relacionados e analisados na seção 4.10.

3.4.11 Ensaio de absorção sonora

A absorção sonora ocorre quando parte da energia sonora incidente no material é dissipada, transformando-se em energia térmica. O coeficiente de absorção sonora “ α ” é um valor que varia de 0 a 1 e é obtido pela Equação 3.3, sendo E_a a energia sonora absorvida pela superfície do material e E_i a energia sonora incidente na superfície do material.

$$\alpha = \frac{E_a}{E_i}$$

Equação 3.3: Coeficiente de Absorção Sonora “ α ”.

Esta propriedade é utilizada em controle de ruído e reverberação sendo que, quanto maior o valor do coeficiente de absorção sonora, maior é a capacidade do material em eliminar o som refletido pelas superfícies e reduzir o nível de ruído no ambiente.

Em geral, materiais porosos e leves como: mantas, lã de rocha ou de vidro, tecidos, espumas acústicas, placa de fibra de côco entre outros, são bons absorventes sonoros. Estes materiais dificultam a reflexão do som nas paredes, anulando-o principalmente nas medias e altas frequências.

O coeficiente de absorção sonora pode ser medido em câmara reverberante ou em tubo de impedância, sendo este último o método empregado neste trabalho, seguindo a norma ASTM E1050.

No tubo de impedância, uma determinada amostra é submetida a ondas planas com incidência normal para uma determinada banda de frequências. O tubo possui uma seção circular com paredes rígidas e a amostra a ser ensaiada é cortada para se encaixar perfeitamente no tubo.

Os ensaios de absorção sonora foram realizados nos laboratórios da empresa 3M do Brasil e a Figura 3.19 apresenta o tubo de impedância utilizado, onde os corpos de prova do tipo III foram cortados em discos de diâmetro 100 mm e submetidos a baixas e medias frequências.

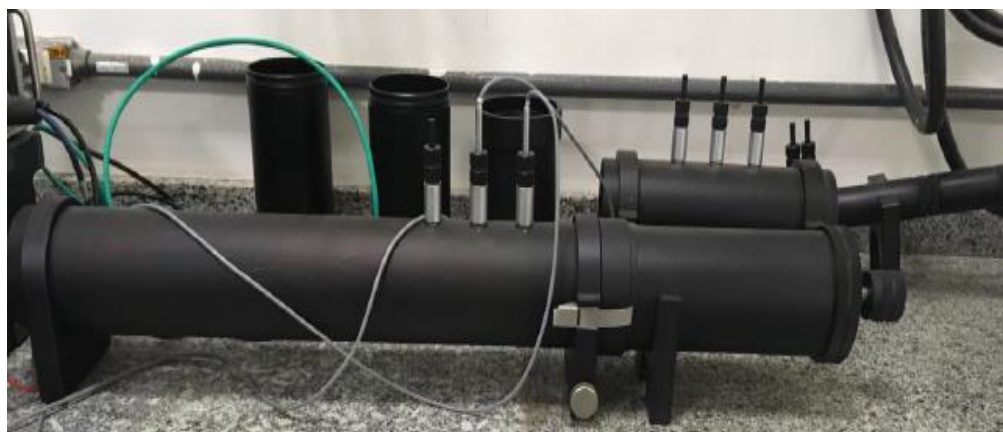


Figura 3.19: Tubo de impedância para determinação do coeficiente de absorção sonora.

Os corpos de prova utilizados para estes ensaios foram obtidos conforme descrito nas seções 3.1.3 e 3.2. Além das amostras CP-00; CP-02; CP-04; CP-10 e CP-14, ensaiou-se também o material Calfoam que é um produto de excelente absorção sonora. A proposta de sua inclusão nos ensaios realizados foi evidenciar as características de um bom absorvedor sonoro.

Devido as dificuldades na realização dos ensaios em todas as amostras, inicialmente reduziu-se pela metade a quantidade de amostras a serem ensaiadas e dentre as selecionadas algumas não obteve êxito no registro dos resultados e foram descartadas. Diante do exposto, somente as amostras CP-00; CP-02; CP-04; CP-10 e CP-14 tiveram seus valores obtidos, registrados e analisados na seção 4.11.

3.4.12 Ensaio de absorção de água

Os ensaios de absorção de água foram realizados em corpos de prova do tipo III confeccionados conforme descrito nas seções 3.1.3 e 3.2, seguindo a norma: *Standard Test Method for Water Absorption of Plastics* ASTM D570.

Os ensaios foram realizados nos laboratórios das empresas do Grupo Caio e para cada composição de amostra foi retirado um corpo de prova nas dimensões de 200 mm x 200 mm x 3,0 mm conforme plano de corte representado na Figura 3.4. As amostras foram mantidas em estufa por 24 horas a 50° C, e em seguida foram medidas as suas massas com o auxílio de uma balança analítica. Na sequência, foram mantidas imersas em um recipiente com água destilada em temperatura ambiente de 25° C por 24 horas e então, novamente foram registradas as medidas se suas massas.

Os corpos de prova tiveram suas superfícies lixadas com o objetivo de simular uma situação de preparação para pintura e também uma situação de “quebra de brilho” superficial que representa uma prática para eliminar possíveis rebarbas nas superfícies rusticas oriundas dos processos “HLU” e “*SPRAY-UP*”. Utilizou-se para esta operação uma lixa de costado em papel com grana 220. Os valores da absorção de água foram relacionados e analisados na seção 4.12.

3.4.13 Ensaio de propagação de chamas

Os ensaios de flamabilidade foram realizados em corpos de prova do tipo III e confeccionados conforme descrito nas seções 3.1.3 e 3.2 seguindo a norma: *Standard for Safety for Test for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances*, UL 94.

O teste foi realizado nos laboratórios das empresas do Grupo Caio, mediante a utilização de um dispositivo construído conforme recomendado pela norma em referência. Nesta capela, conforme Figura 3.20, os corpos de prova foram posicionados e fixados conforme recomendação das normas e na sequência foi aproximado um bico de chama e cronometrado os tempos de queima para cada amostra.



Figura 3.20: Dispositivo de ensaio de flamabilidade.

A Figura 3.21 ilustra as condições dos corpos de prova antes e após a realização da queima.



Figura 3.21: Corpos de prova antes e após a queima.

Mediante o registro do tempo de queima de uma distância pré-estabelecida e identificada em cada corpo de prova, tiveram seus valores relacionados e analisados na seção 4.13.

3.4.14 Análise microestrutural do compósito

As imagens das microestruturas foram obtidas pelo sistema de microscopia eletrônica por varredura pelo laboratório da empresa 3M do Brasil. As amostras foram fraturadas em nitrogênio líquido, metalizadas (Metalizadora Quorum Q150ES) e analisadas através do equipamento MEV FEI Inspect S50 utilizando os detectores: ETD - Detector de elétrons secundários para operação em alto vácuo e Detector de elétrons retro espalhados para alto vácuo - vCD para contrastes de topografia e composição, respectivamente, com tensão de 20 keV e magnificações de 120x, 240x e 500x.

Foram capturadas imagens dos corpos de prova, sendo que foram utilizadas apenas três amostras para estudo, sendo: CP-00 que representa nosso valor referencial e não apresenta adição de aditivos em sua composição, ilustradas nas Figuras 4.22, 4.23 e 4.24; imagens do CP-10 que representa a amostra com maior porcentagem de aditivos de MOV, ilustradas nas Figuras 4.25, 4.26 e 4.27 e imagens do CP-20 que representa o corpo de prova com maior porcentagem de aditivo de CaCO_3 , ilustradas nas Figuras 4.28, 4.29 e 4.30 da seção 4.14.

3.4.15 Análise operacional ao processo produtivo

A análise operacional para cada processo produtivo ocorreu após a conclusão de todos os ensaios físicos e mecânicos laboratoriais. Os ensaios operacionais foram realizados nas empresas do Grupo Caio e foram divididos em três etapas, sendo iniciada pelo processo manual “HLU”, na sequência o processo por projeção “*SPRAY-UP*” e finalizando pelo processo de transferência de resina em molde fechado “RTM”.

Dentre os principais fatores que influenciam na produtividade destes processos destacamos: Tempo de gel, o qual representa o intervalo de tempo entre a mistura do catalisador com a resina a ser impregnada e o início da sua catalisação, também conhecido como “*gel time*”, este período representa o tempo que o operador dispõe para a laminação da resina junto as mantas de fibra de vidro. Outro fator significativo é o intervalo de reação, o qual representa o período necessário para a completa catalisação da resina a partir do seu tempo de gelatinação. Sendo esta uma reação exotérmica, seu pico exotérmico baliza o volume de resina a ser utilizado para evitar um superaquecimento no produto final, podendo danificar sua estrutura e até mesmo o ferramental.

Especificamente para nossa avaliação operacional ao processo produtivo, a qual se trata de uma comparação entre o processo produtivo convencional e o processo proposto com a utilização de mistura de resina com microesfera ocas de vidro, destacamos que os fatores mencionados permaneceram inalterados para os processos analisados, sendo que, o foco das possíveis alterações processuais direcionam para a viscosidade da resina com seus aditivos incorporados na mistura; a molhabilidade das mantas de fibra de vidro pela mistura; a tixotropia da mistura, propriedade esta que mantém a massa da mistura coesa sem que haja o escoamento pelas superfícies verticais dos moldes durante a sua aplicação, especificamente para os processos “HLU” e “*SPRAY-UP*”.

Para uma apuração de forma mais precisa as eventuais implicações de ordem processual e produtiva decorrente da utilização de aditivos de MOV misturados à resina poliéster insaturada, em substituição aos métodos atuais e convencionais que utilizam apenas resina ou resina com CaCO_3 dependendo do processo produtivo em referência, os levantamentos foram separados por cada tipo de processo produtivo.

Inicialmente foram acompanhadas e avaliadas as condições produtivas do processo “HLU”. Mediante a realização de ensaios práticos operacionais foi constatado pelos operadores que misturas de resina com MOV com viscosidade superior a 384 cP, correspondente às características do CP-04, apresentam maior dificuldades no processo de molhabilidade e laminação das mantas de fibra de vidro, ocasionando um maior tempo nesta operação e aspectos de falhas por não haver uma boa molhabilidade das fibras de vidro, comparado ao tempo usual em um processo convencional, correspondente ao CP-00.

A massa de mistura preparada seguiu as proporções específicas a cada processo produtivo proposto, sendo 86,4 Kg correspondente à proporção do CP -04 e direcionada à fabricação das peças em “HLU” e “*SPRAY-UP*”. Para a fabricação das peças em “RTM” foi preparado 104,0 Kg de mistura de resina com CaCO_3 , seguindo as proporções do CP-16 e a quantidade de 83,2 Kg de mistura de resina e MOV nas proporções do CP-02. Para estas homogeneizações utilizou-se um misturador industrial, conforme Figura 3.22 abaixo:



Figura 3.22: Misturador industrial, modelo CM 200- Cetec.

Seguindo-se as características de fabricação já descritas na seção 2.4.1 para o processo manual de fabricação “HLU”, todos os tempos e quantidade de

materiais relacionados à preparação do molde, aplicação do gel superficial, materiais de reforços correspondentes às fibras de vidro, mão de obra de fabricação do produto, rebarbação e acabamento final mantiveram-se os mesmos. Resultando apenas a substituição da resina com 100 % de sua massa pela mistura de resina com MOV na proporção do CP-04 como sendo o único fator diferencial no processo de comparação produtiva.

Adotou-se a utilização de um produto com molde existente para o processo “RTM” para a realização das análises operacionais produtivas tanto para este processo como para os processos “HLU” e “*SPRAY-UP*”, mediante a utilização apenas da metade externa do ferramental, conforme representado na Figura 3.23 abaixo:



Figura 3.23: Tampa Frontal: Produto analisado.

As características mais relevantes do processo “HLU” utilizadas para evidenciar a comparação foram relacionadas e analisadas na seção 4.15.

As peças fabricadas pelo processo “*SPRAY-UP*” as quais serviram de referência para a análise operacional ao processo produtivo seguiram os

procedimentos descritos na seção 2.4.2 e foram utilizadas as mesmas resinas e misturas empregadas no processo “HLU”. Mediante a realização de ensaios práticos foi constatado pelos operadores que misturas de resina com MOV com viscosidade superior a 384 cP, correspondente às características da mistura do CP-04, apresentam maior dificuldades no processo de molhabilidade e rolagem dos fios de “roving”, motivo pelo qual adotou-se a mesma mistura do CP-04 de resina e MOV para a fabricação das peças.

Seguindo-se as características de fabricação já descritas na seção 2.4.2 para o processo de fabricação por projeção “*SPRAY-UP*”, observa-se que os tempos e quantidade de materiais relacionados à preparação do molde, aplicação do gel superficial, materiais de reforços correspondentes às fibras de vidro, mão de obra de fabricação do produto, rebarbação e acabamento final mantiveram-se os mesmos, restando apenas o fato da substituição da resina com 100 % de sua massa pela mistura de resina com MOV na proporção do CP-04 como sendo o único fator diferencial no processo de comparação produtiva.

A máquina utilizada para fazer a projeção dos materiais no molde foi a laminadora “*SPRAY-UP*”, modelo Glas Craft, representada na Figura 3.24.



Figura 3.24: Máquina laminadora “*SPRAY-UP*”, modelo Glas Craft.

As características mais relevantes do processo “*SPRAY-UP*” utilizadas para evidenciar a comparação, foram relacionadas e analisadas na seção 4.15.

As peças fabricadas pelo processo “RTM” as quais serviram de referência para a análise operacional ao processo produtivo seguiram os procedimentos descritos na seção 2.4.3. As peças convencionais tomadas como referência para esta análise, tinham suas misturas na proporção de 100 partes em massa de resina para 30 partes em massa de CaCO_3 , equivalente à composição do CP-16.

O equipamento utilizado para efetuar a injeção das peças neste processo é o modelo Spartan II fabricado pela Glas Craft e representado na Figura 3.25.



Figura 3.25: Equipamento de injeção para “RTM”, modelo Spartan II da Glas Craft.

Com o propósito de manter a mesma viscosidade da mistura do processo convencional para garantir a fluidez da mistura da resina com MOV entre as mantas de fibra de vidro no interior do molde, bem como manter as mesmas regulagens e parâmetros do equipamento de injeção, foi adotado as características do CP-02 como proposta de fabricação de peças para a análise operacional ao processo produtivo.

A viscosidade das peças de referências apresenta valores em torno de 192 cP e para manter essa mesma característica de modo a não alterar os parâmetros do

equipamento de injeção, foi preparado uma mistura de resina e MOV na proporção de 80 kg de resina e 3,2 kg de MOV, correspondente a porcentagem do corpo de prova CP-02 e homogeneizada no mesmo misturador industrial citado anteriormente na Figura 3.33.

Seguindo-se as características de fabricação já descritas na seção 2.4.3 para o processo de fabricação pela moldagem por transferência de resina “RTM”, os tempos e quantidade de materiais relacionados à preparação do molde, aplicação do gel superficial, materiais de reforços correspondentes às fibras de vidro, mão de obra de fabricação do produto, rebarbação e acabamento final mantiveram-se os mesmos. Restou apenas, como sendo o único fator diferencial no processo de comparação produtiva o fato da substituição da mistura de resina com 100 partes em massa e 30 partes em massa de CaCO_3 , correspondente ao CP-16, pela mistura sugerida de resina com MOV na proporção do CP-02.

As características mais relevantes do processo “RTM” utilizadas para evidenciar a comparação, foram relacionadas e analisadas na seção 4.15.

3.4.16 Análise de viabilidade econômica

O custo para a fabricação de compósitos a base de resina poliéster insaturada reforçada com fibra de vidro pode apresentar uma grande variação de valores para um mesmo produto final. Como principais variáveis podemos citar o volume de produção, o poder de negociação na compra de matéria prima, a infraestrutura patrimonial da empresa transformadora, os custos de investimento em ferramental, o padrão de qualidade e normas a serem seguidas conforme contratos comerciais e principalmente pelo processo em que o produto está sendo produzido.

Os valores obtidos neste trabalho foram baseados em informações das empresas do Grupo Caio e sua análise foi separada por tipo de processos produtivos. Face às possíveis variações de valores na formação dos custos, a metodologia adotada para melhor representar a ideia dos valores econômicos, foi a comparação de custos relativos do produto final para cada processo produtivo, haja visto que a mão de obra de fabricação bem como as quantidades de materiais utilizados dentro do mesmo processo produtivo manteve-se as mesmas. É prudente salientar que o único elemento que sofreu variação foi a resina e que, mesmo na substituição de uma

certa massa de resina do processo convencional por outra massa da mistura proposta de resina com o aditivo de MOV, seus volumes permaneceram os mesmos.

Analisando a influência dos custos de três produtos de diferentes tamanhos obtidos pelos métodos convencionais de fabricação pelo processo “HLU”, e comparando-os com os seus respectivos custos na hipótese de utilização da mistura de resina com MOV, na proporção de 100 partes em massa de resina para 8 partes em massa de MOV, correspondente à composição da mistura do corpo de prova CP-04, obteve-se os respectivos valores relativos ao custo e ganhos relacionados à redução da massa dos produtos decorrente do método proposto, onde foram relacionados e analisados na seção 4.16. Os custos de homogeneização da mistura da resina com a MOV realizada em um misturador industrial não estão sendo considerados nestes levantamentos pelo fato desta operação ocorrer concomitante ao tempo de fabricação do produto e também por apresentar um custo de baixa representatividade no produto, por consumir cerca de 0,174 minutos do tempo da máquina por quilo misturado.

Avaliando a influência dos custos de três produtos de diferentes tamanhos obtidos pelos métodos convencionais de fabricação pelo processo “*SPRAY-UP*”, e comparando-os com os seus respectivos custos na hipótese de utilização da mistura de resina com MOV, na proporção de 100 partes em massa de resina para 8 partes em massa de MOV, correspondente à composição da mistura do corpo de prova CP-04, obteve-se os respectivos valores relativos ao custo e ganhos relacionados à redução da massa dos produtos decorrente do método proposto, onde foram relacionados e analisados na seção 4.16. Os custos de homogeneização da mistura da resina com a MOV realizada em um misturador industrial não estão sendo considerados nestes levantamentos pelo fato desta operação ocorrer concomitante ao tempo de fabricação do produto e também por apresentar um custo de baixa representatividade no produto, por consumir cerca de 0,174 minutos do tempo da máquina por quilo misturado.

Analisando a influência dos custos de três produtos de diferentes tamanhos obtidos pelos métodos convencionais de fabricação pelo processo “RTM”, fabricadas com a mistura de resina com CaCO_3 na proporção de 100 partes em massa de resina para 30 partes em massa de CaCO_3 , equivalente à composição da mistura do corpo

de prova CP-16 e comparando-os com os seus respectivos custos na hipótese de utilização da mistura de resina com microesferas ocas de vidro, na proporção de 100 partes em massa de resina para 4 partes em massa de MOV, correspondente à composição da mistura do corpo de prova CP-02, obteve-se os respectivos valores relativos ao custo e ganhos relacionados à redução da massa dos produtos decorrente do método proposto, onde foram relacionados e analisados na seção 4.16. Os custos de homogeneização da mistura da resina com a MOV realizada em um misturador industrial são equivalentes aos da mistura da resina com o CaCO_3 , ambos ocorrem concomitante ao tempo de fabricação do produto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são abordados e discutidos os resultados obtidos com os ensaios realizados mediante a utilização de MOV em compósitos de resina poliéster insaturada reforçada com fibra de vidro.

Para uma melhor compreensão dos resultados obtidos, comparou-se o efeito da inclusão de MOV aos resultados obtidos com os compósitos sem a adição de aditivos e aos resultados obtidos com a inclusão de CaCO_3 aos compósitos.

4.1 Densidades

As densidades foram determinadas em três situações conforme descritas na seção 3.4.1 e em cada caso foi observadas características específicas conforme abordagem abaixo.

4.1.1 Densidade da resina com aditivos antes da catálise

Os valores das densidades de cada corpo de prova antes da sua catálise, foram determinados e registrados conforme Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Densidade da mistura antes da catálise.

Corpo de Prova	Densidade da Mistura Antes da Catalise (g/cm³)
CP -00	1,10
CP -01	1,05
CP -02	0,97
CP -03	0,91
CP -04	0,85
CP -05	0,82
CP -06	0,77
CP -07	0,74
CP -08	0,71
CP -09	0,69
CP -10	0,67
CP -11	1,13
CP -12	1,17
CP -13	1,22
CP -14	1,26
CP -15	1,31
CP -16	1,34
CP -17	1,36
CP -18	1,38
CP -19	1,40
CP -20	1,42

Analisando-se os valores obtidos para as densidades dos corpos de prova antes da catalise e registrados na Tabela 3.2, podemos representar graficamente, conforme Figura 4.1, para uma melhor visualização dos fatos observados:

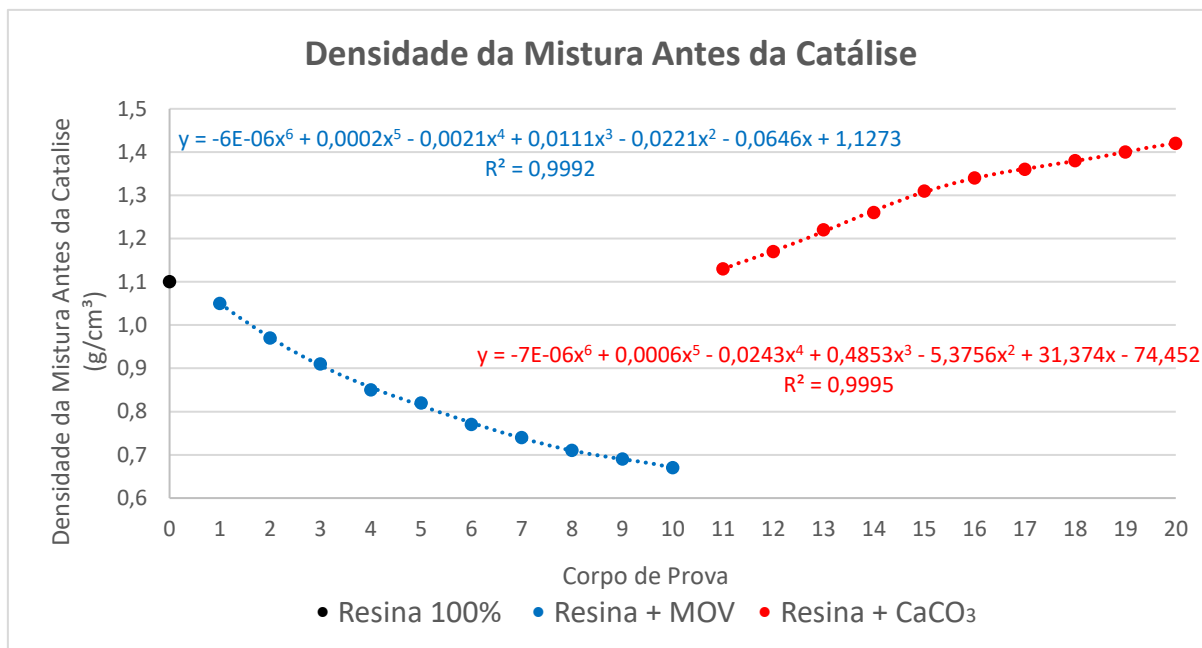


Figura 4.1: Representação gráfica dos valores obtidos das densidades das misturas antes da catálise em função dos corpos de prova.

Conforme observado na Figura 4.1, nota-se que a densidade do CP-00 o qual representa a resina sem a adição de aditivos, o valor obtido foi de 1,10 g/cm³ e este valor está sendo fixado como uma referência para balizar o comportamento dos demais corpos de prova. Do CP-01 ao CP-10 houve o acréscimo de aditivo de MOV nas proporções já estabelecidas conforme Tabela 3.1 das composições das resinas e nota-se que a medida em que aumentou-se a porcentagem de MOV ocorreu uma redução da densidade da mistura, isso se deve ao aumento gradual da porcentagem de MOV na mistura e sendo a sua densidade 0,22 g/cm³, consideravelmente menor ao material da resina 1,10 g/cm³, de modo que era esperado uma redução nos valores das densidades das misturas com o aumento da porcentagem deste aditivo.

Do CP-11 ao CP-20 houve o acréscimo de aditivo de CaCO₃ nas proporções já estabelecidas conforme Tabela 3.1 das composições das resinas e nota-se que a medida em que aumentou-se a porcentagem de CaCO₃ ocorreu também um aumento da densidade da mistura, isso se deve ao acréscimo gradual da porcentagem de CaCO₃ na mistura e sendo a sua densidade 2,80 g/cm³, consideravelmente maior ao material da resina 1,10 g/cm³, de modo que era esperado um acréscimo nos valores das densidades das misturas com o aumento da porcentagem deste aditivo.

Diante dos valores observados nota-se que o efeito da utilização de MOV contribui para a diminuição da densidade da mistura em quanto que a utilização de CaCO_3 contribui para o aumento da densidade da mistura.

4.1.2 Densidade da resina com aditivos pós catálise

Os valores das densidades de cada corpo de prova após sua catálise, foram determinados e registrados conforme Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Densidade da mistura pós catálise.

Corpo de Prova	Densidade da Mistura Pós Catálise (g/cm^3)
CP -00	1,18
CP -01	1,07
CP -02	0,99
CP -03	0,96
CP -04	0,86
CP -05	0,82
CP -06	0,78
CP -07	0,74
CP -08	0,71
CP -09	0,69
CP -10	0,67
CP -11	1,23
CP -12	1,26
CP -13	1,28
CP -14	1,30
CP -15	1,32
CP -16	1,34
CP -17	1,38
CP -18	1,40
CP -19	1,41
CP -20	1,43

Analisando-se os valores obtidos para as densidades dos corpos de prova após a sua catalise e registrados na Tabela 4.2, pode-se montar um gráfico conforme Figura 4.2 para uma melhor visualização dos fatos observados:

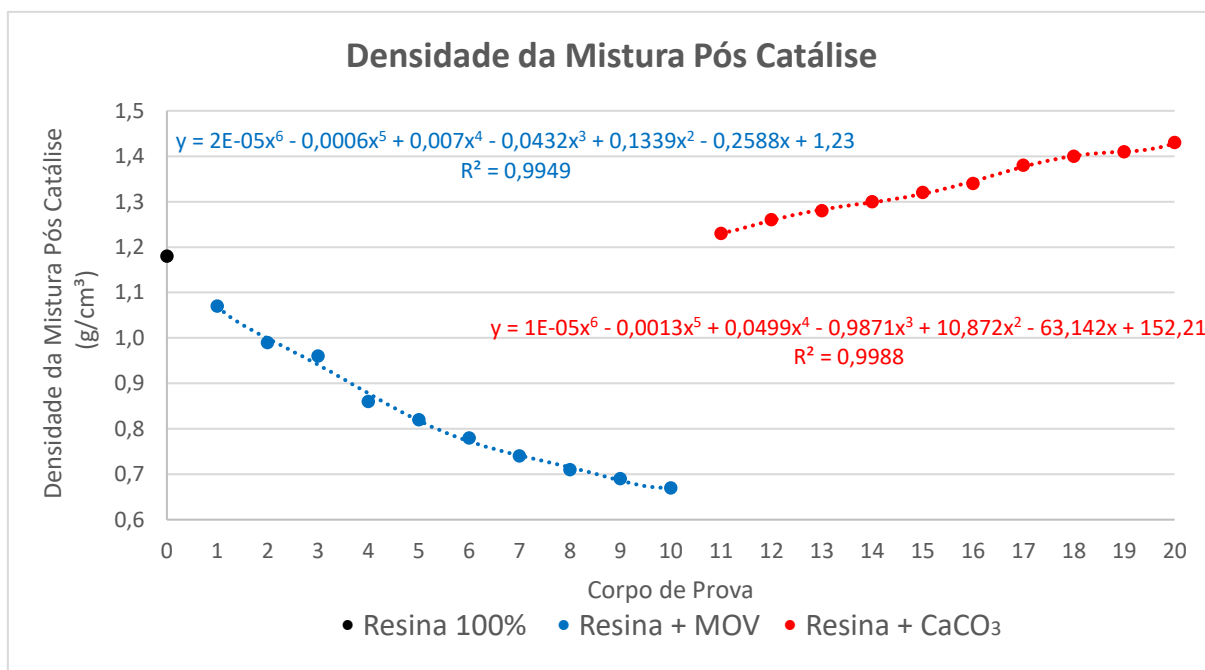


Figura 4.2: Representação gráfica dos valores obtidos das densidades das misturas pós catálise em função dos corpos de prova.

Observando-se os resultados dos valores da Figura 4.2 e comparando-os com os respectivos valores da Figura 4.1, percebe-se para um mesmo tipo de corpo de prova que a densidade foi maior e à medida que foi aumentando a porcentagem em massa dos aditivos de MOV na mistura, representados pelos CP-01 ao CP-10, notou-se uma redução das diferenças dos valores das densidades entre os mesmos tipos de corpos de prova. O mesmo fato é observado na mistura de CaCO₃, representados pelos corpos de prova CP-11 ao CP-20.

Conforme resultados estudados na seção 3.4.2, sabemos que no processo de catálise da resina poliéster insaturada, em seu estado natural, sem a presença de fibras estruturantes aplicados em compósitos, a resina apresenta uma redução em seu volume após sua polimerização, assim sendo, a massa da mistura de cada corpo de prova é mantida e seu volume reduzido temos um aumento da densidade para cada corpo de prova.

O efeito da inclusão de aditivos de MOV misturado a resina tende a dar mais estabilidade dimensional na mistura após a sua polimerização. O mesmo fato observa-se também com a inclusão do aditivo de CaCO₃ na resina, de modo que era esperado para ambos os aditivos a redução do volume pós catalise. Em ambos aditivos nota-se que com o aumento das porcentagens em massa dos aditivos tende a diminuir o efeito da contração volumétrica comparado ao corpo de prova referencial

CP-00, consequentemente reduz a variação das densidades dos corpos de prova antes e após a catálise.

4.1.3 Densidade do compósito: Resina com aditivo e fibra de vidro

Os valores das densidades de cada corpo de prova do compósito: Resina com aditivo e fibra de vidro após sua catálise, foram determinados e registrados conforme Tabela 4.3.

Tabela 4.3: Densidade do composto de resina poliéster com fibra de vidro.

Corpo de Prova	Densidade (g/cm ³)			Média	Desvio Padrão amostral
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3		
CP 00	1,2750	1,2844	1,3030	1,2875	0,0142
CP 01	1,2156	1,1983	1,2452	1,2197	0,0237
CP 02	1,1455	1,1604	1,1972	1,1677	0,0266
CP 03	1,0890	1,1113	1,1201	1,1068	0,0160
CP 04	1,0587	1,0573	1,0899	1,0686	0,0184
CP 05	1,0061	1,0302	1,0673	1,0345	0,0308
CP 06	0,9794	0,9761	1,0229	0,9928	0,0261
CP 07	0,9277	0,9495	0,9818	0,9530	0,0272
CP 08	0,9016	0,9219	0,9284	0,9173	0,0140
CP 09	0,8881	0,8993	0,9142	0,9005	0,0131
CP 10	0,9105	0,9002	0,9576	0,9228	0,0306
CP 11	1,3047	1,2878	1,3262	1,3062	0,0192
CP 12	1,3479	1,3342	1,3541	1,3454	0,0102
CP 13	1,3484	1,3549	1,3620	1,3551	0,0068
CP 14	1,3991	1,3913	1,4088	1,3997	0,0088
CP 15	1,4098	1,4069	1,4194	1,4120	0,0065
CP 16	1,4393	1,4346	1,4513	1,4417	0,0086
CP 17	1,4524	1,4476	1,4672	1,4557	0,0102
CP 18	1,4503	1,4522	1,4710	1,4578	0,0114
CP 19	1,4941	1,4863	1,5000	1,4935	0,0069
CP 20	1,5068	1,5115	1,5279	1,5154	0,0111

Analisando-se os valores obtidos para as densidades dos corpos de prova e registrados na Tabela 4.3, podemos representar em um gráfico, conforme Figura 4.3 para uma melhor visualização dos fatos observados.

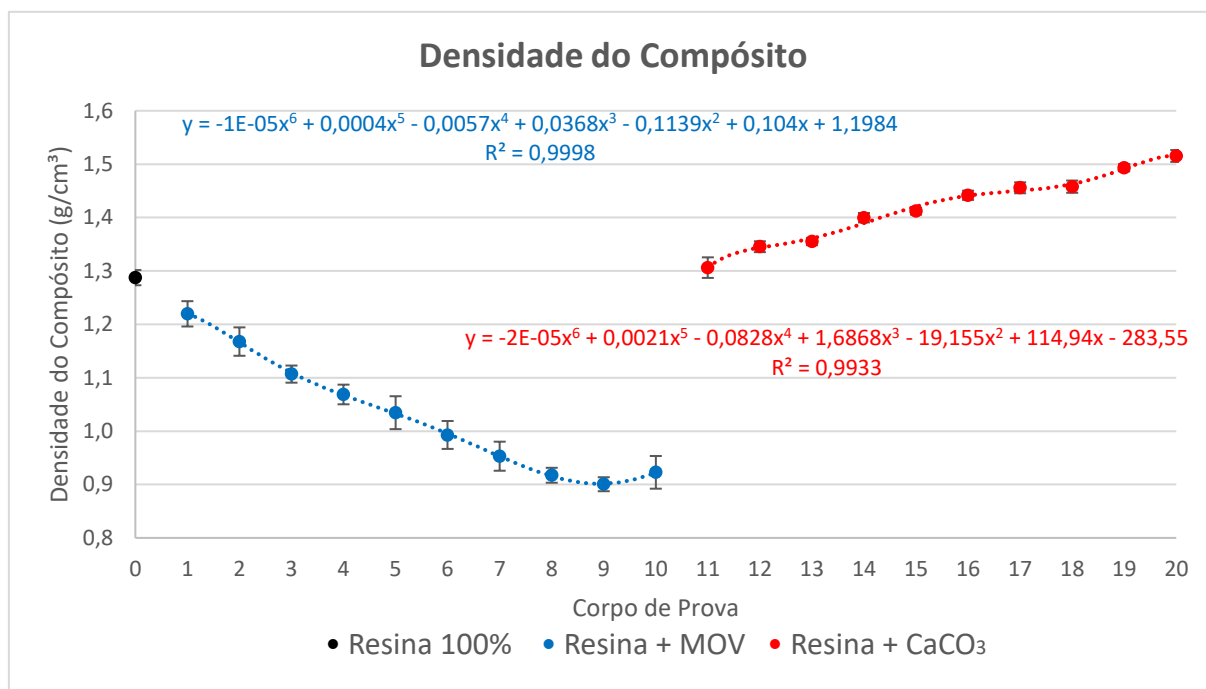


Figura 4.3: Representação gráfica dos valores obtidos das densidades dos compósitos em função dos corpos de prova.

Mediante a análise da Figura 4.3, podemos observar que as densidades dos corpos de prova, o qual representa um compósito formado de resina e seus aditivos associado a parte estrutural formado pelas fibras de vidro, estão com seus valores em patamares superiores devido ao fato de estarem acrescidos das mantas de fibra de vidro. A fibra de vidro, conforme relatado na seção 2.2.3, confere resistência mecânica aos compósitos. A massa por unidade de área da manta de fibra de vidro utilizada nos corpos de provas, é de 800 g/m² e este material contribui de forma a aumentar as densidades das misturas até então aqui estudadas.

A densidade do corpo de prova CP-00, cujo valor médio encontrado é de 1,2875 g/cm³ está sendo considerado como referencial para a análise da influência da inclusão de aditivos na mistura. A inclusão de MOV na resina, representada nos corpos de prova CP-01 ao CP-10, resultou em redução na densidade destes compósitos de forma proporcional ao acréscimo em massa deste aditivo à mistura.

Especificamente o ponto do CP-10 ter apresentado valor fora da curva, ele não representa uma tendência de alteração da curva. A inclusão de CaCO_3 na resina, representada nos corpos de prova CP-11 ao CP-20, resultou em aumento das densidades deste compósito de forma proporcional ao acréscimo em massa deste aditivo à mistura.

A Figura 4.4 representa o gráfico comparativo entre as densidades obtidas nas Figuras 4.1, 4.2 e 4.3 correspondentes as misturas da resina e seus respectivos aditivos antes e após a catálise bem como dos compósitos formados por estas misturas e associados as fibras de vidro.

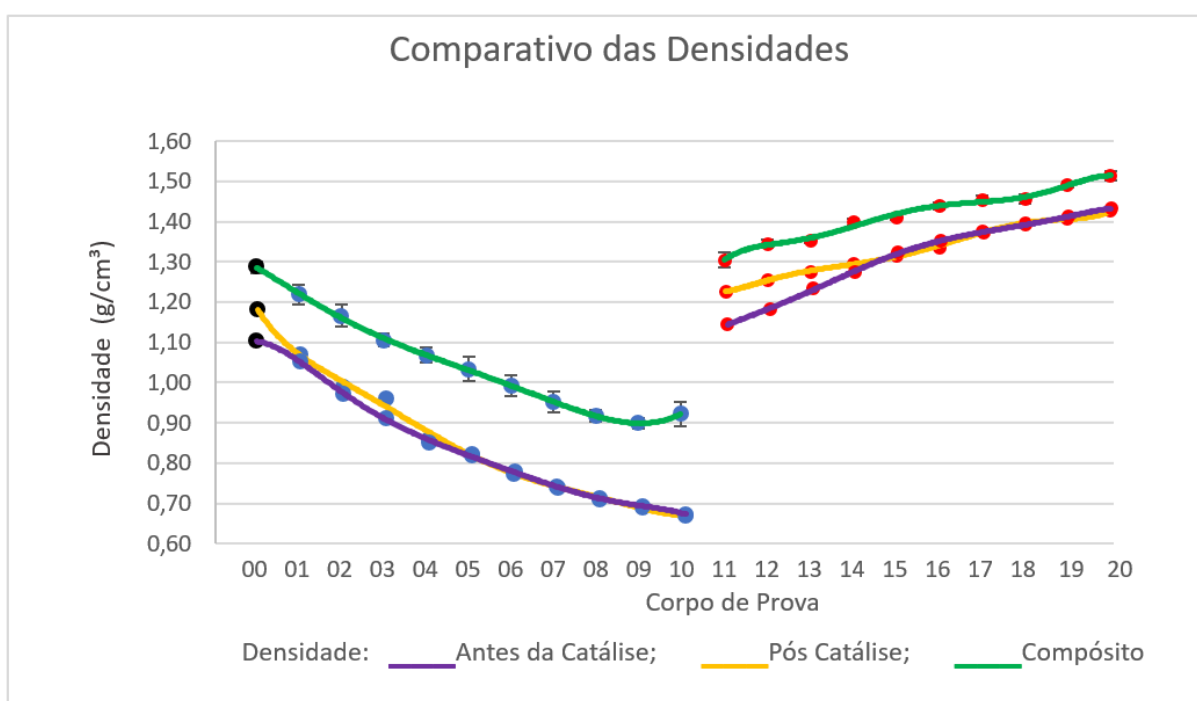


Figura 4.4: Representação gráfica do comparativo das densidades dos compósitos e misturas das resinas antes e após a catalisação em função do corpo de prova.

Pela observação da Figura 4.4, podemos notar uma pequena elevação nos valores das densidades para um mesmo corpo de prova, isso se deve ao fato da redução do volume da mistura da resina após a sua catalise. O compósito representa a configuração final do produto, a inclusão de reforços de fibra de vidro junto a mistura da resina aumenta a concentração de vidro na mistura. Sendo a densidade do vidro

maior que a da mistura da resina para cada corpo de prova, ocasiona dessa maneira, um aumento da sua densidade quando comparado apenas com a mistura da resina.

A medida em que se aumenta a porcentagem do aditivo de MOV na resina, as densidades diminuem conforme já mencionado anteriormente e com o aumento das porcentagens de CaCO_3 , ocorre também o aumento das suas respectivas densidades, conforme esperado.

4.2 Ensaio de contração dimensional pós cura

A Tabela 4.4 mostra os valores da contração linear de cada corpo de prova, estes estão expressos em milímetros e representa a contração de um comprimento inicial de 1000 mm.

Tabela 4.4: Contração por metro linear de corpos de prova pós cura.

Corpo de Prova	Contração Linear Pós Cura (mm/m)
CP -00	26,1
CP -01	18,0
CP -02	17,6
CP -03	17,2
CP -04	12,0
CP -05	9,8
CP -06	8,8
CP -07	10,1
CP -08	9,6
CP -09	6,1
CP -10	8,4
CP -11	26,2
CP -12	25,1
CP -13	24,4
CP -14	21,6
CP -15	24,7
CP -16	18,6
CP -17	21,7
CP -18	20,4
CP -19	18,9
CP -20	17,2

Conforme valores obtidos para as contrações lineares dos corpos de prova após a sua catálise e registrados na Tabela 4.4, podemos montar um gráfico, conforme representado pela Figura 4.5, para uma melhor visualização dos resultados:

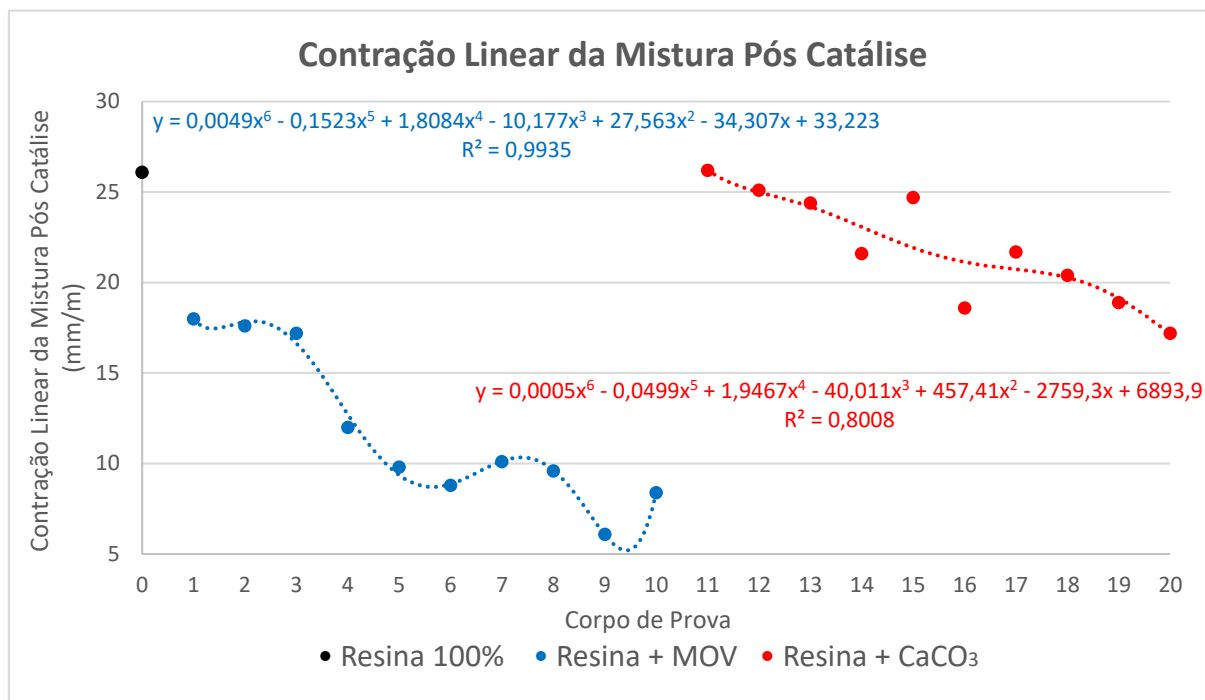


Figura 4.5: Representação gráfica dos valores obtidos das contrações lineares das misturas pós catálise em função dos corpos de prova.

Conforme observado na Figura 4.5, o fenômeno característico da redução do volume da resina e da mistura com aditivos pós catálise contribui para o melhor entendimento do fenômeno aqui estudado da contração linear de cada corpo de prova.

Analisando-se a Figura 4.5 podemos observar que para os corpos de prova CP-01 ao CP-10, na medida em que aumentou-se a porcentagem de MOV reduziu-se a contração linear do corpo de prova. Observou-se nos ensaios realizados que o resultado não ocorreu de forma proporcional ao aumento do aditivo na mistura, porem evidenciou-se que com o aumento da porcentagem deste aditivo existe uma tendência de reduzir as contrações lineares proporcionando uma maior estabilidade dimensional para a mistura.

Para os corpos-de-prova CP-11 ao CP-20 também e observado uma tendência de redução nas contrações lineares das misturas na medida em que se aumenta a porcentagem da massa de CaCO₃. Comparando-se os aditivos de CaCO₃

com a MOV nota-se que no caso das microesferas ocas de vidro ocorreu uma menor contração linear, o que demonstra uma maior estabilidade dimensional da mistura após sua cura. Estima-se este fenômeno esteja relacionado a sua forma geométrica esférica oca e a aderência superficial do seu material, Borosilicato de Sódio e Cálcio com a resina tenha influenciado nestes resultados, cabendo uma sugestão para futuras investigações focadas neste fenômeno.

A oscilação dos valores obtidos para cada corpo de prova em torno da curva levantada, independentemente do tipo de aditivo estudado, pode ser decorrente dos pontos de inicialização aleatórios da polimerização da resina, da sua velocidade de reação no interior do volume das amostras e das concentrações dos aditivos nestas regiões de início de polimerização.

Vale ressaltar que os corpos de provas ensaiados são formados apenas pela fase contínua polimérica de um compósito sem a presença das fibras estruturantes que conferem maior resistência e estabilidade dimensional ao compósito.

4.3 Ensaio de viscosidade da mistura

As leituras das viscosidades de cada corpo de prova foram registradas conforme a Tabela 4.5.

Tabela 4.5: Viscosidade da mistura de corpos de prova.

Corpo de Prova	Viscosidade Brookfield da Mistura (cP)
CP -00	120
CP -01	160
CP -02	192
CP -03	256
CP -04	384
CP -05	640
CP -06	960

CP -07	1440
CP -08	2144
CP -09	3968
CP -10	7400
CP -11	192
CP -12	192
CP -13	192
CP -14	192
CP -15	192
CP -16	192
CP -17	192
CP -18	192
CP -19	224
CP -20	256

A viscosidade Brookfield das misturas é uma variável de grande importância na realização do processo de transformação “HLU”, pois ela influencia na impregnação e molhabilidade do reforço de fibra de vidro no momento da laminação da resina. No processo “*SPRAY-UP*” além desses fatores existe também há influência na passagem da mistura da resina pelo mecanismo de bombeamento e pistola picotadora dos fios de fibra de vidro durante a pulverização da resina sobre o molde. No processo “RTM”, sua influência fica por conta do esforço na unidade de bombeamento da mistura da resina e catalisador para dentro do molde, além de interferir no caminho de escoamento por entre as mantas de fibra de vidro no interior do molde.

De acordo com as características de cada processo produtivo, conforme já descrito na seção 2.4, é comum praticar a utilização de resina com viscosidade abaixo de aproximadamente 380 cP para os processos “HLU” e “*SPRAY-UP*” e mistura de resina com aditivos minerais com viscosidade abaixo de aproximadamente 192 cP para o processo “RTM”.

Tomando-se como referência os valores das viscosidades obtidos na Tabela 3.6, construiu-se o gráfico representado na Figura 4.6 para melhor representar os dados obtidos.

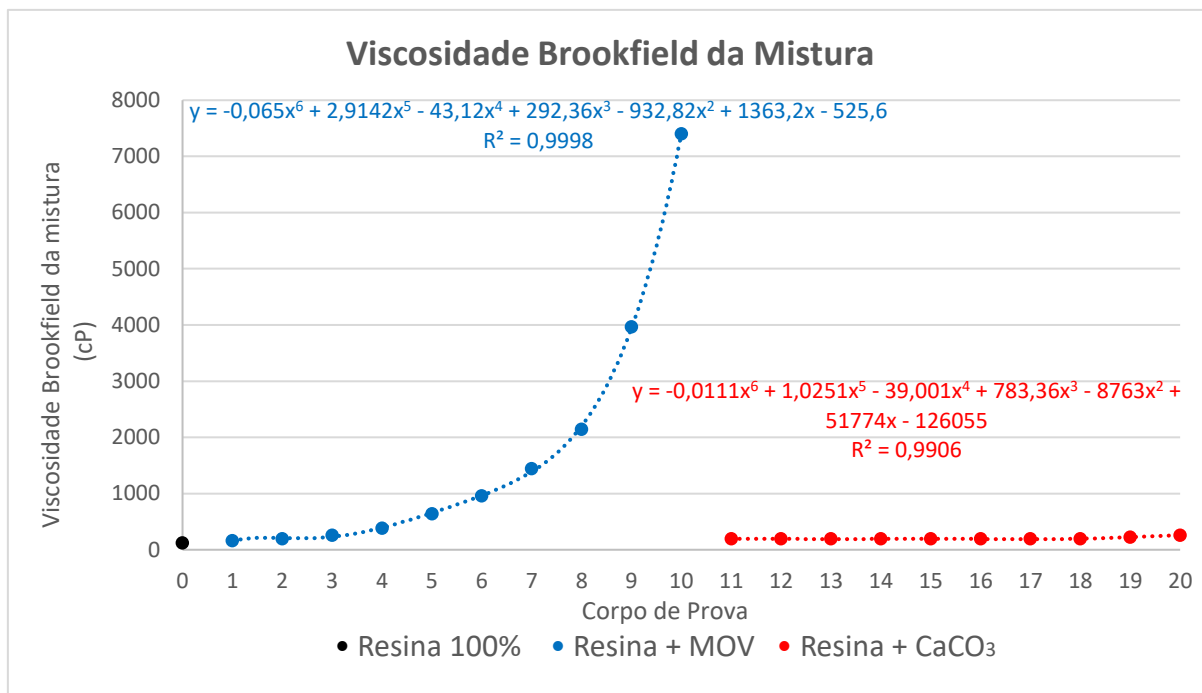


Figura 4.6: Representação gráfica dos valores obtidos das viscosidades Brookfield das misturas em função dos corpos de prova.

Pela Figura 4.6 podemos notar que a viscosidade dos corpos de prova com mistura utilizando aditivo de MOV, correspondente aos corpos de prova CP-01 ao CP-10, variou de forma exponencial com o aumento da porcentagem em massa deste mesmo aditivo, isso significa que até ao CP-02, o qual corresponde a uma viscosidade 192 cP, a mistura poderá ser utilizada no processo “RTM” e até CP- 04, equivalente a um valor de 384 cP, a mistura poderá ser utilizada nos processos de transformações: “HLU” e “*SPRAY-UP*”, sem interferir em seu processo produtivo.

Para os aditivos de CaCO₃, correspondente aos corpos de prova CP-11 ao CP-18, as viscosidades permaneceram praticamente a mesma, notando uma pequena elevação no CP-19 e CP-20. Para este tipo de aditivo a sua inclusão em até 28,57% em massa na resina, correspondente às proporções do CP-16, não afetam os valores das viscosidades, de modo a não influenciar no processo produtivo.

4.4 Módulo de elasticidade à torção – G

Os valores médios obtidos para o módulo de elasticidade e seus respectivos desvio padrão, estão representados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6: Módulo de Elasticidade à Torção – G.

Média do Módulo de Elasticidade à Torção – G (GPa)		
Corpo de Prova	Valor Médio	Desvio Padrão Amostral
CP -00	1,33	0,01
CP -01	1,29	0,01
CP -02	1,22	0,01
CP -03	1,23	0,01
CP -04	1,17	0,01
CP -05	1,13	0,01
CP -06	1,11	0,01
CP -07	1,08	0,01
CP -08	1,03	0,01
CP -09	0,98	0,01
CP -10	0,92	0,01
CP -11	1,49	0,02
CP -12	1,68	0,01
CP -13	1,80	0,03
CP -14	1,86	0,01
CP -15	1,94	0,01
CP -16	2,03	0,02
CP -17	2,07	0,02
CP -18	2,33	0,05
CP -19	2,40	0,00
CP -20	2,50	0,00

Os resultados obtidos para os módulos de elasticidade à torção, conforme Tabela 4.6, estão representados graficamente na Figura 4.7.

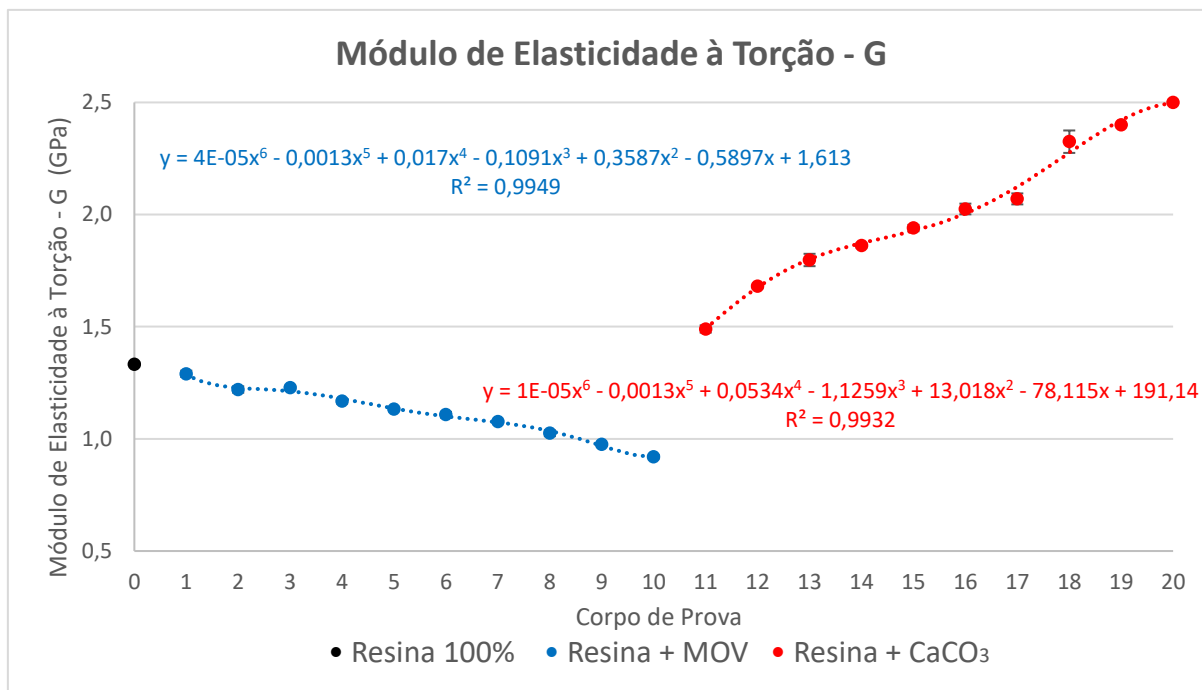


Figura 4.7: Representação gráfica dos valores obtidos dos módulos de elasticidade à torção – G em função dos corpos de prova.

Observa-se na Figura 4.7 que os módulos de elasticidade à torção entre os corpos de prova do tipo I que utilizaram o aditivo de MEOV, representados pelos corpos de prova CP-01 ao CP-10, têm seus valores médios tendendo a reduzir-se com o aumento da porcentagem em massa deste respectivo aditivo comparado aos valores referenciais do CP-00. Isso equivale a dizer que o aumento da porcentagem de MOV na composição da resina, ocorre a diminuição da sua rigidez na fase polimérica do compósito.

Para os corpos de prova CP-11 ao CP-20, os quais foram utilizados aditivos de CaCO₃, observa-se uma tendência de elevação nos valores dos módulos de elasticidade à torção, comparados ao valor referencial do CP-00. Este fenômeno equivale a dizer que o aumento da porcentagem de CaCO₃ na composição da resina promove o aumento da rigidez da fase polimérica do compósito.

4.5 Coeficiente de atrito dinâmico – COF

Os resultados obtidos para a curva do coeficiente de atrito dinâmico – COF utilizando-se aditivos de MEOV estão representados na Figura 4.8.

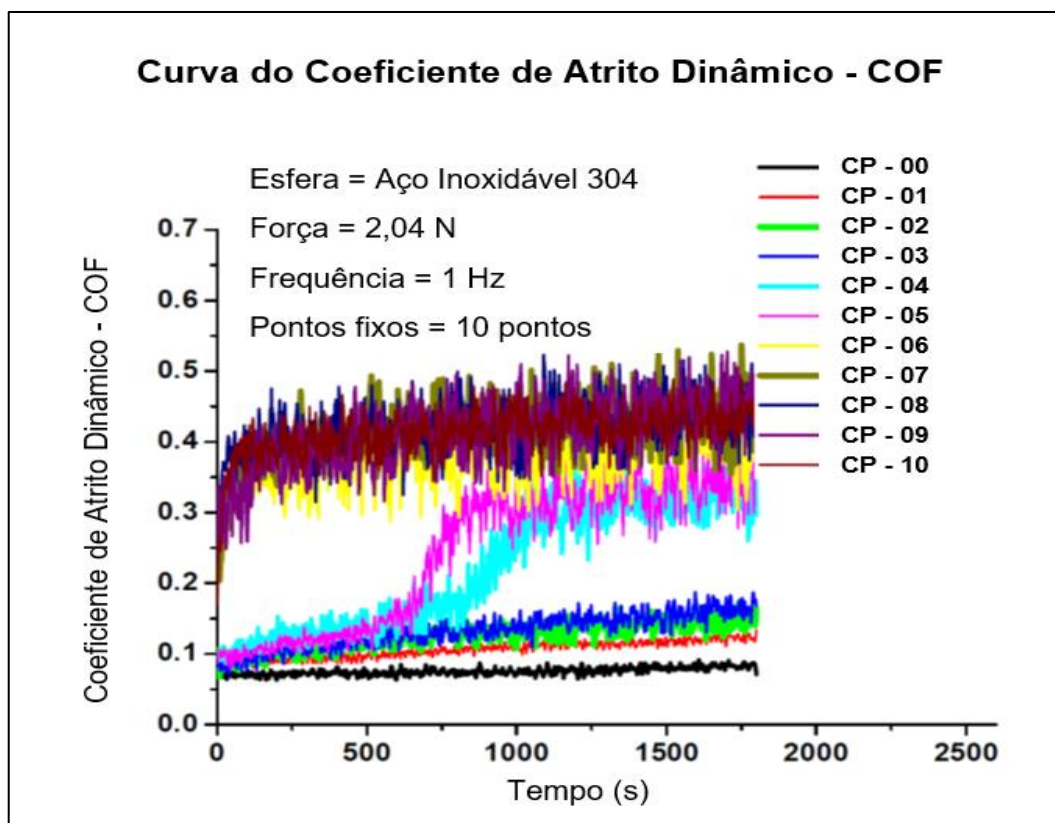


Figura 4.8: Gráfico representativo das curvas dos coeficientes de atrito dinâmico - COF dos corpos de prova com MOV em função do tempo de ensaio.

A Figura 4.8 indica que para os corpos de prova CP-01 ao CP- 03 houve um aumento proporcional do coeficiente de atrito dinâmico –COF com o tempo de duração do ensaio e observou-se também um aumento do COF decorrente do aumento da porcentagem de microesferas ocas de vidro na mistura. Especificamente para os corpos de provas CP-04 e CP-05 observa-se as mesmas características com a ressalva um aumento brusco nos valores do COF quando decorrido o tempo de 750 s do início do ensaio, chegando a elevar cerca de quatro vezes o valor do COF a partir deste ponto.

Para os corpos de prova CP-06 ao CP-10 nota-se o mesmo efeito do aumento do COF em função do aumento do tempo de ensaio e do aumento da porcentagem de microesferas ocas de vidro na mistura, porém seguindo uma defasagem em seus

valores do COF cerca de quatro vezes maior comparado aos valores referentes ao corpo de prova referencial CP-00 desde os segundos iniciais dos testes.

Os resultados obtidos para a curva do coeficiente de atrito dinâmico – COF utilizando-se aditivos de CaCO_3 estão representados na Figura 4.9.

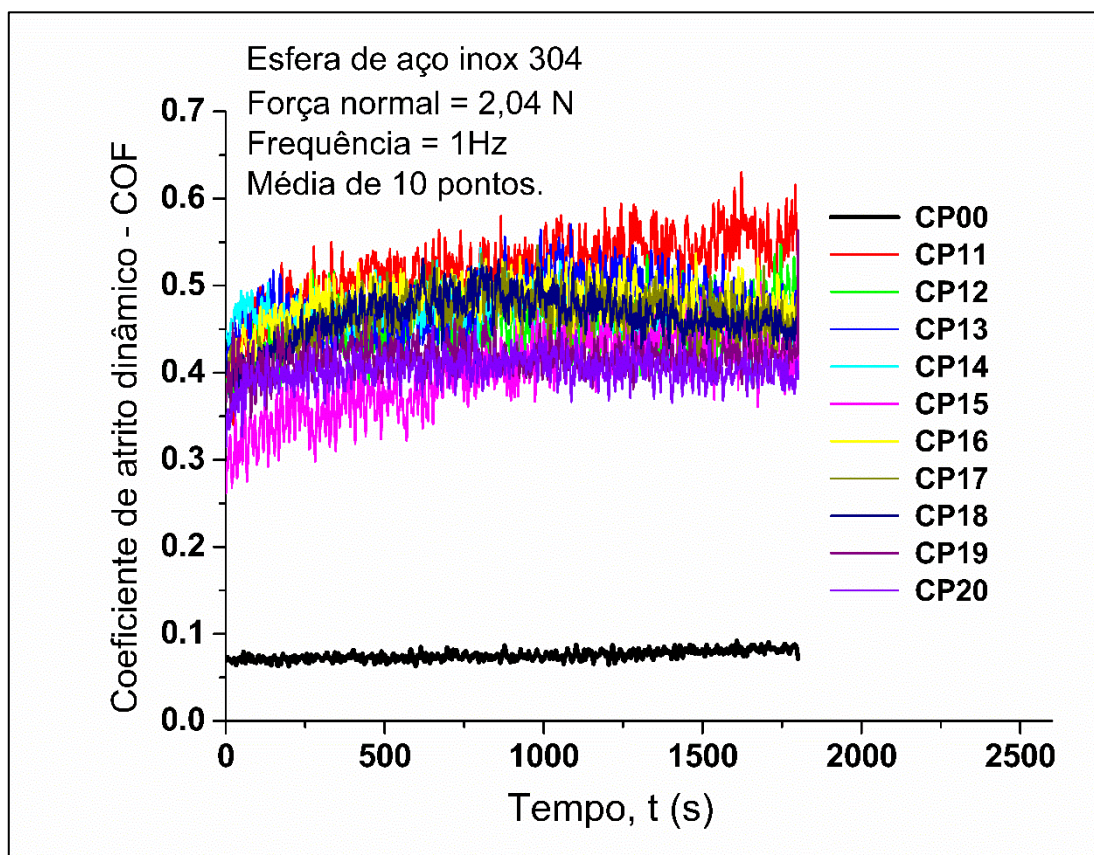


Figura 4.9: Gráfico representativo das curvas dos coeficientes de atrito dinâmico - COF dos corpos de prova com CaCO_3 em função do tempo de ensaio.

Pela Figura 4.9, os ensaios realizados com CaCO_3 representam o mesmo efeito do aumento do COF em função do aumento do tempo de ensaio, porém seguindo uma defasagem em seus valores do COF cerca de cinco vezes maior comparado aos valores referentes ao corpo de prova referencial CP-00 desde os segundos iniciais dos testes. Observa-se também, através do gráfico, uma pequena evidência dos valores do COF ser ligeiramente menor para maiores porcentagens de CaCO_3 na mistura e a partir do tempo em torno de 750 s alguns valores do COF de corpos de prova de maior porcentagem apresentam uma pequena queda.

4.6 Ensaio de tração

O ensaio de tração engloba a determinação da carga de ruptura, alongamento até o ponto de ruptura e a determinação do limite de resistência à tração. Todas as amostras ensaiadas seguiram as recomendações da norma ASTM D638. Para cada tipo de corpo de prova registrou-se a média aritmética dos valores encontrados e seus respectivos desvios padrão.

As fibras de vidro, conforme já visto na seção 2.2.3, são responsáveis pelo oferecimento de resistência mecânica aos compósitos, sendo a resina o componente que confere a coesão entre as fibras, garantindo a sua união e a continuidade da transmissão das cargas entre elas. Estima-se que a amplitude dos valores encontrados nos ensaios de tração seja decorrente das orientações aleatórias das fibras de vidro durante o processo de fabricação das mantas.

Os resultados obtidos para a carga de ruptura, alongamento e resistência à ruptura a tração, estão relacionados na Tabela 4.7.

Tabela 4.7: Carga de ruptura, alongamento e resistência à tração.

Corpo de Prova	Carga de Ruptura (N)		Alongamento (%)		Resistência à Tração (MPa)	
	Valor	Desvio	Valor	Desvio	Valor	Desvio
	Médio	Padrão	Médio	Padrão	Médio	Padrão
CP -00	1967,74	139,58	6,87	0,73	50,46	3,58
CP -01	1992,05	281,71	7,04	0,87	51,08	7,22
CP -02	2107,38	346,99	6,77	0,72	54,03	8,90
CP -03	2128,49	181,36	6,49	0,38	54,58	4,65
CP -04	2181,48	382,66	7,17	0,69	55,94	9,81
CP -05	1824,71	240,41	6,93	0,90	46,79	6,16
CP -06	1882,54	363,24	7,23	0,95	48,27	9,31
CP -07	1984,06	249,39	8,29	0,65	50,87	6,39
CP -08	2116,86	257,91	8,64	0,75	54,28	6,61
CP -09	1992,06	130,52	7,74	0,39	51,08	3,35
CP -10	1899,82	396,13	7,73	0,95	48,71	10,16
CP -11	2073,09	415,72	7,51	0,73	53,16	10,66
CP -12	2150,66	378,98	7,73	0,74	55,14	9,72
CP -13	2431,27	276,28	7,91	0,69	62,34	7,08

CP -14	2186,49	309,14	8,01	0,82	56,06	7,93
CP -15	2153,18	208,84	7,76	0,62	55,21	5,36
CP -16	2117,30	489,74	7,52	1,43	54,29	12,56
CP -17	2194,75	389,87	8,14	0,91	56,28	10,00
CP -18	2154,71	332,28	7,96	1,10	55,25	8,52
CP -19	2230,73	338,81	8,22	0,93	57,20	8,69
CP -20	2375,79	509,27	8,23	0,96	60,92	13,06

Para uma melhor representatividade dos valores obtidos e facilitar a interpretação dos resultados observados, construiu-se respectivamente as Figuras 4.10, 4.11 e 4.12 abaixo:

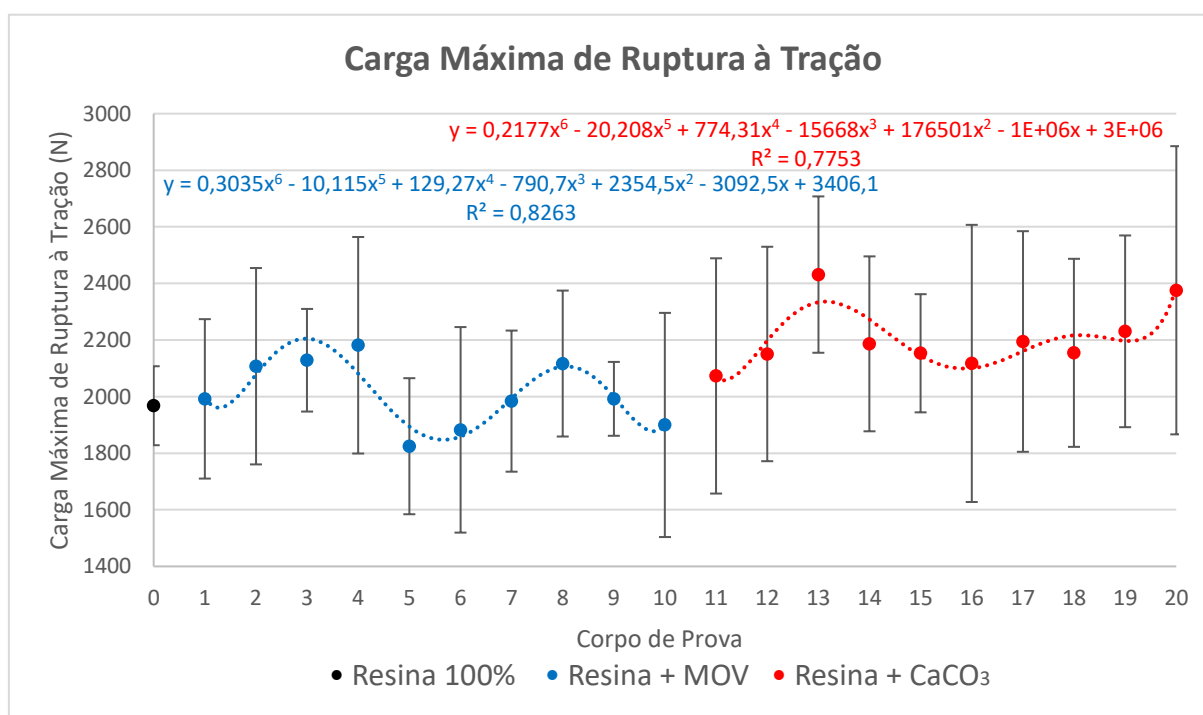


Figura 4.10: Representação gráfica dos valores das cargas de ruptura à tração em função dos corpos de prova.

Observa-se na Figura 4.10 que as cargas de ruptura entre os corpos de prova que utilizaram o aditivo de MOV, representados pelos corpos de prova CP-01 ao CP-10, tiveram seus valores médios oscilando em torno do valor referencial CP-00. Para os corpos de prova CP-01, CP-02, CP-03, CP-04 e CP-08 houve um aumento na carga de ruptura e para os CP-05, CP-06 e CP-10 houve uma diminuição na carga

de ruptura. Observa-se que não houve uma tendência de alteração nos valores das cargas de ruptura com o aumento da porcentagem do aditivo de MOV.

Para os corpos de prova CP-11 ao CP-20, os quais foram utilizados aditivos de carbonato de cálcio, observa-se uma tendência de elevação nos valores das cargas de ruptura comparada ao valor referencial do CP-00. Excetuando-se o valor da carga de ruptura do CP-13, o qual apresentou um salto relevante no valor da carga de ruptura, nota-se que com o aumento da porcentagem do aditivo de CaCO_3 há uma suave tendência na elevação dos valores de ruptura.

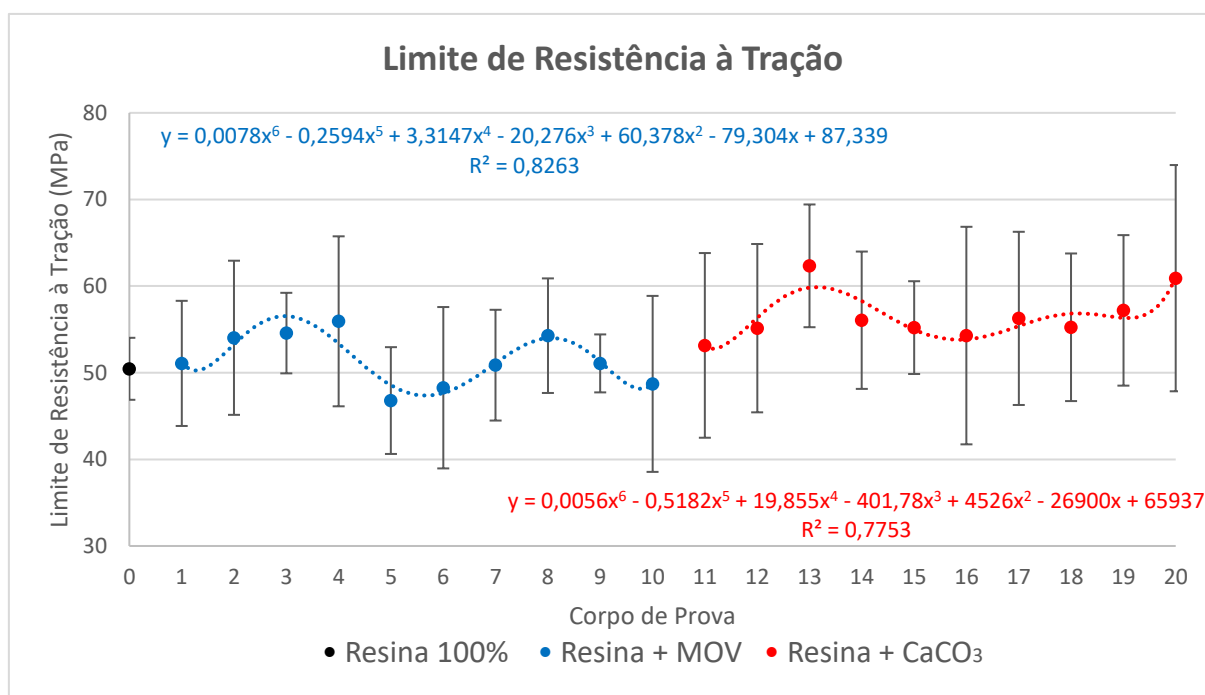


Figura 4.11: Representação gráfica dos valores obtidos dos limites de resistência à tração em função dos corpos de prova.

A Figura 4.11 representa os valores médios do limite de resistência à tração de cada corpo de prova e de forma semelhante ao gráfico na Figura 4.8 da carga de ruptura a tração, apresenta o mesmo comportamento em função do tipo de carga utilizada e porcentagem utilizada nos corpos de prova. Desta forma, podemos constatar pelos corpos de prova CP-01 ao CP-10, que os limites de resistência à tração tiveram seus valores médios oscilando em torno do valor referencial CP-00. Para os corpos de prova CP-01, CP-02, CP-03, CP-04 e CP-08 houve um aumento da resistência à ruptura e para os CP-05, CP-06 e CP-10 houve uma diminuição na

resistência à ruptura. Observa-se que o aumento da porcentagem do aditivo de MOV não evidencia uma tendência de alteração nos valores das resistências à tração.

Para os corpos de prova CP-11 ao CP-20, os quais foram utilizados aditivos de CaCO_3 , observa-se uma tendência de elevação nos valores das resistências à tração comparada ao valor referencial do CP-00. Excetuando-se o valor da carga de ruptura do CP-13, o qual apresentou um salto relevante no valor da sua resistência à tração, nota-se que com o aumento da porcentagem do aditivo de CaCO_3 há uma suave tendência na elevação da resistência à tração.

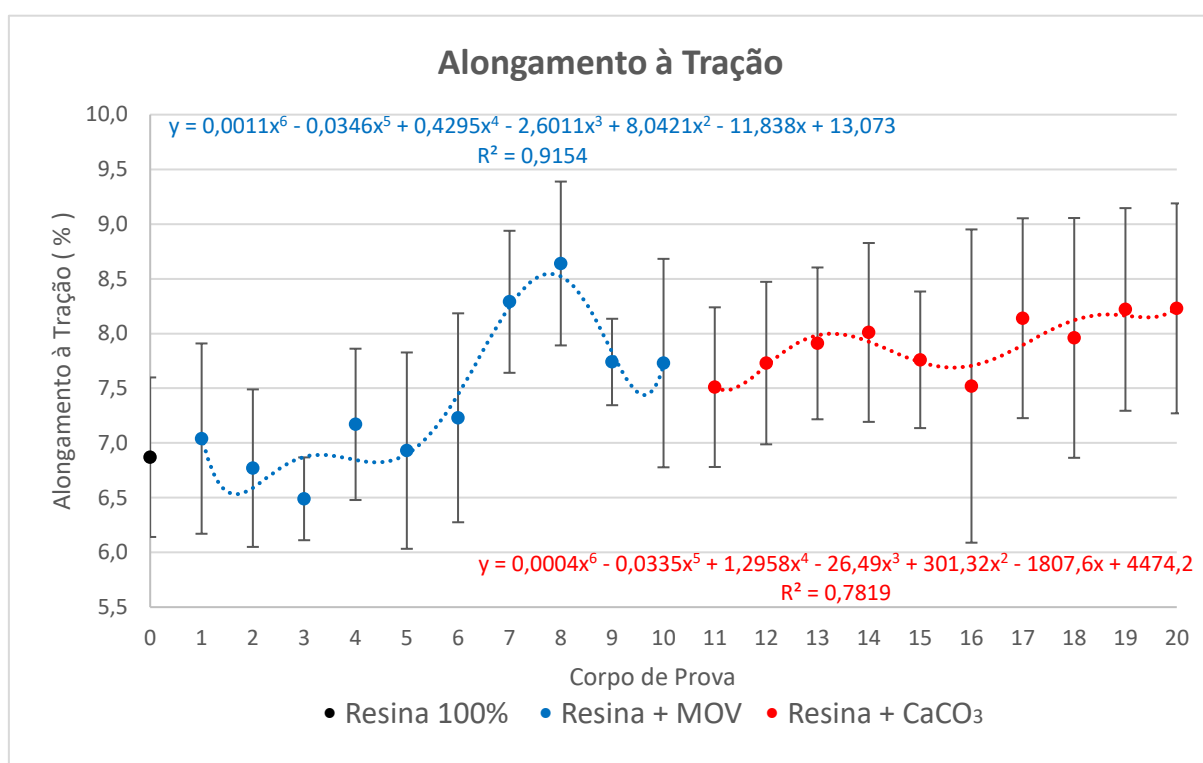


Figura 4.12: Representação gráfica dos valores obtidos dos alongamentos à tração em função dos corpos de prova.

Pela Figura 4.12 acima podemos notar que para os corpos de prova CP-01 ao CP-10 houve uma tendência de aumento nos valores dos alongamentos antes da ruptura diretamente proporcional ao aumento da porcentagem do aditivo de MOV. O mesmo fenômeno também é observado de forma mais suave nos corpos de provas em que foram utilizados aditivos de CaCO_3 . Assim, os corpos de prova CP-11 ao CP-20 houve também uma tendência de aumento para os valores dos alongamentos antes da ruptura diretamente proporcional ao aumento da porcentagem do aditivo de CaCO_3 .

4.7 Ensaio de flexão

O ensaio de flexão abrange a determinação da carga de ruptura, da flecha até o ponto de ruptura e a determinação do limite de resistência à flexão. Todas as amostras ensaiadas seguiram as recomendações da norma ASTM D790. Para cada tipo de corpo de prova registrou-se a média aritmética dos valores encontrados e seus respectivos desvios padrão.

A Tabela 4.8 apresenta os valores médios da carga de flexão, flecha e resistência à ruptura a flexão e seus respectivos desvios padrão para cada amostra do corpo de prova.

Tabela 4.8: Carga de ruptura, flecha e resistência à flexão.

Corpo de Prova	Carga de Ruptura (N)		Flecha (mm)		Resistência à flexão (MPa)	
	Valor Médio	Desvio Padrão	Valor Médio	Desvio Padrão	Valor Médio	Desvio Padrão
CP -00	618,32	91,26	3,56	0,41	205,68	33,36
CP -01	536,76	92,17	3,92	0,51	178,94	33,69
CP -02	428,46	43,02	3,53	0,28	135,34	12,84
CP -03	479,06	95,02	3,38	0,48	129,49	27,09
CP -04	502,31	87,80	3,82	0,46	136,89	23,88
CP -05	437,38	58,21	3,86	0,55	130,18	21,72
CP -06	443,46	84,33	4,91	0,42	151,20	25,25
CP -07	400,41	54,85	4,32	0,54	114,93	15,85
CP -08	312,45	65,59	4,28	0,97	93,42	17,93
CP -09	334,31	88,00	4,85	0,63	97,21	25,53
CP -10	383,44	76,53	4,92	0,64	106,40	20,94
CP -11	443,85	56,07	3,23	0,33	145,39	15,59
CP -12	506,23	76,79	3,58	0,24	170,53	24,42
CP -13	580,07	78,93	3,64	0,39	184,71	25,48
CP -14	514,16	89,15	3,12	0,31	171,44	28,97
CP -15	469,35	108,55	3,54	0,40	155,34	34,89
CP -16	564,77	57,26	3,61	0,53	184,71	23,11
CP -17	615,77	75,69	3,87	0,50	202,15	21,30
CP -18	478,97	74,67	3,32	0,38	166,40	25,41
CP -19	522,70	79,91	3,55	0,31	167,86	29,05
CP -20	601,70	89,35	3,66	0,21	190,30	25,45

As fibras de vidro, conforme já visto na seção 2.2.3, são responsáveis pelo oferecimento de resistência mecânica aos compósitos, sendo a resina o componente que confere a coesão entre as fibras, garantindo a sua união e a continuidade da transmissão das cargas entre elas. Estima-se que a amplitude dos valores encontrados nos ensaios de tração seja decorrente das orientações aleatórias das fibras de vidro durante o processo de fabricação das mantas.

Os resultados obtidos para a carga de ruptura, flecha e resistência à ruptura a flexão, conforme Tabela 4.8, estão respectivamente representados nas Figuras 4.13, 4.14 e 4.15 para melhor entendimento e análise dos seus valores.

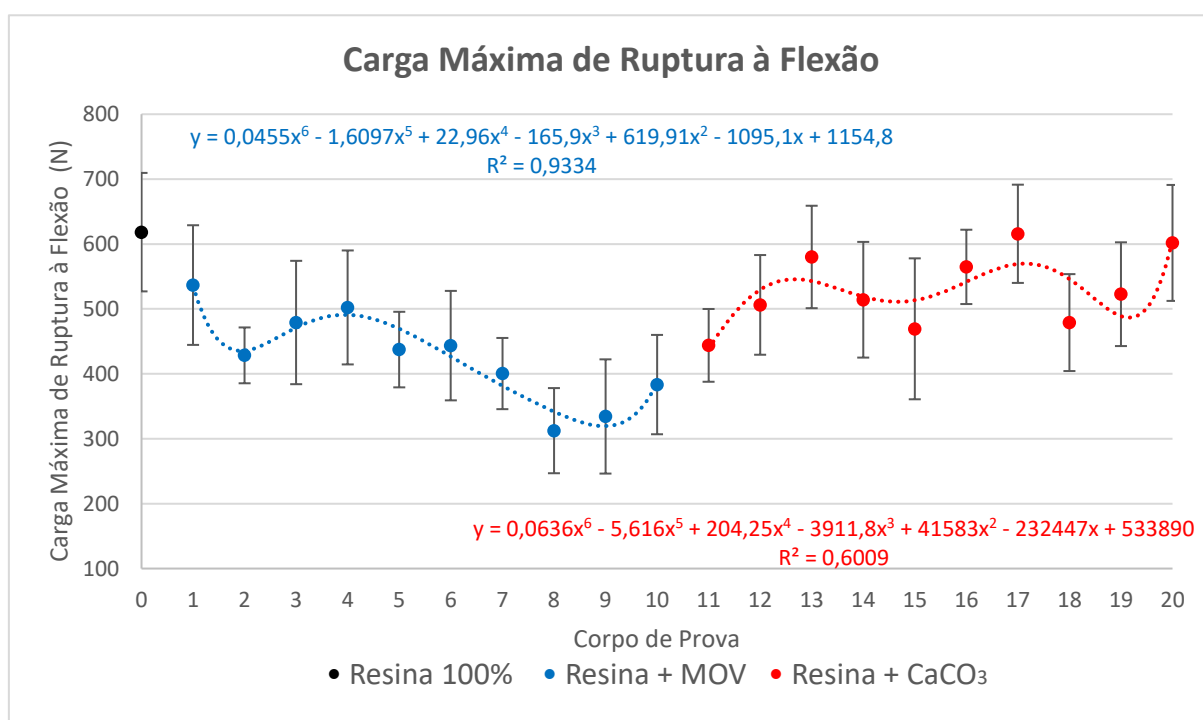


Figura 4.13: Representação gráfica dos valores obtidos das cargas máximas à flexão em função dos corpos de prova.

Observa-se na Figura 4.13 acima que as cargas de ruptura à flexão entre os corpos de prova CP-01 e CP-10 tiveram seus valores médios abaixo do valor referencial, CP-00. Nota-se que os valores das cargas de ruptura à flexão apresentam uma tendência a ser menor à medida que se aumenta a porcentagem do aditivo de MOV na mistura da resina poliéster insaturada.

Para os corpos de provas CP-11 ao CP-20 também é observado seus valores médios abaixo do valor referencial CP-00, porem diferentemente aos corpos

de prova CP-01 ao CP-10, os corpos de prova aditivados com CaCO_3 , representados pelos corpos de provas CP-11 ao CP-20 apresentaram uma tendência e elevação nos valores das cargas proporcionalmente ao aumento na porcentagem do aditivo na mistura.

Os resultados obtidos para os limites de resistências à flexão, conforme Tabela 4.8, estão representados na Figura 4.14.

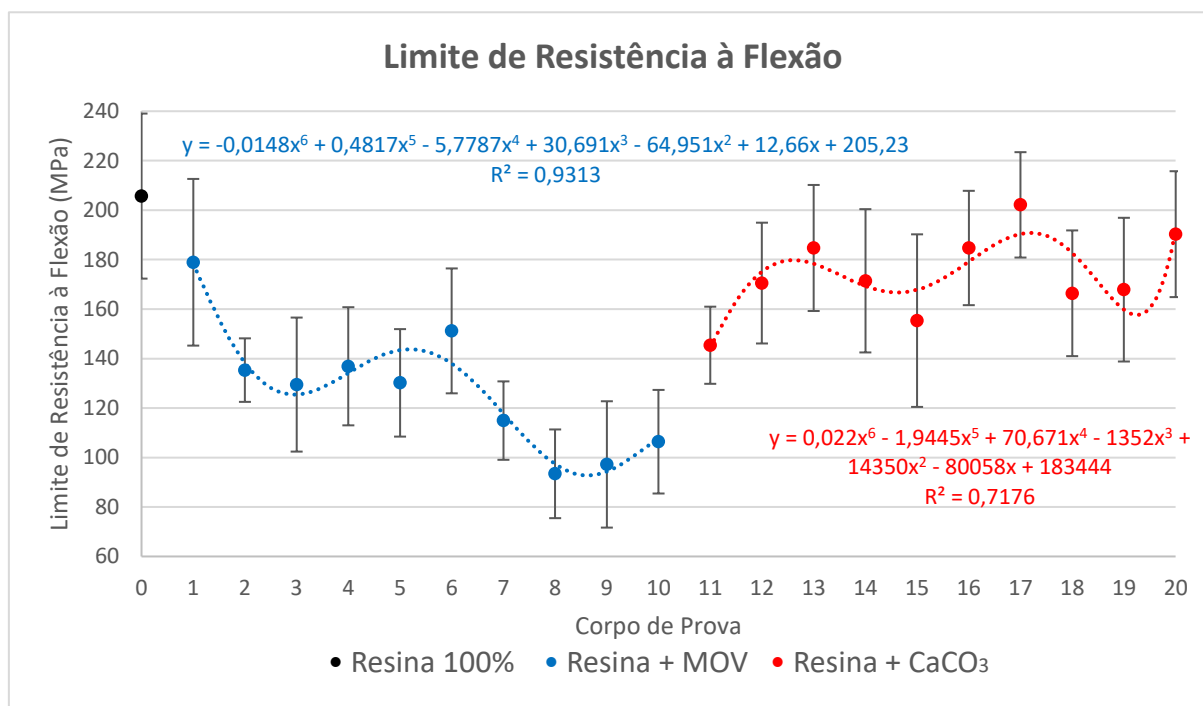


Figura 4.14: Representação gráfica dos valores obtidos dos limites de resistência à flexão em função dos corpos de prova.

Observa-se na Figura 4.14 acima que os limites de resistências à flexão entre os corpos de prova CP-01 e CP-10 tiveram seus valores médios abaixo do valor referencial, CP-00. Nota-se que os valores das resistências à flexão apresentam uma tendência a ser menor à medida que se aumenta a porcentagem do aditivo de MOV na mistura da resina poliéster insaturada.

Para os corpos de prova CP-11 ao CP-20 também é observado seus valores médios abaixo do valor referencial CP-00, porem diferentemente aos corpos de prova CP-01 ao CP-10, os corpos de prova aditivados com CaCO_3 , representados pelos corpos de prova CP-11 ao CP-20 apresentaram uma tendência e elevação nos valores das resistências à flexão proporcionalmente ao aumento na porcentagem do aditivo na mistura.

Observando-se os resultados para a média das flechas obtidas dos ensaios à flexão, conforme Tabela 4.8, podemos representá-los graficamente conforme Figura 4.15 abaixo:

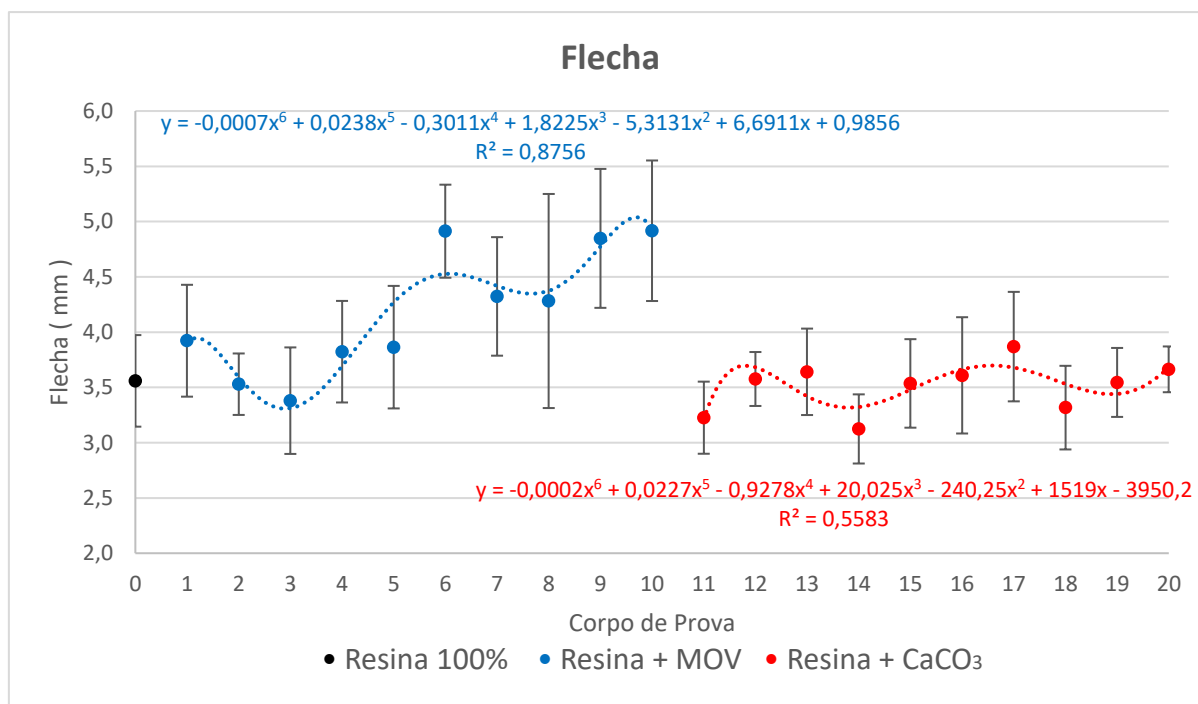


Figura 4.15: Representação gráfica dos valores obtidos das flechas em função dos corpos de prova.

Pela Figura 4.15 acima podemos notar que para os corpos de prova CP-01 ao CP-10 houve uma tendência de aumento nos valores das flechas antes da ruptura, sendo estes diretamente proporcionais ao aumento da porcentagem do aditivo de MOV. O mesmo fenômeno não ocorre com a mesma intensidade para os corpos de prova em que foram utilizados aditivos de CaCO₃. Sendo assim, os corpos de prova CP-11 ao CP-20 tiveram seus valores oscilando em torno do valor referencial representado pelo CP-00, de modo a evidenciar uma tendência de pouca oscilação em torno dos valores médios obtidos, com o aumento da porcentagem de aditivo de CaCO₃ utilizado na mistura.

4.8 – Ensaio de impacto

Os valores médios obtidos nos ensaios de impacto e seus respectivos desvio padrão foram registrados na tabela 4.9, abaixo.

Tabela 4.9: Resistência ao impacto- IZOD.

Corpo de Prova	Resistência ao impacto – IZOD (kJ/m ²)	
	Valor Médio	Desvio Padrão Amostral
CP -00	36,02	5,15
CP -01	34,06	3,28
CP -02	36,81	6,05
CP -03	35,18	3,57
CP -04	40,77	4,40
CP -05	32,21	4,46
CP -06	35,61	3,26
CP -07	34,84	5,53
CP -08	35,69	5,15
CP -09	32,54	4,35
CP -10	29,74	4,02
CP -11	37,33	6,80
CP -12	36,35	5,94
CP -13	35,00	3,64
CP -14	38,15	7,05
CP -15	32,81	2,75
CP -16	34,61	3,61
CP -17	41,03	4,02
CP -18	35,19	3,23
CP -19	35,18	4,08
CP -20	39,05	5,30

Os resultados obtidos para as resistências ao impacto, conforme Tabela 4.9, estão representados graficamente na Figura 4.16.

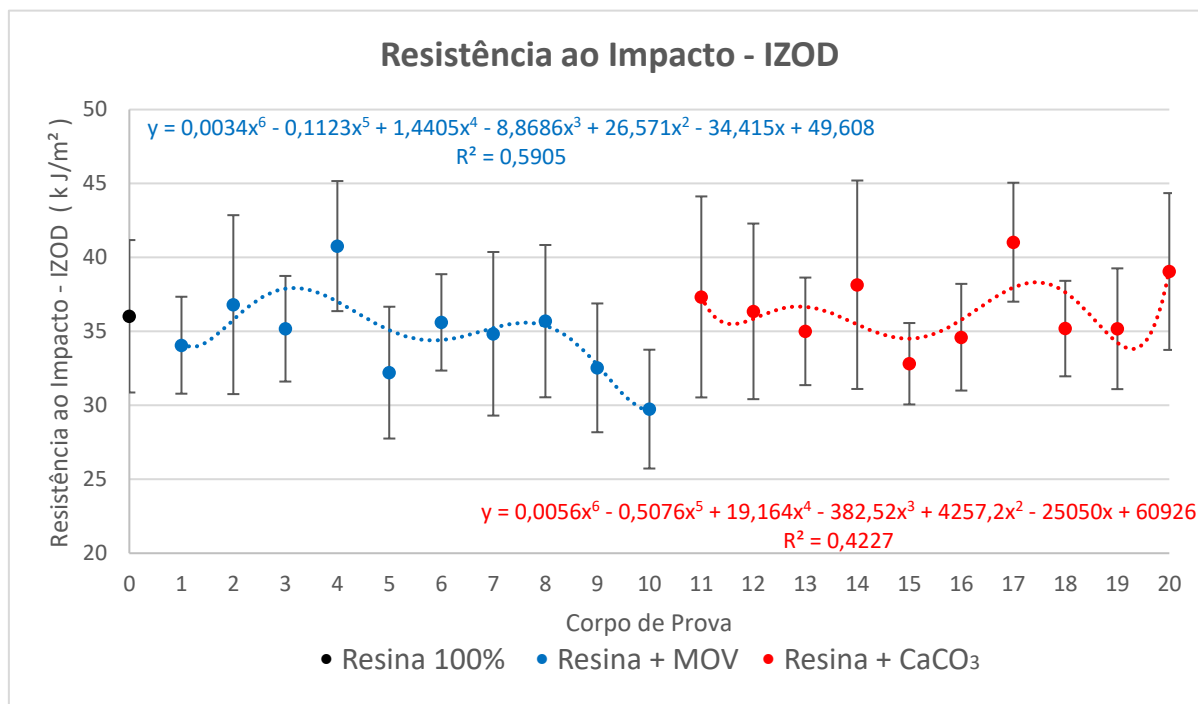


Figura 4.16: Representação gráfica dos valores obtidos das resistências ao impacto em função dos corpos de prova.

Pela Figura 4.16, com a exceção dos valores dos corpos de prova CP-02 e CP-04, os demais valores encontrados apresentam valores inferiores ao valor de referência do CP-00. Podemos notar que para os corpos de prova CP-01 ao CP-10 houve uma tendência de redução nos valores das resistências ao impacto com o aumento da porcentagem do aditivo de MOV. O mesmo fenômeno não ocorre com os corpos de prova em que foram utilizados aditivos de CaCO₃. Sendo assim, os corpos de prova CP-11 ao CP-20 tiveram seus valores oscilando em torno do valor referencial representado pelo CP-00, de modo a evidenciar uma tendência de pouca oscilação em torno dos valores médios obtidos correspondente ao aumento da porcentagem de aditivo de CaCO₃ utilizado na mistura.

Assim como nos ensaios de tração e flexão as fibras de vidro, conforme já visto no capítulo 2.2.3, são responsáveis pelo oferecimento de resistência mecânica aos compósitos, sendo a resina o componente que confere a coesão entre as fibras, garantindo a sua união e a continuidade da transmissão das cargas entre elas. Estima-

se que a amplitude dos valores encontrados nos ensaios de impacto também seja decorrente das orientações aleatórias das fibras de vidro durante o processo de fabricação das mantas.

4.9 – Ensaio de dureza

A tabela 4.10 abaixo, contempla a média dos valores obtidos para a dureza Barcol e seus respectivos desvios padrão.

Tabela 4.10: Dureza Barcol.

Corpo de Prova	Dureza Barcol (HBa)	
	Valor Médio	Desvio Padrão Amostral
CP -00	51,30	4,76
CP -01	33,60	7,55
CP -02	27,00	6,29
CP -03	32,60	7,17
CP -04	23,80	4,42
CP -05	17,30	5,12
CP -06	9,40	6,80
CP -07	5,50	6,77
CP -08	4,00	5,48
CP -09	2,78	3,19
CP -10	1,86	3,18
CP -11	50,75	5,85
CP -12	50,20	4,73
CP -13	53,30	3,71
CP -14	56,30	5,08
CP -15	57,50	7,01
CP -16	54,70	6,65
CP -17	54,80	3,22
CP -18	54,50	2,37
CP -19	53,25	4,40
CP -20	53,80	5,25

Os resultados dos valores médios obtidos no ensaio da dureza Barcol, conforme Tabela 4.10, estão representados graficamente na Figura 4.17.

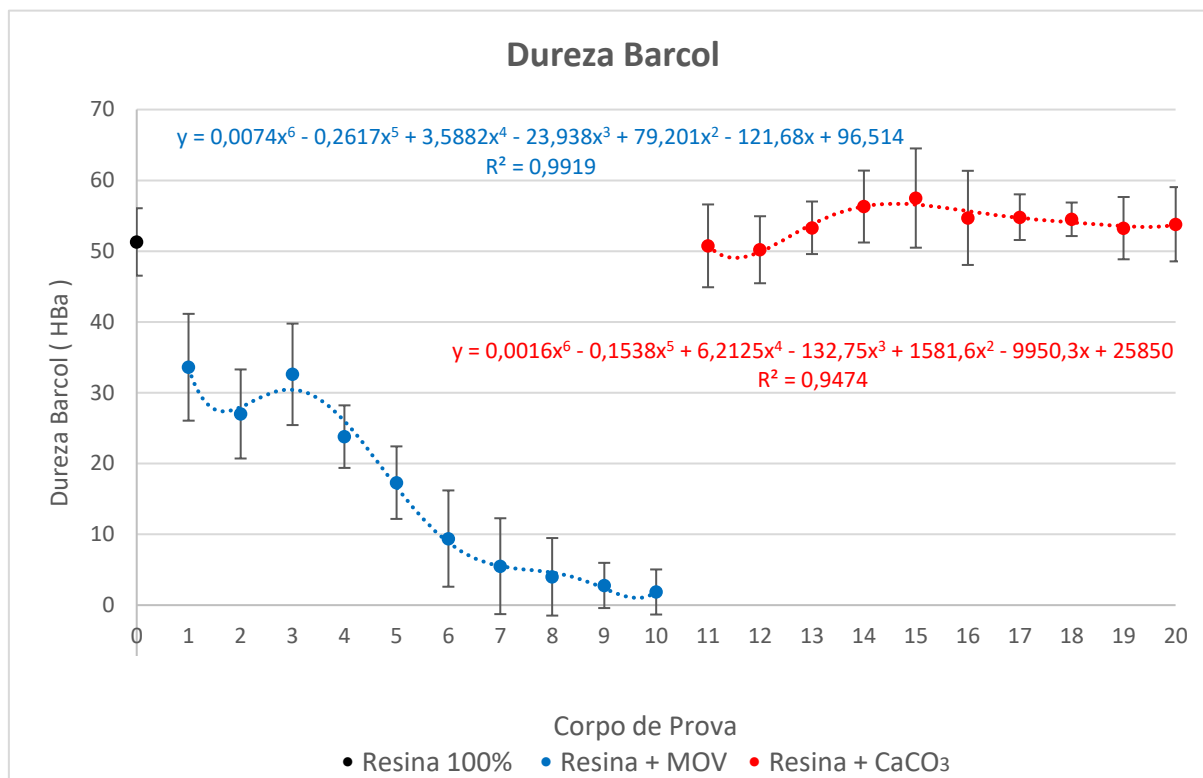


Figura 4.17: Representação gráfica dos valores obtidos das durezas Barcol em função dos corpos de prova.

Observa-se na Figura 4.17 que os valores médios da dureza Barcol entre os corpos de provas CP-01 e CP-10 foram abaixo do valor referencial do CP-00. Nota-se que os valores das durezas apresentam uma tendência significativa de redução à medida que se aumenta a porcentagem do aditivo de MOV na mistura da resina poliéster insaturada. Estima-se que este fenômeno ocorra devido ao espaço vazio oriundo da parte oca da microesfera onde diminui a resistência à penetração do apalpador do instrumento.

Para os corpos de provas CP-11 ao CP-20, aditivados com CaCO₃, ocorre o contrário. Observado seus valores médios, estes se apresentam superiores ao valor referencial do CP-00 e com uma suave tendência em elevação proporcionalmente ao aumento na porcentagem do aditivo na mistura.

4.10 Ensaio de condutividade térmica

Os valores obtidos nos ensaios foram registrados na Tabela 4.11.

Tabela 4.11: Condutividade Térmica – k .

Condutividade Térmica – k (W/(m.K))		
Corpo de Prova	Valor Médio	Desvio Padrão Amostral
CP -00	0,351	0,036
CP -01	0,321	0,046
CP -02	0,344	0,055
CP -03	0,339	0,127
CP -04	0,235	0,048
CP -05	0,223	0,057
CP -06	0,216	0,056
CP -07	0,076	0,071
CP -08	0,075	0,067
CP -09	0,133	0,076
CP -10	0,106	0,139
CP -11	0,410	0,079
CP -12	-----	-----
CP -13	-----	-----
CP -14	0,522	0,077
CP -15	-----	-----
CP -16	-----	-----
CP -17	0,603	0,071
CP -18	-----	-----
CP -19	-----	-----
CP -20	0,649	0,029

Os resultados obtidos para a condutividade térmica, conforme Tabela 4.11, estão representados graficamente na Figura 4.18.

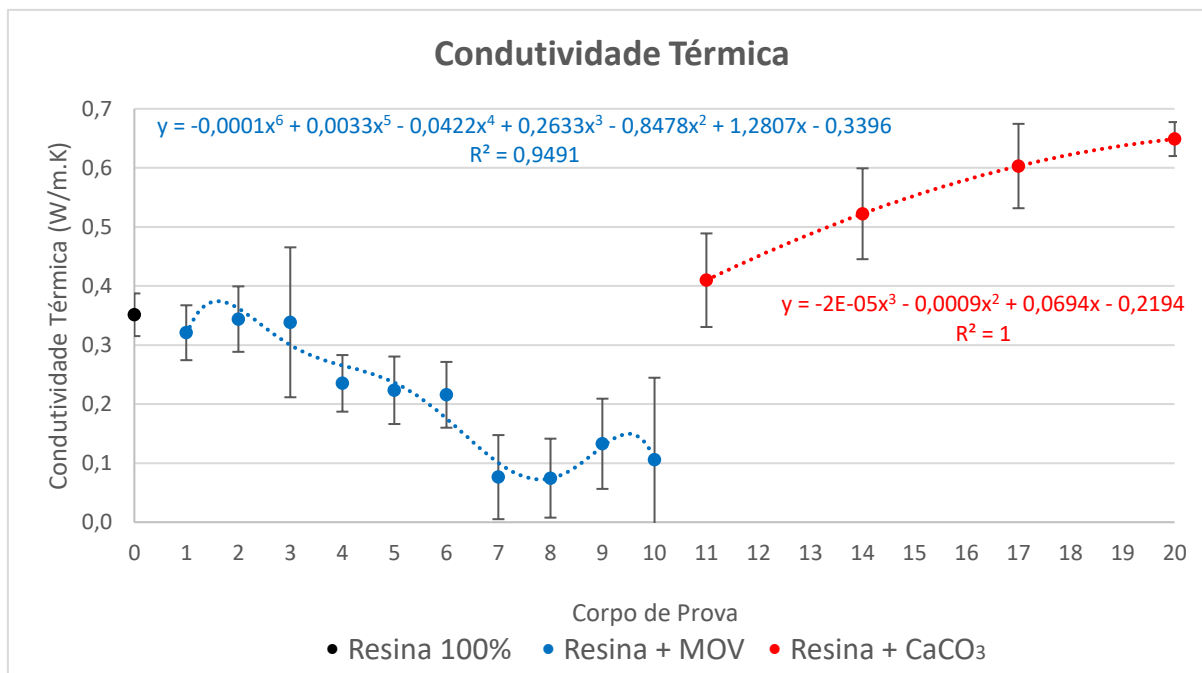


Figura 4.18: Representação gráfica dos valores obtidos das condutividades térmicas em função dos corpos de prova.

Pelo gráfico da Figura 4.18 acima podemos notar que para os corpos de prova CP-01 ao CP-10 houve uma tendência de redução nos valores da condutividade térmica com o aumento na porcentagem do aditivo de MOV, comparado ao valor referencial do CP-00. Estima-se que este fenômeno ocorra devido ao espaço vazio oriundo da parte oca da microesfera dificulte a propagação do calor através da mistura da fase polimérica do compósito. Para os corpos de prova CP-11, CP-14, CP-17 e CP-20 é observado que seus valores médios ficaram acima do valor referencial do CP-00, é notório uma tendência de elevação nos valores da condutividade térmica para os corpos de prova aditivados com CaCO₃ proporcionalmente ao aumento da porcentagem deste aditivo na mistura com a resina.

4.11 Ensaio de absorção sonora

Os valores obtidos para os coeficientes de absorção sonora das amostras: CP-00; CP-02; CP-04; CP-10 e CP-14 foram agrupados e registrados na Tabela 4.12.

Tabela 4.12: Coeficiente de absorção sonora em função da frequência.

Frequência (Hz)	Coeficiente de Absorção Sonora (α)					
	Calfoam	CP – 00	CP – 02	CP – 04	CP – 10	CP – 14
16	0,000	0,150	0,000	0,000	0,000	0,523
20	0,000	0,063	0,896	0,122	0,216	0,212
25	0,000	0,998	0,379	0,435	0,776	0,725
31	0,675	0,486	0,966	0,588	0,737	0,975
40	0,048	0,091	0,000	0,028	0,110	0,007
50	0,006	0,613	0,000	0,000	0,000	0,000
63	0,026	0,674	0,000	0,042	0,009	0,025
80	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
100	0,020	0,159	0,006	0,001	0,000	0,001
125	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
160	0,057	0,311	0,016	0,014	0,018	0,010
200	0,071	0,014	0,019	0,018	0,014	0,013
250	0,084	0,000	0,020	0,018	0,014	0,018
315	0,101	0,000	0,027	0,023	0,017	0,024
400	0,117	0,000	0,036	0,040	0,022	0,030
500	0,132	0,130	0,028	0,021	0,021	0,037
630	0,153	0,000	0,044	0,038	0,029	0,035
800	0,182	0,000	0,077	0,055	0,028	0,047
1000	0,218	0,044	0,205	0,076	0,035	0,091
1250	0,265	0,036	0,233	0,189	0,040	0,154
1600	0,335	0,037	0,038	0,039	0,034	0,159
2000	0,405	0,036	0,041	0,047	0,033	0,134
2500	0,503	0,046	0,054	0,049	0,038	0,108
3150	0,585	0,077	0,092	0,097	0,055	0,093
4000	0,630	0,183	0,219	0,282	0,111	0,097
5000	0,619	0,566	0,338	0,334	0,355	0,110
6300	0,586	0,247	0,123	0,112	0,353	0,145

Os valores dos coeficientes de absorção sonora obtidos na Tabela 4.12 estão representados graficamente na Figura 4.19.

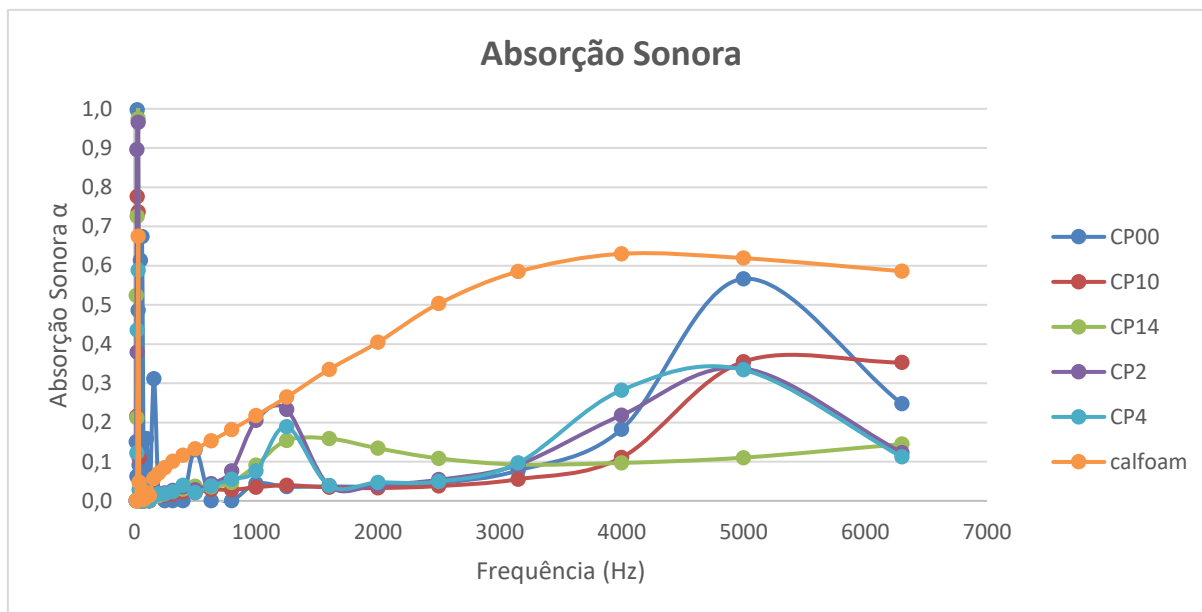


Figura 4.19: Representação gráfica do coeficiente de absorção sonora α em função da frequência.

No gráfico acima estão os valores do coeficiente de absorção sonora α em função da frequência para os corpos de prova CP-00; CP-02; CP-04; CP-10 e CP-14, além de um valor que representa um material absorvente padrão, identificado como Calfoam, onde não apresenta oscilações de valores em função da frequência e sim um aumento proporcional de seu coeficiente em função do aumento da frequência.

Comparando as curvas das amostras em estudo com a curva do absorvedor acústico padrão, nota-se que são muito diferentes, demonstrando que as amostras analisadas não possuem características típicas de um material absorvedor acústico. Em frequências mais baixas, a amostra contendo aditivo de CaCO_3 tem um coeficiente de absorção sonora mais alto do que as amostras com aditivos de MOV. Em altas frequências ocorre o inverso. A amostra CP-00 constituída de resina sem a adição de cargas apresentou o maior coeficiente de absorção sonora nesta faixa de frequência.

4.12 Ensaio de absorção de água

A quantidade de água absorvida no ensaio está representada na Tabela 4.13.

Tabela 4.13: Absorção de água.

Corpo de Prova	Absorção de Água		
	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Absorção (%)
CP -00	53,6251	53,7522	0,2370
CP -01	52,0381	52,4516	0,7946
CP -02	48,0210	48,3167	0,6158
CP -03	54,1336	54,4351	0,5570
CP -04	46,9575	47,3262	0,7843
CP -05	44,7262	45,1603	0,9706
CP -06	42,4194	43,0872	1,5743
CP -07	43,0180	43,5482	1,2325
CP -08	41,6682	42,5408	2,0942
CP -09	42,4832	43,0106	1,2414
CP -10	42,0508	42,7292	1,6133
CP -11	57,8954	58,0348	0,2408
CP -12	54,5657	54,6993	0,2448
CP -13	60,8059	60,9160	0,1811
CP -14	58,6088	58,7644	0,2655
CP -15	62,9564	63,0949	0,2200
CP -16	61,0548	61,2175	0,2665
CP -17	58,7612	58,9406	0,3053
CP -18	59,0706	59,1893	0,2009
CP -19	62,4548	62,6057	0,2416
CP -20	64,8891	65,0182	0,1990

Os resultados obtidos no ensaio de absorção de água, conforme Tabela 4.13, estão representados graficamente na Figura 4.20.

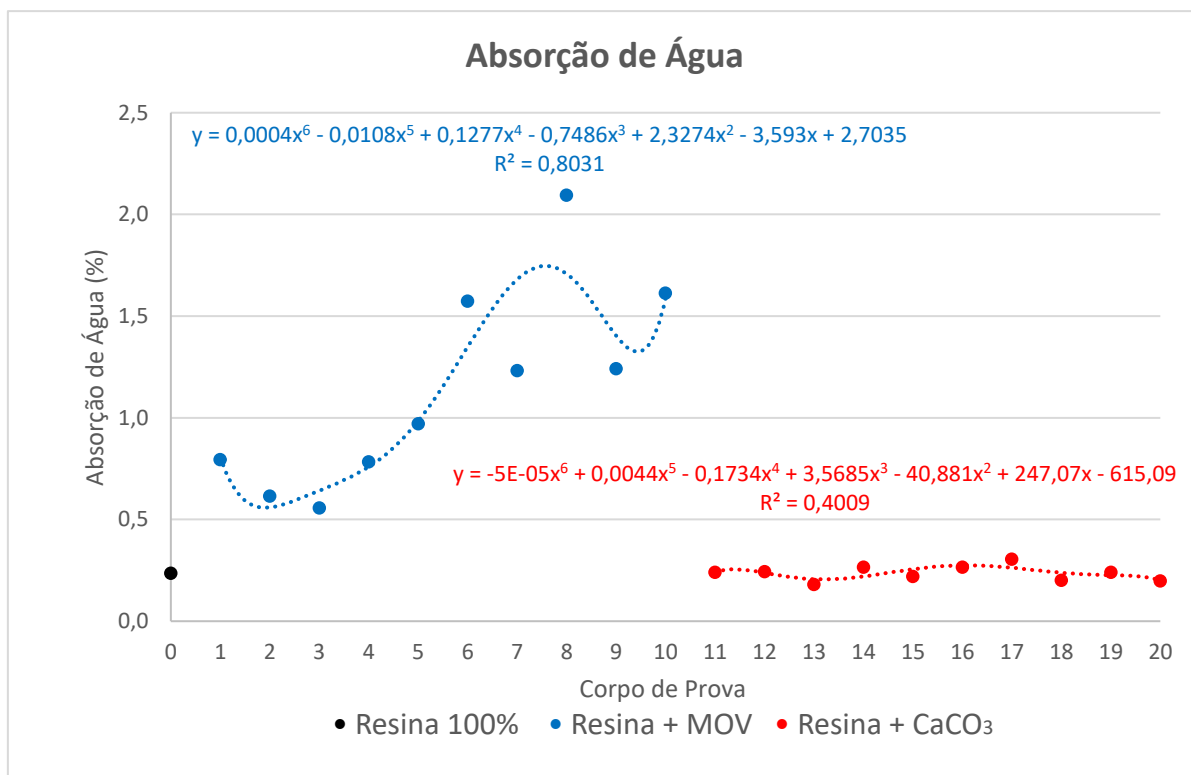


Figura 4.20: Representação gráfica dos valores obtidos de absorção de água em função dos corpos de prova.

Pelos valores representados na Figura 4.20 acima, podemos observar que os valores da absorção de água entre os corpos de prova CP-01 e CP-10 foram acima do valor referencial do CP-00. Nota-se que os valores da porcentagem de absorção apresentam uma tendência de elevação à medida que se aumenta a porcentagem do aditivo de MOV na mistura da resina poliéster insaturada.

Os corpos de prova tiveram suas superfícies lixadas intencionalmente com o propósito de mensurar a absorção de água pela porosidade das MOV floradas nas superfícies. Este ensaio representa a situação de absorção de água do composto quando a sua superfície for exposta ao ambiente com a camada superficial removida. Normalmente as superfícies externas dos compósitos são protegidas com uma camada de gel a base de resina poliéster ou pinturas a base de resina poliéster ou poliuretano que reduzem a níveis próximo de zero a absorção de água.

Entende-se que a oscilação dos valores encontrados para a absorção de água esteja relacionada com a quantidade de esferas ocas de vidro afetadas pelo processo de lixamento superficial.

Para os corpos de prova CP-11 ao CP-20, aditivados com CaCO_3 , observa-se que os valores obtidos para a porcentagem de absorção de água, oscilaram em torno do valor de referência CP-00 de modo que a elevação da porcentagem de CaCO_3 na mistura com a resina não afeta o valor da absorção de água.

4.13 Ensaio de propagação de chamas

Os valores obtidos para a velocidade de queima no ensaio de flamabilidade foram agrupados conforme tabela 4.14.

Tabela 4.14: Velocidade de queima.

Flamabilidade (mm/min.)	
Corpo de Prova	Velocidade de Queima
CP -00	37,05
CP -01	28,63
CP -02	27,84
CP -03	24,79
CP -04	30,07
CP -05	35,82
CP -06	34,38
CP -07	34,18
CP -08	37,73
CP -09	31,83
CP -10	30,30
CP -11	20,97
CP -12	21,08
CP -13	19,26
CP -14	17,07
CP -15	0,00
CP -16	0,00
CP -17	0,00
CP -18	0,00
CP -19	0,00
CP -20	0,00

Os resultados obtidos para a velocidade de propagação da chama, conforme Tabela 4.14, estão representados no graficamente na Figura 4.21 abaixo:

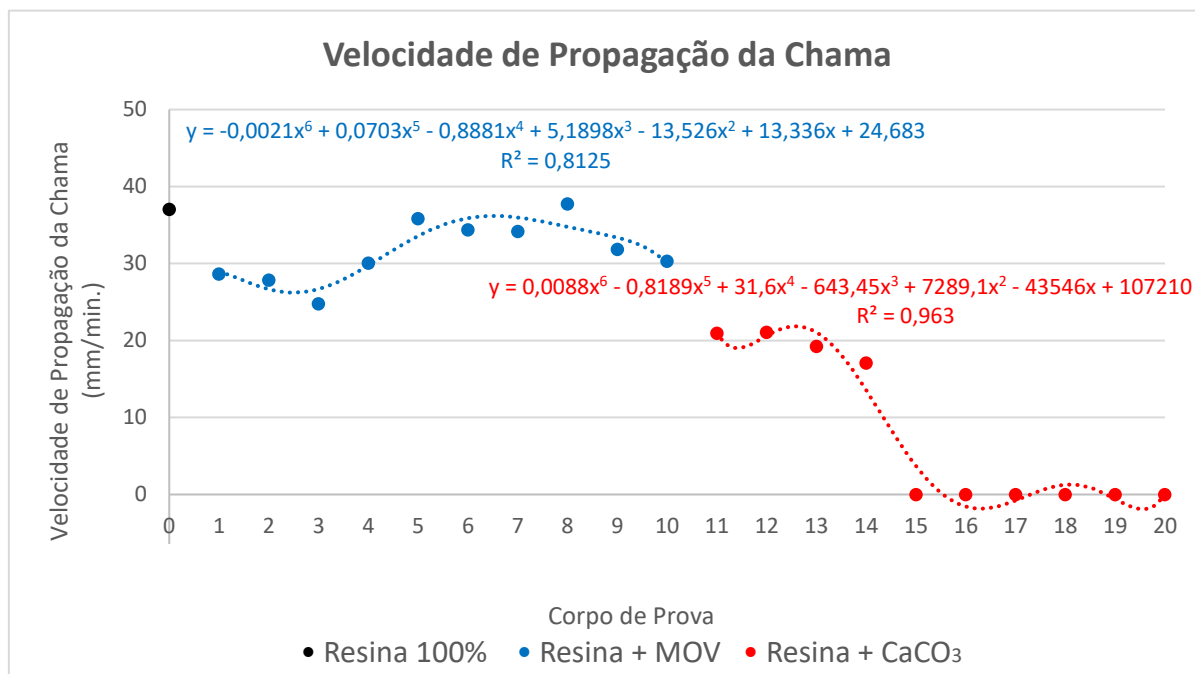


Figura 4.21: Representação gráfica dos valores obtidos das velocidades de propagação das chamas em função dos corpos de prova.

Os aditivos utilizados nos ensaios não são combustíveis, de modo que, sua presença na mistura ocasiona uma redução na massa de resina o qual representa uma redução da massa de combustível na mistura. Este fato nos dá um direcionamento nos valores das velocidades de propagação das chamas nos ensaios realizados.

Observa-se na Figura 4.21 que as velocidades de propagação das chamas entre os corpos de prova que utilizaram o aditivo de MOV, representados pelos corpos de prova CP-01 ao CP-10, tiveram seus valores oscilando abaixo do valor referencial CP-00, com exceção do CP-08 o qual apresentou valor superior ao CP-00. Pelos resultados obtidos, nota-se que o uso de MOV adicionadas à resina provoca uma redução na velocidade de propagação das chamas e apresenta uma suave tendência de elevação dos valores proporcionalmente ao aumento de sua porcentagem utilizada na mistura.

O processo de queima envolve uma série de passos, como transferência de calor, decomposição termo oxidativa gerando compostos voláteis inflamáveis, difusão dos produtos gasosos em estado sólido e gasoso, combustão da mistura envolvendo voláteis e oxigênio. Associados a estes fatores, a forma das esferas ocas das MOV provoca um espaçamento no interior da massa de resina que representa a parte combustível da mistura, de forma a aumentar a área superficial interna e permitir tais oscilações dos valores das velocidades de queima em torno da curva do gráfico.

Para os corpos de prova CP-11 ao CP-20, os quais foram utilizados aditivos de CaCO_3 , observa-se que os valores da velocidade de propagação das chamas ficaram abaixo do valor referencial da velocidade do CP-00. Nota-se também que há uma tendência de redução da velocidade de propagação das chamas proporcional ao acréscimo deste aditivo misturado à resina. Para os corpos de prova CP-15 ao CP-20 não houve propagação de chamas. Esse fato se deve a alta concentração de carbonato de cálcio na mistura impedindo assim a propagação das chamas através da resina que é o combustível da queima.

4.14 Análise microestrutural do compósito

A proposta desta análise é poder identificar as características de cada aditivo quando misturado à resina e evidenciar seu comportamento, para isso selecionou-se os corpos de prova com a maior porcentagem de adição de aditivos na mistura, sendo: CP-00 o qual utiliza-se resina pura sem a adição de aditivos; CP-10 que possui a maior porcentagem do aditivo de MOV e o CP-20 que apresenta a maior porcentagem do aditivo de CaCO_3 .

A Figura 4.22 representa a visualização da microestrutura do CP-00 correspondente a intersecção transversal de uma amostra do referido corpo de prova do tipo III, focando desde a superfície externa até a parte da região do núcleo. Na figura, a imagem está representada no referencial de 1,0 mm. É possível observar a concentração das fibras de vidro em uma área mais próxima da superfície, a área central do corpo de prova onde predomina a presença da resina e alguns fios e orifícios do elemento sintético polipropileno da manta que tem função de espaçar as

fibras de vidro e facilitar o escoamento da resina pelo interior da manta de fibra de vidro.

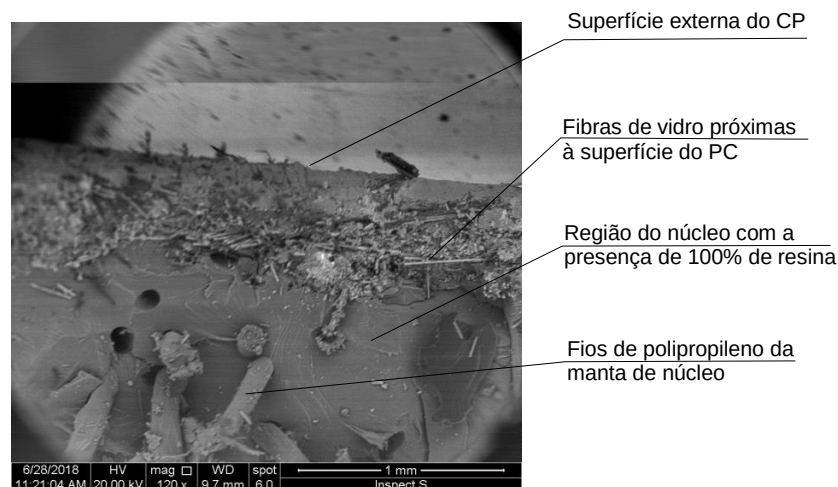


Figura 4.22: MEV do CP-00 no referencial de 1,0 mm.

A Figura 4.23 também representa a visualização da microestrutura do CP-00 correspondente a intersecção transversal de uma amostra do referido corpo de prova do tipo III, focando desde a superfície externa até a parte da região do núcleo. Na figura, a imagem está representada no referencial de 500 μm . É possível observar a concentração das fibras de vidro em uma área mais próxima da superfície, a área central do corpo de prova onde predomina a presença da resina e alguns fios e orifícios do elemento sintético polipropileno da manta que tem função de espaçar as fibras de vidro e facilitar o escoamento da resina pelo interior da manta de fibra de vidro.

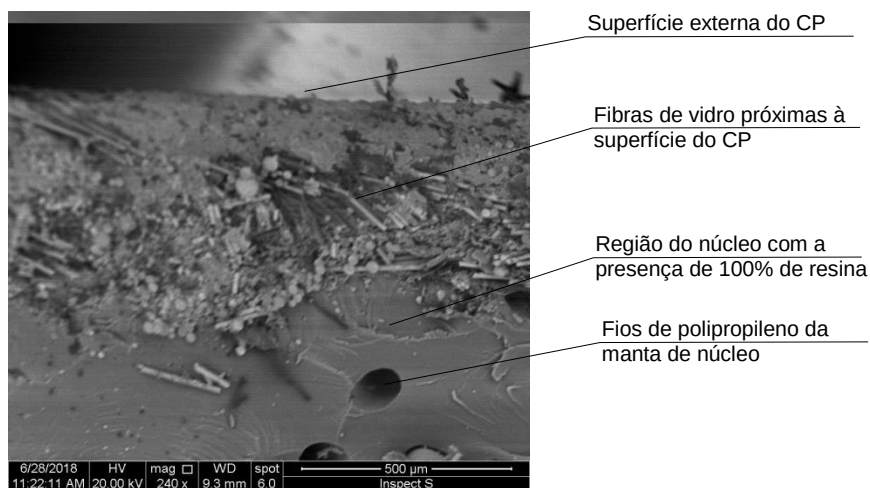


Figura 4.23: MEV do CP-00 no referencial de 500 μm .

A Figura 4.24 representa a visualização da microestrutura do CP-00 correspondente a intersecção transversal de uma amostra do referido corpo de prova do tipo III, dando ênfase na região fragmentada mais próxima da superfície. Na figura, a imagem está representada no referencial de 200 μm . É possível observar a concentração das fibras de vidro em uma área mais próxima da superfície do corpo de prova.

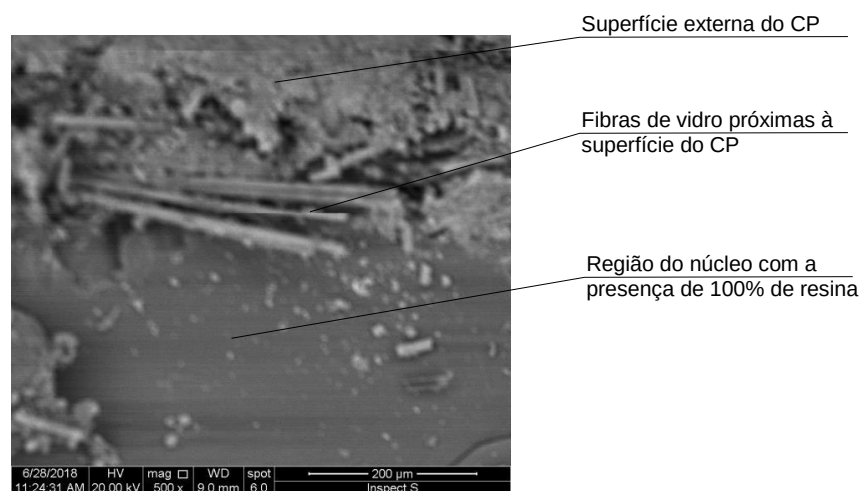


Figura 4.24: MEV do CP-00 no referencial de 200 μm .

Analisando-se as Figuras 4.22, 4.23 e 4.24, relativas ao corpo de prova do CP-00, pode-se identificar os elementos constituintes da amostra, observa-se as fibras de vidro nas regiões próximas à superfície e o núcleo formado basicamente por resina. Nota-se também a presença de fios e orifícios dos fios de polipropileno pertencentes à manta fibra de vidro específica para o processo “RTM” que tem a função de posicionar as fibras de vidro para a superfície do laminado e facilitar o escoamento da resina pelo interior da manta, características já descritas na seção 2.2.3.

A Figura 4.25 representam a visualização da microestrutura do CP-10 correspondente a intersecção transversal de uma amostra do referido corpo de prova do tipo III, focando a superfície externa e parte da região do núcleo. Na figura, a imagem está representada no referencial de 1,0 mm. É possível observar a concentração das fibras de vidro em uma área mais próxima da superfície com a presença de resina adicionada ao aditivo de MOV. Na área central do corpo de prova é possível observar fios e orifícios do elemento sintético polipropileno da manta que

tem função de espaçar as fibras de vidro e facilitar o escoamento da mistura da resina com MOV pelo interior da manta de fibra de vidro.

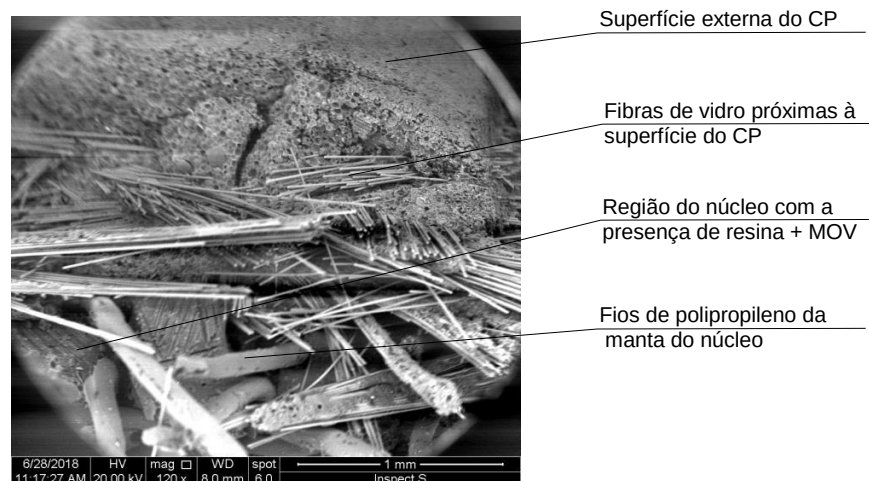


Figura 4.25: MEV do CP-10 no referencial de 1,0 mm.

A Figura 4.26 representa a visualização da microestrutura do CP-10 correspondente a intersecção transversal de uma amostra do referido corpo de prova do tipo III, focando a superfície externa da região fragmentada. Na figura, a imagem está representada no referencial de 500 μm . É possível observar a concentração das fibras de vidro em uma área mais próxima da superfície com a presença de resina adicionada ao aditivo de MOV. Nota-se também as porosidades das microesferas associadas à resina bem como a sua perfeita homogeneização na mistura além da união com as fibras de vidro.

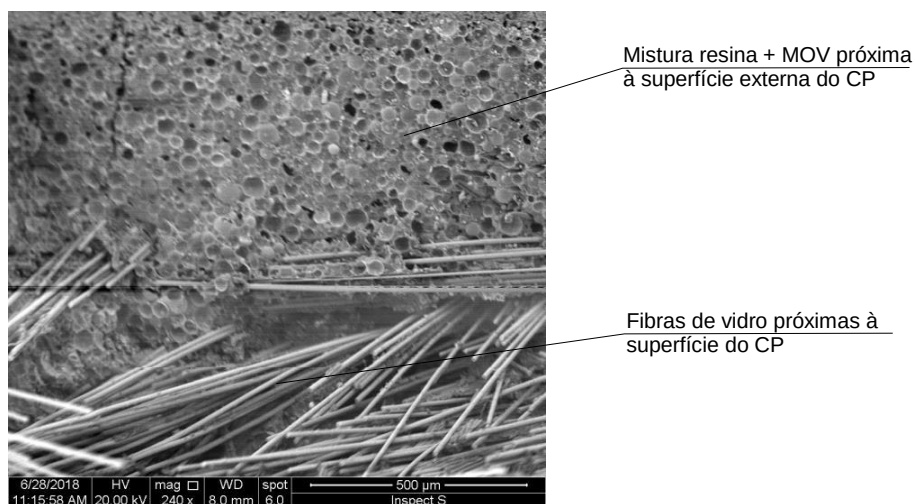


Figura 4.26: MEV do CP-10 no referencial de 500 μm .

A Figura 4.27 representa a visualização da microestrutura do CP-10 correspondente a intersecção transversal de uma amostra do referido corpo de prova do tipo III, focando a região da superfície externa da secção fragmentada. Na figura, a imagem está representada no referencial de 200 μm . É possível observar as MOV justapostas e unidas pela resina e a formação de micro porosidade característica da mistura, caracterizando uma perfeita homogeneização da mistura.

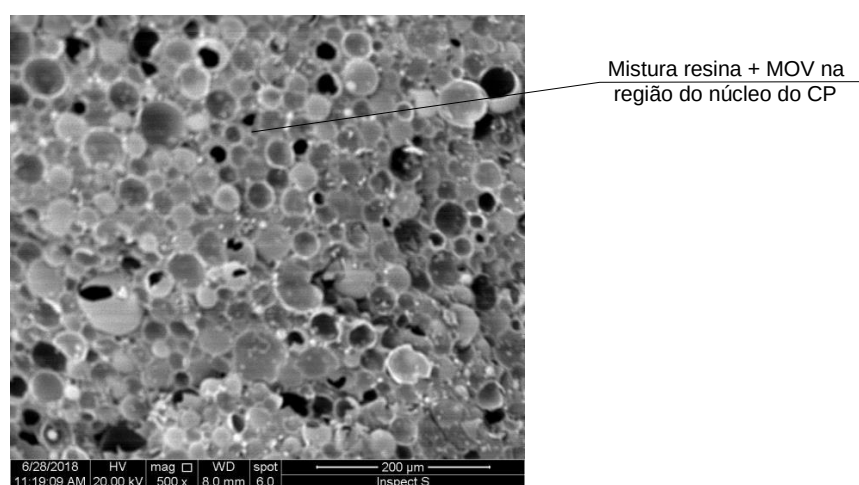


Figura 4.27: MEV do CP-10 no referencial de 200 μm .

Comparando-se as Figuras 4.25, 4.26 e 4.27 relativas ao corpo de prova CP-10 com as figuras do CP-00, também é possível identificar os elementos constituintes da amostra e constatar que foram mantidos os mesmos posicionamentos, isto é, as fibras de vidro ocupando as regiões superficiais e o núcleo formado pela mistura de resina e MOV. Especificamente para este corpo de prova, propositalmente selecionado com a maior concentração de aditivos de MOV para caracterizar o seu efeito, nota-se homogeneização deste aditivo com a resina onde é

possível constatar o seu efeito de aeração na mistura. Ao mesmo tempo em que cada microesfera cria um espaço vazio na mistura gera-se também uma parede de vidro em torno desta bolha que acaba estruturando este espaço vazio.

Através da observação das figuras referentes ao CP-10 onde a característica aerada da mistura possibilita um melhor entendimento de algumas propriedades decorrentes da inclusão de MOV na formação de compósitos tais como: menor densidade, menor dureza, maior estabilidade dimensional, uma menor condutividade térmica, uma maior absorção de água quando a superfície for lixada comparado aos valores referenciais do CP-00.

A Figura 4.28 representa a visualização da microestrutura do CP-20 correspondente a intersecção transversal de uma amostra do referido corpo de prova do tipo III, focando a superfície externa e parte da região do núcleo. Na figura, a imagem está representada no referencial de 1,0 mm. É possível observar a concentração das fibras de vidro em uma área mais próxima da superfície com a presença de resina adicionada ao aditivo de CaCO_3 . Na área central do corpo de prova é possível observar fios e orifícios do elemento sintético polipropileno da manta que tem função de espaçar as fibras de vidro e facilitar o escoamento da mistura da resina com carbonato de cálcio interior da manta de fibra de vidro.

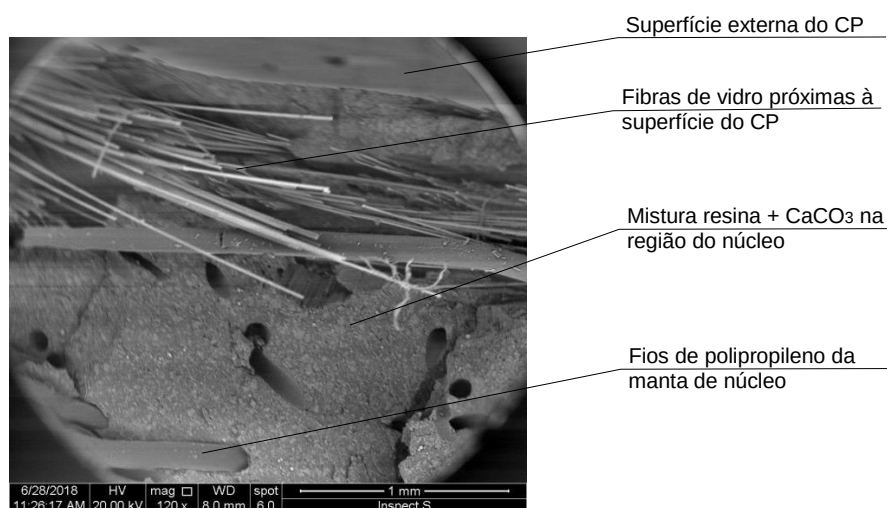


Figura 4.28: MEV do CP-20 no referencial de 1,0 mm.

A Figura 4.29 representa a visualização da microestrutura do CP- 20 correspondentes a intersecção transversal de uma amostra do referido corpo de prova

do tipo III, focando a superfície externa da região fragmentada. Na figura, a imagem está representada no referencial de 500 μm . É possível observar a concentração das fibras de vidro em uma área mais próxima da superfície com a presença de resina adicionada ao aditivo de CaCO_3 . Nota-se também as fibras de vidro interligadas com a mistura resina e CaCO_3 .

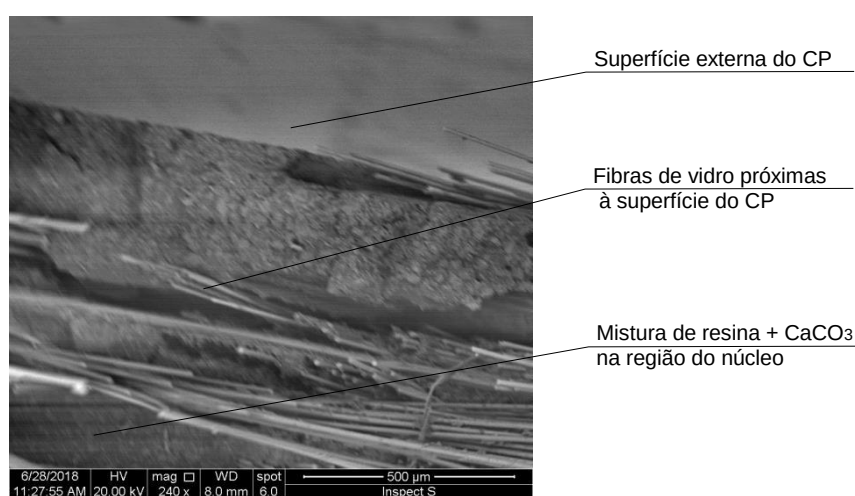


Figura 4.29: MEV do CP-20 no referencial de 500 μm .

A Figura 4.30 representa a visualização da microestrutura do CP-20 correspondente a intersecção transversal de uma amostra do referido corpo de prova do tipo III, focando a parte da região do núcleo. Na figura, a imagem está representada no referencial de 200 μm . É possível observar alguns fios e orifícios do elemento sintético da manta que tem função de espaçar as fibras de vidro e facilitar o escoamento da resina pelo interior da manta, bem como a mistura compactada da resina e CaCO_3 .

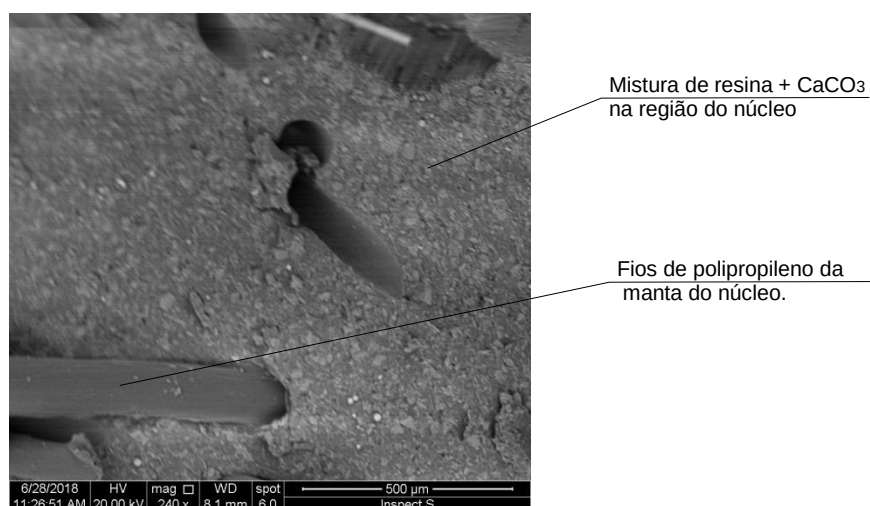


Figura 4.30: MEV do CP-20 no referencial de 500 μm .

Comparando-se as Figuras 4.28, 4.29 e 4.30 relativas ao corpo de prova CP-20 com as figuras do CP-00, também é possível identificar os elementos constituintes da amostra e constatar que foram mantidos os mesmos posicionamentos, isto é, as fibras de vidro ocupando as regiões superficiais e o núcleo formado pela mistura de resina e carbonato de cálcio. Sendo este corpo de prova, propositalmente selecionado com a maior concentração de aditivos de CaCO_3 para caracterizar o seu efeito, nota-se homogeneização deste aditivo com a resina onde é possível constatar o seu efeito de compactação da mistura. Nota-se que o espaço ocupado por cada partícula de CaCO_3 na mistura gera um volume maciço, diferentemente do volume vazio gerado pela MOV do CP-10.

Através da observação das figuras referentes ao CP-20 onde a característica compacta da mistura possibilita um melhor entendimento de algumas propriedades decorrentes da inclusão de CaCO_3 na formação de compósitos tais como: maior densidade, maior dureza, maior estabilidade dimensional, uma maior condutividade térmica, a continuidade de uma baixa absorção de água quando comparado aos valores referenciais do CP-00.

4.15 Análise operacional ao processo produtivo

Através desta análise, construiu-se a Tabela 4.15 relatando as características mais relevantes do processo “HLU” e utilizadas para evidenciar a comparação.

Tabela 4.15: Análise operacional ao processo de fabricação “HLU”.

Comparativos do Processo “HLU”		
Fatores de Influência ao Processo	Resina Convencional	Mistura: resina com MOV CP-04
	Características Observadas	Características Observadas
Produto a ser fabricado	Tampa frontal, dimensões: largura 425 mm, comprimento 1870 mm, altura 120 mm, conforme representação na Figura 3.23. Local do ensaio: empresas do Grupo Caio.	Tampa frontal, dimensões: largura 425 mm, comprimento 1870 mm, altura 120 mm, conforme representação na Figura 3.23. Local do ensaio: empresas do Grupo Caio.
Tipo de resina/mistura	Foi utilizada resina normal de laminação de referência Enydyne H871-20, fabricada pela Polynt Composites, conforme Anexo B. Resultado: Laminação normal.	Foi utilizada a mesma resina dos ensaios realizados neste trabalho, de referência: Arazyn 13.0 fabricada pela Ashland, conforme Anexo A e misturada com MOV nas proporções do CP-04. Resultado: Laminação normal.
Preparação e homogeneização da resina/mistura.	Não há necessidade de homogeneização.	Foi simulado a preparação e homogeneização de 80 kg de resina com 6,4 kg de MOV. Foi utilizado um misturador industrial, conforme Figura 3.22 e constatou-se o tempo de 15 minutos para esta operação. Resultado: Homogeneização satisfatória.
Viscosidade e densidade da resina/mistura.	Viscosidade 290 cP, densidade 1,10 g/cm ³ Resultado: Laminação normal.	Viscosidade 384 cP, densidade 0,85 g/cm ³ Resultado: Laminação normal.

Molhabilidade dos fios da manta de fibra de vidro.	Resultado: Fácil molhabilidade.	Resultado: Apresentou boa molhabilidade das mantas.
Tixotropia:	Resultados: Boa tixotropia.	Resultado: Boa tixotropia.
Massa do produto final	Resultados: Peso do produto final = 3,50 Kg	Resultados: Peso do produto final = 3,08 Kg
Aspecto visual interno do laminado	Resultados: Bom acabamento, superfície com boa visibilidade da distribuição e assentamento dos fios superficiais da manta de vidro da última camada.	Resultados: Acabamento rugoso, superfície com pouca visibilidade da distribuição e assentamento dos fios superficiais da manta de vidro da última camada.

Mediante a análise dos resultados obtidos nos ensaios realizados com o processo de fabricação em “HLU” e registrados na Tabela 4.15, podemos observar que não ocorrem dificuldades técnicas e operacionais que inviabilize a implementação desta proposta como uma opção de fabricação de compósitos pelo processo manual “HLU”. Cabe salientar que será necessário a utilização de um misturador industrial para homogeneizar a mistura da resina com a MOV antes da sua utilização no processo e que esta mistura não deverá exceder a viscosidade de 380 cP, correspondente à proporção de 100 partes em massa de resina para 8 partes em massa de MOV, coerente com a mistura do CP-04.

Para misturas de resina com aditivos de MOV superiores à proporção do CP-04, ficou evidenciado na prática que a elevação da viscosidade dificulta a completa molhabilidade das fibras de vidro correspondente a parte descontínua e estruturante do compósito, comprometendo desta forma o contato superficial dos fios com a mistura da resina, podendo resultar em perdas de resistências mecânicas aos compósitos fabricados por este processo.

Mediante a análise produtiva do processo “*SPRAY-UP*”, construiu-se a Tabela 4.16 relatando as características mais relevantes do processo e utilizadas para evidenciar a comparação.

Tabela 4.16: Análise operacional ao processo de fabricação "SPRAY-UP".

Comparativos do Processo "SPRAY UP"		
Fatores de Influência ao Processo	Resina Convencional	Mistura: resina com MOV – CP-04
Características Observadas	Características Observadas	Características Observadas
Produto a ser fabricado	Tampa frontal, dimensões: largura 425 mm, comprimento 1870 mm, altura 120 mm, conforme representação na Figura 3.23. Local do ensaio: empresas do Grupo Caio.	Tampa frontal, dimensões: largura 425 mm, comprimento 1870 mm, altura 120 mm, conforme representação na Figura 3.23. Local do ensaio: empresas do Grupo Caio.
Tipo de resina/mistura	Foi utilizada resina normal de laminação de referência Enydyne H871-20, fabricada pela Polynt Composites, conforme Anexo B. Resultado: Laminação normal.	Foi utilizada a mesma resina dos ensaios realizados neste trabalho, de referência: Arazyn 13.0 fabricada pela Ashland, conforme Anexo A e misturada com MOV nas proporções do CP-04. Resultado: Laminação normal.
Preparação e homogeneização da resina/mistura.	Não há necessidade de homogeneização.	Foi simulado a preparação e homogeneização de 80 kg de resina com 6,4 kg de MOV. Foi utilizado um misturador industrial, conforme Figura 3.22 e registrou-se um tempo de 15 minutos para esta operação. Resultado: Homogeneização satisfatória.
Viscosidade e densidade da resina/mistura.	Viscosidade 290 cP, densidade 1,10 g/cm ³ Resultado: Laminação normal.	Viscosidade 384 cP, densidade 0,85 g/cm ³ Resultado: Laminação normal.
Molhabilidade dos fios de roving da fibra de vidro.	Resultado: Os fios de <i>roving</i> tocam a superfície do molde na condição umedecido por resina, fácil impregnação e roletagem.	Resultado: Os fios de <i>roving</i> tocam a superfície do molde na condição umedecido com a mistura de resina e MOV, fácil impregnação e roletagem.
Tixotropia	Resultado: Boa tixotropia.	Resultado: Boa tixotropia.
Massa do produto final	Resultado: Peso do produto final = 3,65 Kg	Resultado: Peso do produto final = 3,15 Kg
Aspecto visual interno do laminado	Resultados: Bom acabamento, superfície com boa visibilidade da distribuição e assentamento dos fios superficiais de <i>roving</i> da última camada.	Resultados: Acabamento rugoso, superfície com pouca visibilidade da distribuição e assentamento dos fios superficiais de <i>roving</i> da última camada.

Através da análise dos resultados obtidos nos ensaios realizados com o processo de fabricação por projeção simultânea “*SPRAY-UP*” e registrados na Tabela 4.16, podemos observar que não ocorrem dificuldades técnicas e operacionais que inviabilize a implementação desta proposta como uma opção de fabricação de compósitos por este processo. Alguns pontos merecem ser ressaltados, tais como:

- Será necessário a utilização de um misturador industrial para homogeneizar a mistura da resina com a MOV vidro antes da sua utilização no processo.

- Esta mistura não deverá exceder a viscosidade de 380 cP, correspondente à proporção de 100 partes em massa de resina para 8 partes em massa de MOV, coerente com a mistura do CP-04. Este critério se deve ao fato de manter a boa molhabilidade dos fios de “*roving*” durante a operação de roletagem e não exceder a viscosidade atual praticada no equipamento para o bombeamento da resina.

- E por fim, deverá ser avaliado a longo prazo, o comportamento funcional do equipamento quanto ao desgaste de seus componentes mecânicos para a utilização de mistura resina com MOV, uma vez que em processos convencionais utilizam-se apenas resinas sem a adição de cargas.

Com relação a análise do processo “RTM”, construiu-se a Tabela 4.17 relatando as características mais relevantes do processo e utilizadas para evidenciar a comparação.

Tabela 4.17: Análise operacional ao processo de fabricação “RTM”.

Comparativos do Processo “RTM”		
Fatores de Influência ao Processo	Mistura: resina com CaCO₃ – CP-16	Mistura: resina com MOV – CP-02
	Características observadas	Características observadas
Produto a ser fabricado	Tampa frontal, dimensões: largura 425 mm, comprimento 1870 mm, altura 120 mm, conforme representação na Figura 3.23. Local do ensaio: empresas do Grupo Caio.	Tampa frontal, dimensões: largura 425 mm, comprimento 1870 mm, altura 120 mm, conforme representação na Figura 3.23. Local do ensaio: empresas do Grupo Caio.

Tipo de resina/mistura	Foi utilizada a mesma resina dos ensaios realizados neste trabalho, de referência: Arazyn 13.0 fabricada pela Ashland, conforme Anexo A e misturada com CaCO_3 nas proporções do CP-16. Resultado: homogeneização normal.	Foi utilizada a mesma resina dos ensaios realizados neste trabalho, de referência: Arazyn 13.0 fabricada pela Ashland, conforme Anexo A e misturada com MOV nas proporções do CP-02. Resultado: Homogeneização normal.
Preparação e homogeneização da resina/mistura.	Foi simulado a preparação e homogeneização de 80 kg de resina com 24 kg de CaCO_3 . Foi utilizado um misturador industrial, conforme Figura 3.22 e registrou-se o tempo de 7 minutos para esta operação. Resultado: Homogeneização satisfatória.	Foi simulado a preparação e homogeneização de 80 kg de resina com 3,2 kg de MOV. Foi utilizado um misturador industrial, conforme Figura 3.22 e registrou-se o tempo de 7 minutos para esta operação. Resultado: Homogeneização satisfatória.
Viscosidade e densidade da resina/mistura.	Viscosidade 192 cP, densidade 1,34 g/cm ³ Resultado: Injeção normal.	Viscosidade 192 cP, densidade 0,97 g/cm ³ Resultado: Injeção normal.
Molhabilidade da resina/mistura aos fios da manta de fibra de vidro.	Resultado: Boa fluidez e boa molhabilidade.	Resultado: Boa fluidez e boa molhabilidade.
Massa do produto final	Resultado: Peso do produto final = 3,92 Kg	Resultado: Peso do produto final = 3,30 Kg
Aspecto visual da superfície do produto.	Resultados: Bom acabamento superficial tanto do lado interno como no externo.	Resultados: Bom acabamento superficial tanto do lado interno como no externo.

Baseado na análise dos resultados obtidos nos ensaios realizados com o processo de fabricação com moldagem por transferência de resina “RTM” e registrados na Tabela 4.17, podemos observar que não ocorrem dificuldades técnicas e operacionais que inviabilize a implementação desta proposta como uma opção de fabricação de compósitos por este processo. Alguns pontos merecem ser destacados, tais como:

-Será necessário continuar utilizando um misturador industrial para homogeneizar a mistura da resina com a MOV antes da sua utilização no processo.

-Esta mistura não deverá exceder a viscosidade de 192 cP, correspondente à proporção de 100 partes em massa de resina para 4 partes em massa de MOV, coerente com a mistura do CP-02 e também com a viscosidade praticada pelo equipamento de injeção no processo atual.

-E por último, deverá ser avaliado a longo prazo, o comportamento funcional do equipamento quanto ao desgaste de seus componentes para a utilização de mistura resina com MOV, uma vez que em processos convencionais utilizam-se mistura de resina com CaCO_3 .

4.16 Análise de viabilidade econômica

A implementação do uso do aditivo de MOV misturado com a resina pode representar uma alternativa técnica a mais, além da alteração da forma geométrica, substituição do processo produtivo e materiais entre outras para a resolução de um problema relacionado a massa do compósito de um determinado produto final.

A viabilidade econômica na implementação deste aditivo é feita no intuito de se obter uma grandeza de ordem relativa para uma melhor decisão no direcionamento ainda na fase do desenvolvimento do projeto do produto. Os custos absolutos de cada produto e seus respectivos processos produtivos estão atrelados ao volume de produção, o poder de negociação na compra de matéria prima, a infraestrutura patrimonial da empresa transformadora, os custos de investimento em ferramental, o padrão de qualidade e normas a serem seguidas.

A Tabela 4.18 mostra os custos relativos de três produtos de diferentes massas fabricados pelo processo “HLU” através dos métodos convencionais e comparados aos métodos propostos.

Tabela 4.18: Custos relativos de produtos fabricados pelo processo “HLU” e suas respectivas massas, onde: Ca representa o custo total do produto A; Cb representa o custo total do produto B; Cc representa o custo total do produto C.

Análise de Custos de Produtos Fabricados Pelo Processo HLU						
Produto	Método Convencional (resina)		Método Proposto (resina+ MOV) CP-04		Diferença Percentual em Relação ao Método Convencional	
	Custo Relativo	Massa (Kg)	Custo Relativo	Massa (Kg)	Custo (%)	Massa (%)
A	100% Ca	1,424	99,1% Ca	1,247	- 0,9	-12,43
B	100% Cb	1,783	99,0% Cb	1,563	- 1,0	-12,34
C	100% Cc	8,961	98,6% Cc	7,979	- 1,4	-10,96
VALOR MÉDIO					- 1,1	-11,91

Através da análise dos resultados obtidos nos levantamentos efetuados para o processo de fabricação manual “HLU”, conforme valores da Tabela 4.18, podemos entender que o uso de aditivos de MOV misturado em proporções iguais e não superiores ao CP-04 promove uma redução média nos custos do produto na ordem de 1,1% comparado ao método convencional o qual utiliza-se 100% de resina na composição da fase polimérica do composto. Observa-se também que além da redução dos custos esta proporção de mistura promove uma redução na densidade do compósito podendo representar uma redução média de 11,91% na massa do produto final.

A Tabela 4.19 mostra os custos relativos de três produtos de diferentes massas fabricados pelo processo “*SPRAY-UP*” através dos métodos convencionais e comparados aos métodos propostos.

Tabela 4.19: Custos relativos de produtos fabricados pelo processo SPRAY-UP e suas respectivas massas, onde: Cd representa o custo total do produto D; Ce representa o custo total do produto E; Cf representa o custo total do produto F.

Análise de Custos de Produtos Fabricados Pelo Processo SPRAY-UP						
Produto	Método Convencional (resina)		Método Proposto (resina+ MOV) CP-04		Diferença Percentual em Relação ao Método Convencional	
	Custo Relativo	Massa (Kg)	Custo Relativo	Massa (Kg)	Custo (%)	Massa (%)
D	100% Cd	6,160	98,2% Cd	5,356	- 1,8	-13,05
E	100% Ce	13,030	98,1% Ce	11,462	- 1,9	-12,03
F	100% Cf	65,646	98,0% Cf	57,096	- 2,0	-13,02
VALOR MÉDIO					- 1,9	-12,70

Mediante a análise dos resultados obtidos nos levantamentos efetuados para o processo de fabricação por projeção “*SPRAY-UP*”, conforme valores da Tabela 4.19, podemos entender que o uso de aditivos de MOV misturado em proporções iguais e não superiores ao CP-04 promove uma redução média nos custos do produto na ordem de 1,9% comparado ao método convencional o qual utiliza-se 100% de resina na composição da fase polimérica do composto. Observa-se também que além da redução dos custos esta proporção de mistura promove uma redução na densidade do compósito podendo representar uma redução média de 12,7% na massa do produto final.

A Tabela 4.20 mostra os custos relativos de três produtos de diferentes massas fabricados pelo processo “RTM” através dos métodos convencionais e comparados aos métodos propostos.

Tabela 4.20: Custos relativos de produtos fabricados pelo processo RTM e suas respectivas massas, onde: Cg representa o custo total do produto G; Ch representa o custo total do produto H; Ci representa o custo total do produto I.

Análise de Custos de Produtos Fabricados Pelo Processo RTM						
Produto	Método Convencional (resina+CaCO₃) CP-16		Método Proposto (resina+ MOV) CP-02		Diferença Percentual em Relação ao Método Convencional	
	Custo Relativo	Massa (Kg)	Custo Relativo	Massa (Kg)	Custo (%)	Massa (%)
G	100% Cg	4,463	100,1% Cg	3,619	0,1	-18,91
H	100% Ch	8,161	100,3% Ch	6,848	0,3	-16,09
I	100% Ci	74,496	100,5% Ci	60,804	0,5	-18,38
VALOR MÉDIO					0,3	-17,79

No caso do processo de injeção de resina por moldes fechado “RTM”, através da análise dos resultados obtidos nos levantamentos efetuados conforme valores da Tabela 3.21, podemos entender que o uso de aditivos de MOV misturado em proporções iguais e não superiores ao CP-02 promove um aumento média nos custos do produto na ordem de 0,3% comparado ao método convencional o qual utiliza-se de aditivos de CaCO₃ na proporção da mistura do corpo de prova CP-16. Observa-se também que além da pequena elevação dos custos esta proporção de mistura promove uma redução na densidade do compósito podendo representar uma redução média de 17,79% na massa do produto final. De certa forma estes resultados já eram previstos pelo fato de estar ocorrendo a substituição de CaCO₃ cuja densidade é 2,80 g/cm³ e de baixo custo por MOV de densidade 0,22 g/cm³ e custo mais elevado.

5 CONCLUSÃO

Retomando o objetivo principal deste trabalho que é estudar as implicações das MOV em compósitos de resina poliéster insaturada reforçada com fibra de vidro através de ensaios, análises e comparações de resultados com outro aditivo usual como o CaCO_3 , bem como o objetivo específico que é estudar as reduções de densidades em compósitos que utilizam-se de MOV em sua composição, avaliar o comportamento das suas resistências mecânicas e o comportamento das suas propriedades físicas, conseguiu-se reunir neste trabalho as informações e resultados amplamente analisados para nos embasar na conclusão final deste estudo da viabilidade do emprego de microesferas ocas de vidro em compósitos de resina poliéster insaturado com base em suas propriedades mecânicas, físicas e considerações econômicas.

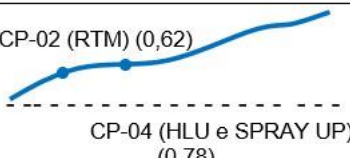
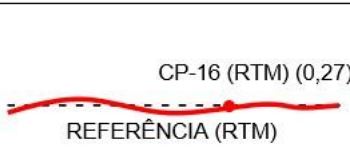
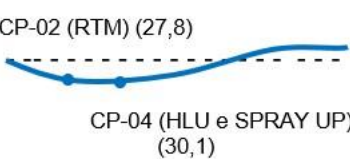
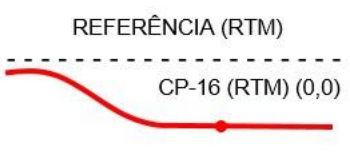
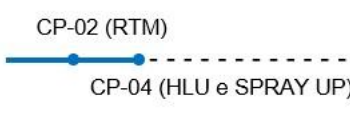
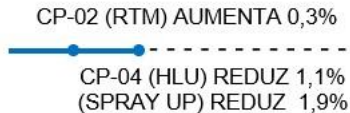
A implementação de MOV como aditivo misturado com resina poliéster insaturada nos processos de fabricação “HLU”, “SPRAY-UP” e “RTM” apresentaram características específicas e alguns fatores limitantes para a sua utilização.

A Tabela 5.1 resume os resultados obtidos dos ensaios realizados e correlaciona os efeitos da inclusão de aditivos de MOV e CaCO_3 adicionados à resina poliéster insaturada com as propriedades estudadas.

Tabela 5.1: Quadro comparativo resumido de resultados dos ensaios realizados.

QUADRO COMPARATIVO RESUMIDO DE RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS			
TIPOS DE ENSAIOS	LINHA DE REFERENCIA CP-00	AUMENTO DA % DE MEOV >-----> CP-01 CP-10	AUMENTO DA % DE CaCO ₃ >-----> CP-11 CP-20
DENSIDADE DA MISTURA ANTES DA CATÁLISE (g/cm ³)	●----- (HLU e SPRAY UP) (1,10)	CP-02 (RTM) (0,97) CP-04 (HLU e SPRAY UP) (0,85)	CP-16 (RTM) (1,34) REFERÊNCIA (RTM)
DENSIDADE DA MISTURA PÓS CATÁLISE (g/cm ³)	●----- (HLU e SPRAY UP) (1,18)	CP-02 (RTM) (0,99) CP-04 (HLU e SPRAY UP) (0,86)	CP-16 (RTM) (1,34) REFERÊNCIA (RTM)
DENSIDADE DO COMPOSITO: RESINA + ADITIVO + FIBRA (g/cm ³)	●----- (HLU e SPRAY UP) (1,29)	CP-02 (RTM) (1,17) CP-04 (HLU e SPRAY UP) (1,07)	CP-16 (RTM) (1,44) REFERÊNCIA (RTM)
CONTRAÇÃO DIMENSIONAL PÓS CURA (mm/m)	●----- (HLU e SPRAY UP) (26,1)	CP-02 (RTM) (17,6) CP-04 (HLU e SPRAY UP) (12,0)	CP-16 (RTM) (18,9) REFERÊNCIA (RTM)
VISCOSIDADE DA MISTURA (cP)	●----- (HLU e SPRAY UP) (120)	CP-02 (RTM) (192) CP-04 (HLU e SPRAY UP) (384)	CP-16 (RTM) (192) REFERÊNCIA (RTM)
MÓDULO DE ELASTICIDADE À TORÇÃO – G (GPa)	●----- (HLU e SPRAY UP) (1,33)	CP-02 (RTM) (1,22) CP-04 (HLU e SPRAY UP) (1,17)	CP-16 (RTM) (2,03) REFERÊNCIA (RTM)
COEFICIENTE DE ATRITO DINÂMICO – COF (em função do tempo de exposição)	●----- (HLU e SPRAY UP) (0,07 a 0,09)	(HLU e SPRAY UP) CP-04 (0,09 a 3,50) CP-02 (RTM) (0,09 a 1,20)	CP-16 (RTM) (0,40 a 0,50) REFERÊNCIA (RTM)

CARGA MÁXIMA E LIMITE DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (N) e (MPa)	(HLU e SPRAY UP) (1967,7) e (50,5)	CP-02 (RTM) (2107,4) e (54,0) CP-04 (HLU e SPRAY UP) (2181,5) e (55,9)	CP-16 (RTM) (2117,3) e (54,3) REFERÊNCIA (RTM)
ALONGAMENTO À TRAÇÃO (%)	(HLU e SPRAY UP) (6,87)	CP-02 (RTM) (6,77) CP-04 (HLU e SPRAY UP) (7,17)	CP-16 (RTM) (7,52) REFERÊNCIA (RTM)
CARGA MÁXIMA E LIMITE DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO (N) e (MPa)	(HLU e SPRAY UP) (618,3) e (205,7)	CP-02 (RTM) (428,5) e (135,3) CP-04 (HLU e SPRAY UP) (502,3) e (136,9)	CP-16 (RTM) (564,8) e (184,7) REFERÊNCIA (RTM)
FLECHA (mm)	(HLU e SPRAY UP) (3,6)	CP-02 (RTM) (3,5) CP-04 (HLU e SPRAY UP) (3,8)	CP-16 (RTM) (3,6) REFERÊNCIA (RTM)
IMPACTO (kJ/m²)	(HLU e SPRAY UP) (36,0)	CP-02 (RTM) (36,8) CP-04 (HLU e SPRAY UP) (40,8)	CP-16 (RTM) (34,6) REFERÊNCIA (RTM)
DUREZA (HBa)	(HLU e SPRAY UP) (51,3)	CP-04 (HLU e SPRAY UP) (23,8) CP-02 (RTM) (27,0)	CP-16 (RTM) (54,7) REFERÊNCIA (RTM)
CONDUTIVIDADE TÉRMICA (W/(m.K))	(HLU e SPRAY UP) (0,35)	CP-02 (RTM) (0,34) CP-04 (HLU e SPRAY UP) (0,24)	CP-16 (RTM) (0,58) REFERÊNCIA (RTM)

ABSORÇÃO SONORA	COMPÓSITOS NÃO POSSUEM ESTAS CARACTERÍSTICAS	COMPÓSITOS COM MEOV NÃO POSSUEM ESTAS CARACTERÍSTICAS	COMPÓSITOS COM CaCO ₃ NÃO POSSUEM ESTAS CARACTERÍSTICAS
ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	● ----- (HLU e SPRAY UP) (0,24)	CP-02 (RTM) (0,62) CP-04 (HLU e SPRAY UP) (0,78) 	CP-16 (RTM) (0,27) REFERÊNCIA (RTM) 
PROPAGAÇÃO DE CHAMAS (mm/min)	● ----- (HLU e SPRAY UP) (37,0)	CP-02 (RTM) (27,8) CP-04 (HLU e SPRAY UP) (30,1) 	REFERÊNCIA (RTM) CP-16 (RTM) (0,0) 
ANÁLISE MICRO ESTRUCTURAL DO COMPÓSITO	FOI POSSÍVEL IDENTIFICAR OS ELEMENTOS CONSTITUINTES DA AMOSTRA	FOI POSSÍVEL IDENTIFICAR OS ELEMENTOS CONSTITUINTES DA AMOSTRA	FOI POSSÍVEL IDENTIFICAR OS ELEMENTOS CONSTITUINTES DA AMOSTRA
ANÁLISE OPERACIONAL AO PROCESSO PRODUTIVO	REFERÊNCIA ● ----- (HLU) e (SPRAY UP)	CP-02 (RTM) CP-04 (HLU e SPRAY UP) 	REFERÊNCIA (RTM) CP-16 
ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA	REFERÊNCIA ● ----- (HLU) e (SPRAY UP)	CP-02 (RTM) AUMENTA 0,3% CP-04 (HLU) REDUZ 1,1% (SPRAY UP) REDUZ 1,9% 	REFERÊNCIA (RTM) CP-16 

A utilização de aditivos de MOV e CaCO₃ na fabricação de compósitos pelos processos de fabricação “HLU”, “SPRAY-UP” e “RTM”, proporcionou características específicas dentre as quais podemos afirmar:

Densidade: O aumento da porcentagem de MOV na mistura com a resina diminuiu proporcionalmente a densidade do compósito. No caso do CaCO₃, sua inclusão na mistura com a resina, aumentou proporcionalmente a densidade do compósito. A polimerização da resina resultou em um aumento da sua densidade. Essa diferença mostrou ser menor tanto com o aumento das porcentagens tanto de MOV como de CaCO₃ na mistura.

Contração linear: O aumento da porcentagem de MOV na mistura com a resina diminuiu a contração linear provocada pelo efeito da polimerização da resina. O mesmo fenômeno ocorre com o aumento da porcentagem do aditivo de CaCO_3 . A contração observada nas misturas com o acréscimo de aditivo de MOV foi menor comparada aos acréscimos de aditivos de CaCO_3 .

Viscosidade: O aumento da porcentagem de MOV na mistura com a resina aumentou de forma exponencial a viscosidade. Observou-se nas análises operacionais que sua adição até 8 partes em massa para cada 100 partes em massa de resina, equivalente às proporções do CP-04, não influenciou no processo produtivo “HLU” e “SPRAY-UP” e sua adição até 4 partes em massa para cada 100 partes em massa de resina, equivalente às proporções do CP-02, não influenciou no processo produtivo “RTM”. No caso do CaCO_3 , sua inclusão na mistura com a resina manteve a viscosidade da mistura praticamente constante e não afetou o processo produtivo “RTM” até as proporções de 30 partes em massa para cada 100 partes em massa de resina, equivalente às proporções do CP-16. Vale salientar que esta proporção de mistura é normalmente praticada neste processo produtivo.

Módulo de elasticidade à torção – G: Com o aumento das porcentagens de MOV na composição da mistura os módulos de elasticidade à torção tiveram seus valores médios reduzidos comparados aos valores referenciais do CP-00. Notou-se que, com o aumento da porcentagem de MOV na composição da resina, ocorreu a diminuição da densidade e rigidez da fase polimérica do compósito. Com o aumento das porcentagens de CaCO_3 na mistura com a resina, observou-se uma tendência de elevação nos valores dos módulos de elasticidade à torção, promovendo o aumento da densidade e da rigidez da fase polimérica do compósito.

Coeficiente de atrito dinâmico – COF: O acréscimo percentual de MOV na composição da mistura, bem como o tempo de permanência na condição de atrito, provocou o aumento nos valores do coeficiente de atrito dinâmico – COF da mistura. Esses efeitos observados e discutidos acima, provavelmente tem origem no fato de romper as microesferas e ela influir no coeficiente de atrito dinâmico, aumentando a força de atrito entre as superfícies de contato. O acréscimo percentual de CaCO_3 na composição da mistura, bem como o tempo de permanência na condição de atrito,

provocou um aumento nos valores do coeficiente de atrito dinâmico – COF da mistura. No entanto, neste caso, o aumento do tempo de desgaste provocou a redução nos valores de COF nos casos de maior porcentagem de CaCO_3 . Isto mostrou que o CaCO_3 provavelmente se rompeu da mistura e formou uma espécie de pista de rolamento, diminuindo a força de atrito entre as superfícies de contato.

Tração: O aumento percentual do aditivo de MOV na composição da resina manteve os valores médios para a carga de ruptura a tração oscilando em torno do valor do compósito sem aditivos. Notou-se que os valores obtidos oscilaram em torno do valor referencial correspondente à resina sem aditivos. O aumento percentual do aditivo de CaCO_3 na composição da resina apresentou uma tendência de elevação na carga de ruptura. O mesmo fenômeno foi observado nos valores da resistência à ruptura. O aumento da porcentagem do aditivo de MOV e CaCO_3 na composição da resina apresentou uma tendência de aumento nos valores do alongamento antes da ruptura do compósito. Observou-se que a tendência na elevação destes valores foi mais significativa para os corpos de prova com MOV comparados com aditivos de a carga de CaCO_3 .

Flexão: O aumento percentual do aditivo de MOV na composição da resina apresentou uma tendência de redução nos valores da carga de ruptura à flexão. O mesmo fenômeno foi observado nos valores da resistência à flexão. Inversamente a estes resultados, o aumento percentual do aditivo de CaCO_3 na composição da resina apresentou uma tendência de elevação nos valores da carga de ruptura e consequentemente na resistência à flexão. O aumento da porcentagem do aditivo de MOV na composição da resina apresentou uma tendência de aumento nos valores da flecha antes da ruptura do compósito por flexão. Observou-se que para o aditivo de CaCO_3 seus valores oscilaram em torno do valor referencial.

Impacto: O aumento percentual do aditivo de MOV na composição da resina apresentou uma tendência na redução nos valores da resistência ao impacto. O aumento no percentual de CaCO_3 na composição da resina apresentou uma tendência de estabilidade em torno do valor referencial.

Dureza: O aumento percentual do aditivo de MOV na composição da resina reduziu a dureza Barcol dos compósitos de forma significativa, este fenômeno ocorreu devido ao espaço vazio oriundo da parte oca da microesfera onde diminui a resistência à penetração do apalpador do instrumento. O aumento percentual do aditivo de CaCO_3 na resina resultou na elevação nos valores da dureza nos compósitos.

Ensaio de condutividade térmica: O aumento percentual do aditivo de MOV na composição da resina reduziu a condutividade térmica dos compósitos de forma significativa. O aumento percentual do aditivo de CaCO_3 na resina provocou elevação nos valores da condutividade térmica.

Ensaio de absorção sonora: Em frequências mais baixas, os compósitos contendo aditivo de CaCO_3 tiveram o coeficiente de absorção sonora mais alto comparado aos compósitos com aditivos de MOV. Em altas frequências ocorre o inverso. Compósitos constituídos de resina sem a adição de cargas, apresentaram maior coeficiente de absorção sonora nesta faixa de frequência. Os compósitos estudados não apresentaram características típicas de um material absorvedor acústico.

Ensaio de absorção de água: Com a superfície lixada dos corpos de prova para expor a real situação no comportamento das camadas internas, constatou-se que o aumento no percentual do aditivo de MOV na composição da resina aumentou a absorção de água. O aumento no percentual de CaCO_3 na composição da resina não apresentou alteração nos valores da absorção de água.

Ensaio de propagação de chamas: A redução da propagação das chamas representa uma característica benéfica aos compósitos poliméricos reforçados com fibra de vidro. A inclusão do aditivo de MOV na composição da resina resultou em redução na velocidade de propagação das chamas e com o aumento percentual da porcentagem de MOV na mistura diminuiu-se a redução alcançada na velocidade de propagação. O aumento percentual do aditivo de CaCO_3 na composição da resina reduziu a velocidade de propagação das chamas, chegando até não haver propagação das chamas para porcentagens superiores a 25% de massa deste aditivo.

Análise microestrutural do compósito: A presença de MOV foi bem evidenciada na composição dos compósitos com o aparecimento em grande quantidade. Notou-se também que a maior parte das MOV permaneceram íntegras e sem danos superficiais. Os aditivos de MOV apresentaram uma boa homogeneização e formou uma composição aerada na parceria com a resina poliéster, o que resultou em uma menor densidade ao compósito. Os aditivos de CaCO_3 apresentaram uma composição maciça e compacta gerando uma maior densidade ao compósito.

Análise operacional ao processo produtivo: Mediante ensaios práticos operacionais realizados com os processos de fabricação “HLU” e “SPRAY-UP” ficou evidenciado que a utilização de MOV com porcentagem até 8 partes em massa para cada 100 partes em massa de resina, equivalente à composição do CP-04 e correspondente à viscosidade 380 cP, não apresentaram dificuldades técnicas e operacionais que inviabilizasse a sua implementação. Para misturas superiores a esta proporção, o aumento da viscosidade dificultou a completa molhabilidade das fibras de vidro, comprometendo desta forma o contato superficial dos fios com a mistura da resina, resultando em perdas de resistências mecânicas aos compósitos fabricados por estes processos além de ultrapassar os limites operacionais da máquina de projeção da mistura para o processo “SPRAY-UP”. No caso do processo de injeção de resina por moldes fechado “RTM” o uso de aditivos de MOV misturado em proporções iguais e não superiores ao CP-02 e com viscosidade em torno de 192 cP, proporcionou uma injeção satisfatória e dentro dos parâmetros de regulação do equipamento de injeção.

Análise de viabilidade econômica: O uso de aditivos de MOV misturado em proporções iguais e não superiores ao CP-04 promoveu uma redução média nos custos do produto na ordem de 1,1% para o processo “HLU” e 1,9% para o processo “SPRAY-UP” comparados aos métodos convencionais de cada processo onde se utilizaram 100% de resina na composição da fase polimérica do composto. Observou-se também que além da redução dos custos esta proporção de mistura promoveu também a redução de 11,91% na massa do produto final para o processo “HLU” e 12,7% no caso do processo “SPRAY-UP”. No caso do processo de injeção de resina por moldes fechado “RTM”, o uso de aditivos de MOV misturado em proporções iguais e não superiores ao CP-02 promoveu um aumento médio nos custos do produto na

ordem de 0,3% comparado ao método convencional o qual utilizou-se de aditivos de CaCO_3 na proporção da mistura do corpo de prova CP-16. Observou-se também que além do aumento dos custos esta proporção de mistura promoveu também a redução de 17,79% na massa do produto final.

Finalmente, diante da análise de todos os resultados obtidos, foi possível constatar que para a fabricação de produtos em compósitos de resina poliéster insaturado reforçado com fibra de vidro pelos processos “HLU” e “*SPRAY-UP*” pode-se utilizar a MOV como aditivo incorporado à resina em até 8 partes em massa para cada 100 partes em massa de resina, correspondente às proporções do CP-04, o qual apresenta uma viscosidade de 380 cP, sendo estes fatores limitantes específicos a estes processos produtivos.

Para o processo “RTM” pode-se também utilizar a MOV como aditivo incorporado à resina em até 4 partes em massa para cada 100 partes em massa de resina, correspondente às proporções do CP-02, o qual apresenta uma viscosidade de 192 cP, sendo estes fatores limitantes específicos a este processo produtivo.

Qualquer que seja o processo produtivo a ser implementado o uso do aditivo de MOV com o propósito de redução da sua densidade, recomenda-se verificar as propriedades físicas e mecânicas obtidas neste trabalho, oriundas das composições propostas para sua mistura. Desta forma se estará assegurando o sucesso do projeto para o produto.

Diante do volume de ensaios realizados, materiais e equipamentos empregados, bem como a quantidade de profissionais envolvidos, despertou-se o interesse no aprofundamento em temas específicos relacionados a este trabalho e estamos relacionando-os como sugestão para futuras pesquisas.

SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS DE PESQUISAS

-Verificar a influência da forma geométrica esférica da MOV, seu material Borosilicato de Sódio e Cálcio e sua aderência com a matriz polimérica de resina poliéster insaturada.

-Estudar o teor de MOV que sofre dano na sua forma de esfera oca após catálise, deixando de contribuir para a redução da densidade da mistura e contribuindo para sua elevação.

-Analisar em complementação aos ensaios de propagação das chamas, a quantidade de calor liberado pela mistura, bem como a quantidade de fumaça liberada e sua toxicidade.

-Avaliar a influência da utilização de MOV misturada a resina sobre o desgaste mecânico por abrasividade nos equipamentos utilizados para a sua projeção no caso do processo ‘SPRAY-UP’ e para a injeção quando o processo for “RTM”.

-Estudar a viabilidade da utilização de MOV associadas a outras matrizes poliméricas bem como a outros processos relacionados à produção de compósitos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABMACO. **Associação Brasileira de Materiais Compósitos**, Disponível em: <http://www.abmaco.org.br/compositos.cfm>. Acesso em: 12 nov. 2004.

AEROSIL. Disponível em: <https://www.aerosil.com/product/aerosil/pt/industries/resins/effects-applications/thickening-thixotropy/>. Acesso em 14 nov. 2019.

AL OMARI, M. M. H. *et al.* **Profiles of Drug Substances, Excipients and Related Methodology**. In: AL OMARI, M. M. H. *et al.* Calcium Carbonate. Jordan: ELSEVIER, 2016. v. 41, cap. Chapter Two, p. 31-132.

ALLEN, M. S. **Advances in microsphere insulation systems**. Cryogenic Engineering Conference, United States, 1 nov. 2019. Disponível em: https://www.techapps.com/hs-fs/hub/165629/file-18312577-pdf/documents/cec_c2-c-03_advances_in_microsphere_insulation_systems.pdf. Acesso em: 17 out. 2019.

ALMACO – **Associação Latino-americana de Materiais Compósitos**. Disponível em: <http://blogdoplastico.wordpress.com/2013/11/07/setor-de-compositos-faturou-r-831-milhoes-no-terceiro-trimestre/>. Acesso em: 15 nov. 2017.

ALTINER, M. **Influences of CO₂ bubbling types on preparation of calcite nanoparticles by carbonation process**. Periodica Polytechnica Chemical Engineering, v. 62, n. 2, p. 209-214, 2018.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D2196-18**: Standard Test Methods for Rheological Properties of Non-Newtonian Materials by Rotational Viscountess – 2018.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D256-10**: Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics – 2018.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D2583-13a**: Standard Test Method for Indentation Hardness of Rigid Plastics by Means of a Barcol Impressor – 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D635-18**: Standard Test Method for Rate of Burning and/or Extent and Time of Burning of Plastics in a Horizontal Position – 2018.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D638-14**: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics – 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D790-17**: Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials – 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D570-98**: Standard Test Method for Water Absorption of Plastics – 2018.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C518-17**: Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus – 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E1050-19**: Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials Using a Tube, Two Microphones and a Digital Frequency Analysis System – 2019.

ARAUJO, E. M *et al.* **Fiberglass wastes/polyester resin composites**: mechanical properties and water sorption. *Polímeros*, [s. l.], v. 16, n. 4, 2006.

ARUNIIT, A. *et al.* **Influence of hollow glass microspheres on the mechanical and physical properties and cost of particle reinforced polymer composites**. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Polymer Science*, 61, 3, p.160-165. Tallinn University of Technology, Estonia, 2012.

BARBOSA, A. P. **Características estruturais e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibra de buriti**. Orientador: Prof. Sergio Neves Monteiro. 2011. 160 p. Tese (Doutor em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ, 2011. Disponível em: http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/_2/2013/07/Tese-de-doutorado-_fibras-de-Buriti_.pdf. Acesso em: 12 out. 2019.

BARBOZA, A. C. R. N.; DE PAOLI, M. A. **Polipropileno Carregado com Microesferas Ocas de Vidro (Glass Bubbles™): Obtenção de Espuma Sintática. Polímeros: Ciência e Tecnologia**, CAMPINAS, ano 2002, v. 12, n. 2, p. 130 - 137, 6 abr. 2002. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-14282002000200013&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 4 out. 2019.

BERMAN, A.; DILORETO, E.; MOON, R. J. **Hollow glass spheres in sheet molding compound composites: limitations and potencial**. *Polymer Composites*. 2021; 42(3): 1279-1291. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/pc.25900>. Acesso em: 4 fev. 2021.

CALLISTER JR., W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução**. LTC, v. 8ª Edição, 2012.

CANEVAROLO JR, S. V. **Ciência dos Polímeros** – Um texto básico para tecnólogos e engenheiros. 3ª edição, São Paulo: Artliber, 2010.

CANTWELL, W.J.; MORTON, J. **The Impact Resistance of Composites Materials** – a Review – *Composites*; vol. 22, n.5. 1991.

CARVALHO, A. **Cura e pós-cura de resinas poliéster e vinilester**. Passos, M.G., 2002, 289p.

COSSE, R. L.; MORAES, A. C. L.; SILVA, L. R. C.; CARVALHO, L. H.; SOBRINHO, J. F. R.; BARBOSA, R.; ALVES, T. S., **Preparation of syntactic foams made from green polyethylene and glass microspheres: morphological and mechanical**

characterization. Materials Research. 2019; 22(supl.1): e20190035. Available from: <http://dx.doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2019-0035>. Acesso em: 16 jan. 2020.

COSTA, C. M. **Caracterização Reológica de Flúidos Complexos.** Departamento de Engenharia mecânica, [s. l.], 2017. Disponível em: http://www.puc-rio.br/pibic/relatorio_resumo2017/relatorios_pdf/ctc/MEC/MEC-Camila%20Moreira%20Costa.pdf. Acesso em: 14 nov. 2019.

CUNHA, M. P. **Desenvolvimento de compósitos de poli (acrilonitrila- co-butadieno- co-estireno) / Microesferas ocas de vidro para utilização na indústria automobilística.** Orientador: Dra. Rosmary Nichele Brandalise. 2015. 138 p. Dissertação (Mestre em Engenharia de Processos) - Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, RS, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/handle/11338/1068>. Acesso em: 5 out. 2019.

CUNHA, M. P. **Preparation and Characterization of Hollow Glass Microspheres-Reinforced Poly (acrylonitrile-co-butadiene-co-styrene) Composites.** Materials Research, Caxias do Sul, RS, v. 21, 16 ago. 2018. DOI <http://dx.doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2018-0201>. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1516-14392018000600220&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 16 out. 2019.

DE MOURA, M.F.S.F.; MORAIS, A.B.; MAGALHÃES, A.G. **Materiais Compósitos: Materiais, Fabrico e Comportamento Mecânico.** 2ª ed. Porto: Publinústria Edições Técnicas. 2011.

DE PAOLI, M.A. Degradação e Estabilização de Polímeros. 2ª. ed. rev. [S. l.]: Chemkeys, 2008. 228 p. Disponível em: <http://www.chemkeys.com/blog/wp-content/uploads/2008/09/polimeros.pdf>. Acesso em: 3 dez. 2019.

DOUMBIA, A.S. et al. **Hollow microspheres – poly-(propylene) blends: Relationship between microspheres degradation and composite properties.** Polymer Degradation and Stability, França, v. 114, p. 146-153, 2015. DOI <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2014.12.024>. Disponível em: <https://w>

www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391014004571. Acesso em: 18 nov. 2019.

ELEKEIROZ. **Manual básico do poliéster insaturado**. Várzea Paulista, SP: 2004, 60p.

EMBRAPOL, **Resina**. Acesso em 25 mar 2020. Disponível em: <http://www.embrapol.com.br/resina.htm>.

FACTORI, I. M. **Processamento e propriedades de compósitos de poliamida 6,6 reforçadas com partículas de vidro reciclado**. Orientador: Prof. Dr. Samuel Marcio Toffoli. 2009. 76 p. Tese (Mestre em Engenharia de Materiais) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2009. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3133/tde-29092010-163249/publico/Dissertacao_Irina_Marinho_Factori.pdf. Acesso em: 19 set. 2019.

FRIEDRICH, K.; ALMAJID, A.A. **Manufacturing Aspects of Advanced Polymer Composites for Automotive Applications**. Appl Compos Mater, Saudi Arabia, n. 20, p. 107-128, 2012.

GAMBI, M. L. **Mecanismo Auto Cicatrização com ênfase em ligas metálicas**. Monografia para obtenção título de Engenharia de Materiais, Orientador. Prof. Marcio Andreato. p. 40, UTFPR Londrina, 2019.

GARAY, A. C. **Efeito da adição de carbonato de cálcio em compósitos poliméricos moldados por RTM e RTM light**. Orientador: Prof. Dr. Sandro Campos Amico. 2010. 92 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ciência dos Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010, 2010. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/28834>. Acesso em: 15 ago. 2019.

GHOSH, S. K. **Self-healing Materials: Fundamentals, Design Strategies , and Applications**. 2009.

GORNI, A. A. **Introdução aos plásticos**. 2003. Disponível em: <http://www.gorni.eng.br/intropol.html>. Acesso em: 28 nov. 2019.

GUEDES, B. & FILKAUSKAS, M. E. **O plástico**. São Paulo: Érica Editora, 1986.
HAND lay-up and Spray-up. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://www.poliya.com/en/hand-lay-up-and-spray-up>. Acesso em: 5 dez. 2019.

HARADA, J.; WIEBECK, H. **Plásticos De Engenharia**. São Paulo: Editora Artiber, 1ª impressão, 2005.

HIDROPLAS. **Metta: programa de qualidade Hidroplás**. Botucatu, SP: Gráfica São João, 1994, 305p.

JAZI, S.H.S.; ESFAHANY, M.N., BAGUERI, R. **Investigation of the addition of nano -CaCO₃ at dry mixing or onset of fusion on the dispersion, torque, and mechanical properties of compounded PVC**. Journal of Vinyl and Additive Technology. 2012; v18 (n.3): p.153-160 .Available from: <https://doi.org/10.1002/vnl.20317>. Acesso em: 5 nov. 2019.

KEMERICH, P. D. C *et al.* **Glass Fiber: Characterization, disposal and environmental impact generated**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, Santa Catarina, v. 10, n. 10, p. 2112-2121, 2013. DOI <http://dx.doi.org/10.5902/223611707590>. Acesso em: 2 abr. 2020.

LANDESMANN, A.; SERUTI, C. A.; BATISTA, E. M. **Mechanical Properties of Glass Fiber Reinforced Polymers Members for Structural Applications**. Materials Research, [s. l.], v. 18, n. 6, p. 1372-1383, 2015.

LEE, M. Y. A **Comparative Study of Production of Glass Microspheres by using Thermal Process**. Materials Science and Engineering, Malaysia, ed. 205, 2017. DOI [doi:10.1088/1757-899X/205/1/012022](https://doi.org/10.1088/1757-899X/205/1/012022). Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/205/1/012022/pdf>. Acesso em: 16 out. 2019.

LI, J. et al. **Preparation and characterization of hollow glass microsphere reinforced poly (butylene succinate) composites**. Materials & Design, China, v. 46, p. 902-909, 21, 2013. DOI <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2012.11.054>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306912008126>. Acesso em: 15 nov. 2019.

LOKENS GARD, E. **Plásticos Industriais: teoria e aplicações**. São Paulo: Editora Cengage Learning; 2013, 560p.

MANO, E. B. **Polímeros como materiais de engenharia**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 1991, 218p.

MANO, E. B.; MENDES, L. C. **Introdução a polímeros**. 2. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2004, 208p.

MARTINS, M. A. P. M. **Desenvolvimento de um Compósito de Material Polimérico PE com a Cinza Pesada Resultante da Queima do Carvão Mineral**. 2008. 90 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

MELO, A. J. L. **Avaliação da estrutura de tecidos técnicos como elemento reforçante em compósitos poliméricos sistema poliéster isoftálico**. Orientador: Prof. Danilo Alves Pinto Nagem. 2013. 90 p. Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/15705>. Acesso em: 12 set. 2019.

MICHAELI, W. et al. **Tecnologia dos plásticos**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 1995, 216p.

MIRANDA, T. B. **Nanocompósitos de epóxi/nanopartículas de carbonato de cálcio**: Propriedades Termomecânicas e de superfície. 2019. 107 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Química) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

NASSEH, J. **Manual de construção de barcos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Editora Barracuda Composites, 2011, 660p.

OWENS CORNING Disponível em: <https://www.owenscorning.com.br/pt-br/compositos-produtos-produto?id=20> Acesso em: 18 nov. 2019.

PARA, M. Disponível em: <http://educa.fc.up.pt/ficheiros/noticias/69/documentos/108/Manual%20Pol%20A1meros%20e%20Materiais%20polimericos%20NV.pdf> Acesso em 13 out. 2019.

PEREIRA, A. C. **Propriedades e Estrutura de Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibras e Tecido de Fique**. 2017. 68 f. Dissertação (Mestre em Ciência dos Materiais) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2017.

PEREIRA, B.S.; BARBOSA, R.; ALVES, T.S. **Avaliação da morfologia e propriedades mecânicas de compósitos laminados a base de epóxi, cortiça e microesferas de vidro**. Revista Matéria, v.24, n.3. Teresina, 2019.

ROCHA, C. A; SILVA, E. F.; SOUZA, R. C. C. **Polímero de entretenimento: uma macromolécula biodegradável**. 91p. Lins, 2013.

RTM. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://www.poliya.com/en/rtm-and-infusion>. Acesso em: 5 dez. 2019.

SCHLICKMANN, K. P. et al . **Effect of The Incorporation of Micro and Nanoparticles of Calcium Carbonate in Poly (Vinyl Chloride) Matrix for Industrial Application**. Materials Research, São Carlos , v. 22, 2019 .

Standard for Safety for Test for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devicesand Appliances, UL 94, 2013.

TROFIMOV, A; PLESHKOV, L; BACK, H. **Hollow glass microspheres for high strength composite cores**. Reinforced Plastics, [s. l.], v. 50, ed. 7, p. 44-50, 21 , 2006. DOI [https://doi.org/10.1016/S0034-3617\(06\)71074-8](https://doi.org/10.1016/S0034-3617(06)71074-8). Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034361706710748>. Acesso em: 11 nov. 2019.

VIGNALI, A. et al. **Lightweight Poly (ϵ -Caprolactone) Composites with Surface Modified Hollow Glass Microspheres for Use in Rotational Molding: Thermal, Rheological and Mechanical Properties.** *Polymers*, Itália, v. 11, ed. 624, 2019. DOI doi:10.3390/polym11040624. Disponível em: www.mdpi.com/journal/polymers. Acesso em: 19 set. 2019.

WANG, C.; Yu, X.; SMITH, L.M.; WANG, G.; CHENG, H.; ZHANG, S. **Interfacial Properties of Bamboo Fiber-Reinforced High-Density Polyethylene Composites by Different Methods for Adding Nano Calcium Carbonate.** *Polymers* 2017, 9, 587.

WICAKSONO, S.T.; LAKSANA, A. H.; ARDHYANANTA, H. **Effect of calcium carbonate on the tensile and density properties of kenaf/polyester hybrid composite.** In: Proceedings of the 9th Annual Basic Science International Conference; 2019 Mar 20-21; Malang, Indonesia. p. 629-633.

XIE, Y. et al. **Fabrication of porous hollow glass microspheres.** *Journal of Power Sources*, EUA, v. 196, p. 10727-10730, 2011. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2011.07.049>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378775311013875>. Acesso em: 13 nov. 2019.

YALCIN, B. et al. **Improvements in processing characteristics and engineering properties of wood flour-filled high density polyethylene composites sheeting in the presence of hollow glass microsphere.** *Journal of Plastic Film & Sheeting*, United States, v. 28, ed. 2, p. 165-180, 2012.

YALCIN, B.; AMOS, S.E. **Hollow Glass Microspheres in Thermoplastics. Hollow Glass Microspheres for Plastics, Elastomers, and Adhesives Compounds: Plastics Design Library**, Estados Unidos, p. 35-105, 2015. DOI <https://doi.org/10.1016/B978-1-4557-7443-2.00003-7>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781455774432000037?via%3Dihub>. Acesso em: 25 nov. 2019.

YOUNG, K.C et al. **Preparation and properties of hollow glass microsphere-filled epoxy-matrix composites**. Composites Science and Technology, China, v. 69, p. 260-264, 2009. DOI <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2008.10.014>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0266353808004181>. Acesso em: 13 nov. 2019.

ZHANG, H., WANG, P., YANG, J. **Self-healing epoxy via epoxy-amine chemistry in dual hollow glass bubbles**. Composites Science and Technology, 94, 23-29, Singapore, 2014.

ZHU, B.L. et al. **Tailoring of thermal and dielectric properties of LDPE-matrix composites by the volume fraction, density, and surface modification of hollow glass microsphere filler**. Composites Part B: Engineering, China, v. 58, p. 91-102, 2014. DOI <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.10.029>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359836813006045>. Acesso em: 13 nov. 2019.

ANEXOS

Anexo "A": Ficha Técnica da Resina Arazyn 13.0

Document 4947 V1 F1, Language PT V1, Approved 2012-10-10, © 2016 Ashland Inc. Page 1 (3)

Ficha Técnica



ARAZYN™ 13.0 Resina de Poliéster Insaturado

DESCRIÇÃO A resina ARAZYN® 13.0, acelerada, apresenta, no estado líquido, viscosidade baixa, excelente molhabilidade em mantas e rovings, bem como excelente fluidez para aplicação no processo RTM light. Após a cura, quando em combinação com fibra de vidro, forma um compósito de alta resistência ao impacto com desenvolvimento rápido de dureza.

APLICAÇÕES E USO Resina com boa aceitação de carga e pigmentos.
Fabricação de peças diversas em moldes fechados e processos com alta produtividade.

PROPRIEDADES TÍPICAS DA RESINA LÍQUIDA	Propriedades(1) da resina líquida @ 25°C	Valor Típico	Unidade	Método
	Viscosidade, Brookfield # 2 spindle - 20 rpm	100	cP	MPI 000081
	Aspecto	Turvo		MPI 000042
	Cor	Castanho		MPI 000042
	Teor de Sólidos, mínimo	55	%	MPI 000041
	Índice de Acidez (em solução)	30	mg KOH/g	MPI 000036

(1) Os valores das propriedades acima obtidos resultam da resina AZ 13.0 na sua forma original (padrão). Qualquer produto adicionado à mesma, afetará tais valores. O catalisador (AAP) usado, possui teor de oxigênio ativo de 8,9 a 9,1% e umidade máxima de 3%.
CURA: Usar AAP como catalisador num teor que pode variar de 0,7 a 2,0 %. A escolha do teor de AAP está diretamente ligada à espessura e volume da peça, bem como à temperatura ambiente.

CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE CURA	Gel time a 77°F (25°C), 100 gramas resina + 0,1 ml DMA + 1,0 ml AAP	Valor Típico	Unidade	Método
	Gel Time	11	minutos	MPI 000092
	Intervalo de Pico	13	minutos	MPI 000092
	Pico Exotérmico	392	°F	MPI 000092
	Pico Exotérmico	200	°C	MPI 000092

PROPRIEDADES(1) MECÂNICAS DA RESINA CURADA(2) SEM REFORÇO	PROPRIEDADES MECÂNICAS DA RESINA CURADA (2), SEM REFORÇO	Valor	Unidade	Método
	Resistência à Tração	65	Mpa	ASTM D-638
	Módulo na Tração	2800	MPa	ASTM D-638
	Alongamento	3,4	%	ASTM D-638
	Resistência à Flexão	70	MPa	ASTM D-790
	Módulo na Flexão	2800	MPa	ASTM D-790



* Registered service mark of the American Chemistry Council. © Registered trademark and ™ trademark of Ashland Inc.
Responsible Care® Ashland is committed to the continuous evolution of technology and service solutions that promote health, safety and environmental protection around the world.

Ficha Técnica



ARAZYN™ 13.0 Resina de Poliéster Insaturado

Temperatura de Distorção Térmica	167	°F	ASTM D-648
Temperatura de Distorção Térmica	75	°C	ASTM D-648
Barcol Hardness, 2 hours	40		ASTM D-2583

(1) Valores Típicos: Baseados em materiais testados em nossos laboratórios, mas com variação de amostra para amostra. Valores típicos não devem ser considerados como uma garantia de análise de algum lote específico ou como item de especificação.

(2) Sistema de Cura: 0,1 ml de DMA + 1,0 g de AAP em 100 g de resina, seguido de pós cura de 2 horas à 80°C.

EMBALAGEM
PADRÃO

Tambor não retornável com 220 kg (peso líquido).
Rótulo: Líquido inflamável.

MANUSEIO SEGURO

A resina ARAZYN 13.0 contém ingredientes que podem ser perigosos se não forem manuseados adequadamente. O contato com a pele e olhos deve ser evitado e é necessário o uso de EPIs (Equipamentos de Proteção Individual).
A ASHLAND mantém a FISPQ (Folhas de Informações de Segurança de Produto Químico) de todos os seus produtos à disposição do consumidor. A FISPQ contém informações de segurança, saúde e procedimentos adequados de manuseio, a fim de proteger seus empregados e consumidores.

ARMAZENAGEM

Tambores: Manter à temperatura de 25°C ou menor. O tempo de vida do produto na estocagem diminui com o aumento da temperatura. Evite exposição às fontes de aquecimento tais como, luz do sol ou tubulações de vapor. Manter a embalagem vedada para prevenir umidade e evaporação do estireno. Após prolongado tempo no estoque, recomenda-se agitação antes do uso.
Tanques: Armazenar em tanques de aço inoxidável ou revestido com tinta de base epóxi ou fenólica. Verifique as condições de armazenagem de forma a evitar umidade e/ou calor.

GARANTIA
COMERCIAL

Quando armazenado de acordo com as recomendações acima, o produto tem vida útil de 03 (meses) meses a partir da data de fabricação.

CERTIFICADOS E
APROVAÇÕES

A fabricação, controle de qualidade e distribuição dos produtos pela Ashland Polímeros do Brasil S/A, estão em conformidade com os requisitos da norma ISO 9001.

INFORMAÇÕES

Ashland Polímeros do Brasil S/A
Rua Arthur César, 200 - Bairro da Ronda
Araçatiguama - SP - Brasil
CEP. 18147-000 - Fone: + 55 11 41366477
www.ashland.com.br



* Registered service mark of the American Chemistry Council. © Registered trademark and ™ trademark of Ashland Inc.
Responsible Care* Ashland is committed to the continuous evolution of technology and service solutions that promote health, safety and environmental protection around the world.

Ficha Técnica



ARAZYN™ 13.0 Resina de Poliéster Insaturado

Aviso

Todas as informações aqui presentes acredita-se sejam precisas e confiáveis, e são para consideração, investigação e verificação exclusivas do usuário. As informações não devem ser consideradas como uma garantia expressa ou implícita pela qual a Ashland assume responsabilidade legal. Quaisquer garantias, incluindo garantias de mercantilidade ou não violação de direitos de propriedade intelectual de terceiros, estão expressamente excluídas deste.

Considerando que as fórmulas de produtos do usuário, aplicações de uso específico e condições de uso estão fora do controle da Ashland, esta não oferece quaisquer garantias com relação aos resultados que podem ser obtidos pelo usuário. O usuário deverá ser responsável por determinar a adequação de quaisquer dos produtos mencionados para a aplicação específica pelo usuário.

A Ashland solicita que o usuário leia, entenda e respeite as informações aqui contidas, bem como aquelas nas Folhas de Dados de Segurança de Material atuais.



Responsible Care*

* Registered service mark of the American Chemistry Council. © Registered trademark and ™ trademark of Ashland Inc.

Ashland is committed to the continuous evolution of technology and service solutions that promote health, safety and environmental protection around the world.

Anexo “B”: Ficha Técnica da Resina Enydyne 13.0



ENYDYNE[®] H 871

Resina Especial Para Laminação de Baixa Contração

Aparência

Líquido de média viscosidade e de cor azulada.

Aplicações recomendadas

Resina indicada para processos de Hand lay-up e Spray-up quando é necessária a visualização da catálise da resina (mediante a mudança da cor da resina na presença do catalisador).

Principais características

Resina de poliéster insaturado base DCPD com alto teor de sólidos, baixa contração e indicador de cura:

- Resina pré-acelerada,
- Tixotrópica,
- Média viscosidade e média reatividade,
- Rápido ciclo de cura.

Propriedades da resina líquida

Características	Referência	Unidade	Especificação			
			H 871-10	H 871-15	H 871-20	H 871-25
Viscosidade						
Brookfield a 25°C	ASTM D - 2196	(cP)	260 - 290	260 - 290	260 - 290	260 - 290
Índice de Tixotropia	ASTM D - 2196	adm	1,40 - 1,70	1,40 - 1,70	1,40 - 1,70	1,40 - 1,70
Gel Time a 25°C*	ASTM D - 2471	min:seg	11:00 - 15:00	16:00 - 20:00	21:00 - 25:00	26:00 - 30:00
Intervalo Simples	ASTM D - 2471	min:seg	10:00 - 20:00	10:00 - 20:00	10:00 - 20:00	10:00 - 20:00
Pico Exotérmico	ASTM D - 2471	°C	135 - 155	135 - 155	135 - 155	135 - 155
Índice de Acidez	ASTM D - 1639	(mg KOH/g)	Máx. 30,00	Máx. 30,00	Máx. 30,00	Máx. 30,00
Teor de Sólidos	ASTM D - 1259	%	63,00 - 66,00	63,00 - 66,00	63,00 - 66,00	63,00 - 66,00
Densidade a 25°C	ASTM D - 1475	g/cm ³	1,10 - 1,12	1,10 - 1,12	1,10 - 1,12	1,10 - 1,12

Obs. 1 – Sistema catalítico: feito com 100g de resina com 1ml de MEK-P;

Obs. 2 – A viscosidade da resina e do composto não poderá ser reduzida com adição de monômeros ou aditivos, pois isso alterará as características físico-químicas do produto.

Polynt Composites Brazil Ltda
Rua Áurea Tavares, 480/580 Parque Industrial das Oliveiras.
06765-440 Taboão da Serra / SP
Tel.: +55 (11) 2147-2700 Fax: +55(11) 2147-2722
www.polynt.com.br – vendasonline@ccpcomposites.com.br



Obs. 3 – Esses valores podem ou não ser critérios de controle de fabricação e são listados para uma simples referência. As condições de armazenamento, idade do produto, variações de temperatura, tipo de aparelho e procedimento utilizado nos testes, podem ter um efeito significativo nos resultados.

Dosagem de Catalisador indicado	Mínimo	Máximo
	1ml	1,8ml

Propriedades da resina curada sem reforço (valores médios)

Resistência à tração	ASTM D - 638	MPa	75 - 77
Módulo de elasticidade	ASTM D - 638	MPa	3.500 - 3700
Deformação até ruptura	ASTM D - 638	%	1,75 - 1,95
Resistência à flexão	ASTM D - 790	MPa	122 - 124
Módulo de flexão	ASTM D - 790	MPa	3.400 - 3.600
Deformação até ruptura	ASTM D - 790	mm	3,50 - 3,70
HDT - Temp. Deformação Térmica	ASTM D - 648	°C	82 - 85

Precauções de segurança

- Solução de resina poliéster contém monômero volátil e inflamável como o estireno com **Ponto de Inflamação de 32°C**. Assim, todas essas resinas devem ser manuseadas e usadas em lugar coberto e bem ventilado, com área à prova de chama.
- Recomenda-se o uso de luvas e óculos de proteção para evitar contra qualquer irritação nos olhos e pele que pode surgir devido à presença de estireno. De modo algum misturar diretamente os aceleradores com catalisadores (peróxidos) que pode causar explosões.
- Utilizar os nossos produtos somente para uso industrial e aplicação profissional.
-

Condições de armazenamento

As resinas de poliéster insaturado devem ser mantidas a temperatura de 30°C ou menor. O armazenamento do produto em condições diferentes acarretará em alterações das propriedades do mesmo, inclusive sua vida útil que é de **4 meses**.

Qualquer dúvida, consultar nosso departamento técnico.

Versão 09-18

As recomendações ou sugestões de uso de nossos produtos contidas nesta ficha, são fornecidas de boa fé como orientação ao usuário porém, sem nenhuma espécie de garantia explícita. Solicitamos aos nossos clientes que inspecionem e testem os nossos produtos antes de sua utilização. Não assumimos quaisquer responsabilidades decorrentes de armazenamento e manuseio em condições inadequadas.

Polynt Composites Brazil Ltda
 Rua Áurea Tavares, 480/580 Parque Industrial das Oliveiras.
 06765-440 Taboão da Serra / SP
 Tel.: +55 (11) 2147-2700 Fax: +55(11) 2147-2722
www.polynt.com.br – vendasonline@ccpcomposites.com.br