



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS PARNAÍBA
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA**

ADRIANA SILVA FREIRE

**DESENVOLVIMENTO DE UM COMPÓSITO A PARTIR DA MISTURA DO PÓ DA
CONCHA DO MOLUSCO *Anomalocardia brasiliiana* AO POLIETILENO DE
TEREFTALATO – PET, MATERIAIS DE DESCARTE NA CIDADE DE LUÍS
CORREIA/PÍ.**

**PARNAÍBA
2022**

ADRIANA SILVA FREIRE

DESENVOLVIMENTO DE UM COMPÓSITO A PARTIR DA MISTURA DO PÓ DA
CONCHA DO MOLUSCO *Anomalocardia brasiliiana* AO POLIETILENO DE
TEREFTALATO – PET, MATERIAIS DE DESCARTE NA CIDADE DE LUÍS
CORREIA/PÍ.

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como exigência parcial para obtenção do
diploma do Curso de Licenciatura em Química do
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do
Piauí- Campus Parnaíba.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Janiciara Botelho Silva

Coorientador: Prof^º. Dr. Haroldo Reis Alves de Macêdo

PARNAÍBA
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Freire, Adriana Silva

F866d Desenvolvimento de um compósito a partir de uma mistura de pó da concha do molusco *Anomalocardia brasiliana* ao Polietileno de Tereftalato - PET, materiais de descarte na cidade de Luís Correia/PI / Adriana Silva Freire. - 2022.

84 f.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) - Instituto Federal do Piauí, Campus Parnaíba, 2022.

Orientadora : Profa. Dra. Janiciara Botelho Silva .

Coorientador : Prof. Dr. Haroldo Reis Alves de Macêdo .

1. Química . 2. Compósitos (Engenharia de materiais). 3. Polímeros .
I. Título.

CDD - 540

Elaborado por Micheline Angélica Aragão Gouveia CRB 3/1244

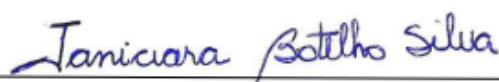
ADRIANA SILVA FREIRE

DESENVOLVIMENTO DE UM COMPÓSITO A PARTIR DA MISTURA DO PÓ DA
CONCHA DO MOLUSCO *Anomalocardia brasiliiana* AO POLIETILENO DE
TEREFTALATO – PET, MATERIAIS DE DESCARTE NA CIDADE DE LUÍS
CORREIA/PÍ.

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como exigência parcial para obtenção
do diploma do Curso de Licenciatura em Química do
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia
do Piauí - Campus Parnaíba.

Aprovado em: 10/02/2022.

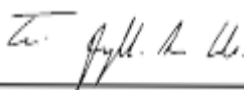
BANCA EXAMINADORA



Prof^a. Dr^a. Janiciara Botelho Silva (Orientadora)
Instituto Federal do Piauí (IFPI) – *Campus Parnaíba*



Prof^o. Dr. Haroldo Reis Alves de Macêdo (Coorientador)
Instituto Federal do Piauí (IFPI) – *Campus Picos*



Prof^o. Me. Iuri Augusto Alves Lustosa
Instituto Federal do Piauí (IFPI) – *Campus Parnaíba*

“(...) quando eu nasci, as frases que hão de salvar a humanidade já estavam todas escritas, só faltava uma coisa – salvar a humanidade”.

Almada Negreiros

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Francisco José dos Santos Freire e Lidiane Soares Silva, que sempre prezaram pela minha educação, pela criação e apoio nas horas difíceis dessa jornada; e aos meus irmãos Pedro, Renato e Bernardo Freire por me fazerem sorrir mesmo nos dias mais difíceis.

A minha orientadora, Prof^a Dra. Janiciara Botelho Silva, por sempre me motivar a crescer e por aceitar me orientar, pela paciência e oportunidade de pesquisar e trabalhar com uma área que complementa minha missão de vida neste mundo que é cuidar deste único planeta a qual habitamos.

A meu coorientador Prof^o Dr. Haroldo Reis Alves de Macêdo (IFPI/Picos) por dedicar seu tempo a minha ideia e me orientar na pesquisa.

A Prof^a Dra. Ana Maria Athayde Uchôa Thomaz por cada aula maravilhosa da disciplina de TCC, pelos conselhos, por todas as orientações e sua forma única de amansar a gente mesmo quando estamos nos sentindo bravos e perdidos, a senhora é ouro viu!

A uma mulher forte e batalhadora, Laelia de Araújo Pinto presidente da Associação das Marisqueiras e Filetadeiras de Luís Correia – PI (AMFLC) que fica localizada no bairro Ceárazinho, a mesma foi muito gentil e acolhedora ao me ceder gratuitamente as conchas de molusco.

Ao Instituto Federal do Piauí – Campus Parnaíba, que através dos anos de ensino gratuito tornou-me uma pessoa mais capacitada para o meio acadêmico assim como ajudou-me a desenvolver o intelecto plausível para perseguir meus sonhos dentro da área a qual tenho demasiada estima desde a infância.

Ao meu namorado Adryann Millos Santos de Freitas, por cada segundo de sua vida dedicado a mim e a me incentivar nos dias mais tristonhos, por todas as vezes que foi o meu caminho em meio a escuridão, guiando-me para não ser uma estrela solitária, por cada palavra diária “você é boa!”, “não desista, vou proteger você” e por sempre segurar minha mão em todas as ocasiões que eu quis sucumbir, nunca desistindo de mim, mesmo quando o meu brilho passou a diminuir e com seu carinho fez-me querer lutar e viver!

À um amigo especial a qual tenho grande estima, Marcos Antônio de Moraes Vieira Filho, Biólogo e companheiro de profissão docente, pelas longas

conversas e cafés que nos levavam as sabatinas sobre a sociedade, a política, a religião e o meio ambiente, pelas ideias de mente aberta e cunho tecnológico, assim como por me abrir os olhos para os resíduos da malacocultura.

À uma amiga especial, Ingrid Cabral Veras, que sempre me apoiou e me fez companhia durante a maior parte da jornada acadêmica, mesmo nos dias mais ácidos os nossos risos soltos, o companheirismo, o carinho e os cafés tornavam tudo mais saboroso, você me ajudou mesmo sem saber, nossa amizade é eterna!

A minha querida amiga/irmã Jarlinne dos Santos Marques (Blue, Jar e o famoso Nãaaaaooo), por cada dia, por cada ano, por todos, absolutamente todos esses anos de amizade e carões, companheirismo nas horas boas e ruins, por cada momento de alegria, de tristeza, de farofas e conversas na madrugada e por cada “Vá, tu consegues” e eu realmente consegui! Obrigada por não soltar minha mão, sua amizade completou minha vida!

A minha amiga Vitória de Moraes Costa por me fazer feliz ao me mostrar conteúdos deveras interessantes para a minha veia artística, assim como pela companhia e os sorrisos propiciados pela admiração dos livros indicados, das músicas e das bandas que tiveram os álbuns como trilha sonora dessa incrível reta final, sua amizade é um presente!

Aos professores do curso, por cada ensinamento repassado durante essa trajetória: Prof^a Dr^a. Ana Maria Athayde Uchoa Thomaz, Prof^a Me. Evânia Carvalho, Prof^a Me. Vilma Araújo Dias, Prof. Dr. Bartholomeu Araujo Barros Filho, Prof Dr. Haroldo Luís Sousa Neres, Prof^a Dr^a. Márcia Valéria Silva Lima, Prof^a Esp. Janete César Ribeiro e todo corpo docente do IFPI.

A todos os colegas que conquistei ao longo deste percurso.

Aos servidores do IFPI – Campus Parnaíba, que nos acolhiam e tornavam tudo melhor, sejam estes o pessoal da limpeza, que deixavam as salas de aulas limpas e organizadas ou os funcionários do refeitório, por preparar nossas refeições de cada dia e fornecer compreensão quando as “fichas” não davam pra todos.

Aos servidores do Laboratório do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Matérias do Instituto Federal do Piauí – Campus Teresina Central, local onde fui seguindo a orientação do Professor Haroldo e realizei os testes de caracterização Química e Física com o auxílio do técnico André que foi de grande ajuda e esclarecimento.

“Quando algo é importante o suficiente, você realiza, mesmo que as chances não estejam a seu favor”.

Elon Musk

RESUMO

O ser humano possui sua evolução interligada a inovação de técnicas de manuseamento de materiais, desde os primórdios dos tempos, visivelmente exemplificado com a criação de ferramentas e artefatos no geral desde a época dos Hominídeos. A evolução da sociedade se edifica em conjunto ao crescimento do pensamento lógico e se consolida ao longo dos séculos sobre os pilares: sociais, industriais e políticos, a mesma trouxe para os homens o desenvolvimento abrangente em diversos campos, porém a evolução exacerbada e o consumismo desenfreado acarretaram na sociedade diversos problemas ambientais. A ciência por sua vez, de acordo com as tecnologias disponíveis, busca respostas para minimizar os impactos ambientais, buscando proteger o planeta e assegurar a sobrevivência da humanidade. Ainda aos poucos, começa-se a compreender a necessidade evidente a cada dia, de uma convivência sustentável entre o homem e o meio ambiente. Dessa forma, a mesma ciência que fomenta as indústrias, também se esmera em laboratórios para desenvolver materiais ecologicamente corretos, ou seja, biodegradáveis ou recicláveis. A engenharia de materiais destaca-se em várias linhas de pesquisa, dentre elas estão os compósitos, que são materiais formados a partir da junção de dois ou mais materiais, onde suas propriedades devem ser superiores as propriedades de seus materiais precursores, dessa forma nasceu um campo de pesquisa capaz de unir materiais antes desperdiçados e que agora através de estudo podem ser moldados para reuso. Polímero e cerâmica (que podem ser óxidos) são definições químicas de substâncias, a interação química entre ambos chamado de sinergismo, é o resultado esperado dessa combinação com propriedades melhoradas pra os fins estabelecidos. Então o presente trabalho agrega conhecimentos químicos a linha de pesquisa dos compósitos da engenharia de materiais, visando obter um compósito feito a partir de materiais de descarte, estes que possuem origem polimérica e origem cerâmica. Os materiais coletados na cidade de Luís Correia-Piauí para a presente pesquisa são: o polímero Polietileno de Tereftalato – PET e o material cerâmico é oriundo da reciclagem de conchas do molusco bivalve *Anomalocardia brasiliiana* (Gmelin, 1971), advindas do descarte da Malacocultura, dessa forma, obteve-se a formulação de um compósito com fins futuros de uma possível aplicação na área de materiais ecológicos a serem usados na construção civil, ou áreas sustentáveis afins, ao mesmo tempo esta pesquisa servirá de base para estudos e olhares sobre materiais já existentes que são descartados, garantindo assim a manutenção de um ciclo social sustentável, capaz de orientar as populações das cidades a um novo patamar de sobrevivência para com a natureza.

Palavras-chave: Compósito. Concha de mariscos. Polímeros.

ABSTRACT

The human being has its evolution interconnected with the innovation of materials handling techniques, since the beginnings of time, visibly exemplified with the creation of tools and artifacts in general since the time of the Hominids. The evolution of society is built together with the growth of logical thinking and is consolidated over the centuries on the pillars: social, industrial and political, it has brought to men the comprehensive development in various fields, but the exacerbated evolution and consumerism unbridled caused several environmental problems in society. That way, science, according to available technologies, seeks answers to minimize environmental impacts, seeking to protect the planet and ensure the survival of humanity. Slowly, we begin to understand the evident need for a sustainable coexistence between man and the environment. In this way, the same science that encourages industries also works hard in laboratories to develop ecologically correct materials, that is, biodegradable or recyclable. Materials engineering stands out in several lines of research, among them are composites, which are materials formed from the junction of two or more materials, where their properties must be superior to the properties of their precursor materials, in this way a field of research capable of uniting materials that were wasted before and now, through study, can be molded for reuse. Polymer and ceramic (which can be oxides) are chemical definitions of substances, the chemical interaction between the two called synergism, is the expected result of this combination with improved properties for the established purposes. That way, the present work adds chemical knowledge to the research line of materials engineering composites, aiming to obtain a composite made from waste materials, which have polymeric origin and ceramic origin. The materials collected in the city of Luís Correia-Piauí for the present research are: the Polyethylene Terephthalate - PET polymer and the ceramic material comes from the recycling of shells of the bivalve mollusc *Anomalocardia brasiliiana* (Gmelin, 1971), resulting from the disposal of Malacoculture, in this way, we obtained the formulation of a composite with future purposes of a possible application in the area of ecological materials to be used in civil construction, or similar sustainable areas, at the same time this research will serve as a basis for studies and views on materials already that are discarded, thus ensuring the maintenance of a sustainable social cycle, capable of guiding the populations of cities to a new level of survival towards nature.

Keywords: Composite. Shellfish shell. Polymers.

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1 – Tipos de cadeia molecular.....	24
Figura 2 – Transesterificação do dimetil tereftalato (DMT) com etileno glicol (EG)	26
Figura 3 – <i>Anomalocardia brasiliana</i> (Gmelin, 1791)	30
Figura 4 – Esquema de classificação para os vários tipos de compósitos	31
Figura 5 – Ensaio de compressão para a) material dúctil e b) material frágil	33
Figura 6 – Diagrama Tensão X Deformação característico dos materiais dúcteis	33
Figura 7 – Diagrama Tensão X Deformação característico dos materiais frágeis	34
Figura 8 – Máquina Universal de Ensaio.....	35
Figura 9 – Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por energia dispersiva de bancada	37
Figura 10 – Preparo das garrafas PET's.....	39
Figura 11 – Triturador Forrageiro CID 125 L 2,0 CV – Bivolt.....	40
Figura 12 – Trituração das conchas feita na associação.....	40
Figura 13 – Peneiração do pó das conchas	41
Figura 14 – Preparação do molde.....	42
Figura 15 – Molde pronto para receber a mistura.....	42
Figura 16 – Matriz (fase contínua) + Reforço (fase dispersa)	43
Figura 17 – Método Sanduíche.....	43
Figura 18 – Método de Enxerto.....	44
Figura 19 – Pasta de pó com óleo de fritura (reforço).....	45
Figura 20 – Medidas utilizadas.....	45
Figura 21 – Preenchimento do molde.....	46
Figura 22 – Aquecimento do pó das conchas.....	47
Figura 23 – Amostras de pó aquecido (4h, 8h e 12h)	47
Figura 24 – Máquina Universal de Ensaio fazendo a compressão de um corpo de prova.....	51
Figura 25 – Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por energia dispersiva de bancada PANalytical modelo Epsilon 3 XL	53

Figura 26 – Polietileno Tereftalato (PET) sendo fundido.....	54
Figura 27 – Desmoldagem do produto.....	54
Figura 28 – Compósitos A1(primeira ordem) e A1(segunda ordem)	55
Figura 29 – Quebra do compósito A1 (primeira ordem)	55
Figura 30 – Compósitos B1(primeira ordem) e B1(segunda ordem)	56
Figura 31 – Quebra do compósito B1 (segunda ordem)	56
Figura 32 – Compósitos B2 (primeira ordem) e B2 (segunda ordem)	57
Figura 33 – Quebra compósito B2 (segunda ordem)	57
Figura 34 – Compósitos B3 (primeira ordem) e B3 (segunda ordem)	58
Figura 35 – Quebra do compósito B3 (primeira ordem)	58
Figura 36 – Compósito C1 (primeira ordem) e C1(segunda ordem)	59
Figura 37 – Quebra do compósito C1 (segunda ordem)	60
Figura 38 – Compósitos C2 (primeira ordem) e C2 (segunda ordem)	60
Figura 39 – Quebra compósito C2 (segunda ordem)	61
Figura 40 – Compósitos C3 (primeira ordem) e C3 (segunda ordem)	61
Figura 41 – Quebra do compósito C3 (primeira ordem)	62
Figura 42 – Compósitos C4 (primeira ordem) e C4 (segunda ordem)	62
Figura 43 – Quebra do compósito C4 (segunda ordem)	63
Figura 44 – Compósitos C5 (primeira ordem) e C5 (segunda ordem)	63
Figura 45 – Quebra do compósito C5 (segunda ordem)	64
Figura 46 – Compósitos C6 (primeira ordem) e C6 (segunda ordem)	64
Figura 47 – Quebra do compósito C6 (segunda ordem)	65
Figura 48 – Compósito C7.....	65
Figura 49 – Pó das conchas (FRX).....	75
Figura 50 – Compósito B2 (FRX)	76
Figura 51 – Compósito C1 (FRX)	76

LISTA DE GRÁFICOS, QUADROS E TABELAS

Tabela 1 – Produção dos compósitos A.....	46
Tabela 2 – Produção dos compósitos B.....	48
Tabela 3 – Produção dos compósitos C.....	49
Tabela 4 – Ensaio de compressão dos produtos A, B e C.....	50
Tabela 5 – Materiais analisados na FRX.....	52
Tabela 6 – Eventos do ensaio de compressão do compósito A.....	66
Tabela 7 – Eventos do ensaio de compressão dos compósitos B.....	68
Tabela 8 – Eventos do ensaio de compressão dos compósitos C.....	71
Tabela 9 – Dados gerais da FRX (Pó das conchas, B2 e C1)	77
Gráfico 1 – Gráfico geral do Ensaio de Compressão para o compósito A2.....	66
Gráfico 2 – Gráfico com zoom dos pontos em cada evento para o compósito A2.....	67
Gráfico 3 – Gráfico geral para os compósitos B.....	69
Gráfico 4 – Gráfico com zoom dos pontos em cada evento para os compósitos B.....	69
Gráfico 5 – Gráfico geral do Ensaio de Compressão para os compósitos C.....	73
Gráfico 6 – Gráfico dos pontos em cada evento para os compósitos C.....	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMFLC	Associação de Marisqueiras e Filetadeiras de Luís Correia-Pí
CODEVASF do Parnaíba	Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba
COVID-19	(Co)rona (vi)rus (d)isease-2019
CP	Corpo de prova
FRX	Fluorescência de raios X
MDF	Medium-density fiberboard
PET	Polietileno de tereftalato
SSP	Polimerização no estado sólido

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Compósitos A
B	Compósitos B
C	Compósitos C
Ca	Cálcio
$CaCO_3$	Carbonato de cálcio
CaO	Óxido de cálcio
Cl	Cloro
cm	Centímetro
CO_2	Dióxido de carbono
Cu	Cobre
CuO	Óxido de cobre
F	Força
Fe	Ferro
Fe_2O_3	Óxido de ferro (III)
h	Horas
k/N	Quilonewton
L	Litro
mm	Milímetro
mL	Mililitro
Mpa	Megapascal
N	Newton
S	Deformação
Sb	Antimônio
Sb_2O_3	Trióxido de antimônio
Sr	Estrôncio
SrO	Óxido de estrôncio
T	Tensão de compressão
+	Adição
°C	Graus Celsius

>	Maior que
~	Aproximadamente
%	Porcentagem
x	Versus

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
2 OBJETIVOS.....	20
1 OBJETIVO GERAL.....	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	21
3.1 POLÍMEROS.....	23
3.2 CERÂMICAS.....	28
3.3 COMPÓSITOS.....	31
3.4 TESTES FÍSICOS E QUÍMICOS.....	32
4 METODOLOGIA.....	38
4.1 COLETA DO MATERIAL.....	38
4.2 PREPARAÇÃO DO MATERIAL DE PARTIDA.....	38
4.2.1 Garrafas PET's.....	38
4.2.2 Preparo das conchas.....	39
4.2.3 Preparação do molde.....	41
4.3 MÉTODOS DE PREPARO PARA O COMPÓSITO.....	42
4.3.1 Compósitos A (pó em pasta com óleo de fritura adicionado à matriz).....	44
4.3.2 Compósitos B (feito com o pó da concha aquecido por um intervalo de tempo específico).....	46
4.3.3 Compósitos C (Feitos com variação de quantidade de reforço na matriz).....	48
4.4 EXPLORAÇÃO ARTESANAL E CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA.....	49
4.4.1 Exploração artesanal dos produtos.....	49
4.4.2 Ensaio de Compressão.....	50
4.4.3 Espectrometria de Fluorescência de Raios-X (FRX).....	52
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	54
5.1 TESTES PRELIMINARES (Exploração Artesanal).....	54
5.2 ENSAIO DE COMPRESSÃO.....	66
5.2.1 Compósitos A.....	66
5.2.2 Compósitos B.....	68
5.2.3 Compósitos C.....	71
5.3 ESPECTROMETRIA DE FLUORESCENCIA DE RAIOS-X (FRX).....	75
5.3.1 Pó das conchas (puro).....	75
5.3.2 Compósito B2.....	76
5.3.3- Compósito C1.....	76
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	79
REFERÊNCIAS.....	81

1 INTRODUÇÃO

A humanidade ao longo dos séculos passou por diversos processos evolutivos, genéticos, psicológicos e sociais. Em parte devido as suas facetas, a humanidade desenvolveu-se pausadamente agregando valores que a direcionaram ao que é atualmente, e deve-se muito as contribuições de várias gerações, pois a partir do desenvolvimento do pensamento lógico, o homem foi capaz de desenvolver seus primeiros meios de sobrevivência que datam desde a produção de artefatos simples para uso no dia a dia.

Segundo Navarro (2006):

para cada nova mudança de comportamento correspondiam o domínio e o uso de uma nova matéria-prima e aqueles mais eficientes nesse aspecto preponderavam sobre os outros, principalmente, porque, desde sempre, as matérias-primas novas se destinavam em primeiro lugar para fins bélicos e só depois assumiam um aspecto doméstico ou caseiro. Assim como hoje, preponderava quem detinha o conhecimento e reservas do que se configurava como estratégico, e, assim como os alimentos, os materiais sempre acompanharam o Homem ao longo de sua história evolutiva: quanto mais avançada a civilização, mais estratégicos os materiais à sua disposição e mais elaborados e eficientes os artefatos e equipamentos produzidos (NAVARRO, 2006. p.2).

Diante disso os materiais estão diretamente ligados a evolução humana desde a antiguidade e atualmente aos componentes extremamente sofisticados, que levam ideias a maquinários capazes de produzir em grande escala, uma variedade de produtos para uso diversificados com aplicação em vários ramos.

As revoluções sociológicas e industriais atreladas durante a formação e instalação do ser humano, contribuíram para o desenvolvimento dos pilares sociais e dos sistemas de produção e manutenção de grandes metrópoles, dessa forma a sociedade consome produtos em grandes quantidades e os descarta facilmente alimentando um ciclo desenfreado.

O homem no princípio utilizava recursos naturais para desenvolver seus utensílios e bens de uso, os Hominídeos utilizavam argila, pedra e madeira para produzir suas primeiras ferramentas, visando a melhora e a eficiência do seu dever diário, assim como a proteção de seu território. Partindo disso, cada vez mais ao se desenvolver psicologicamente, o homem a partir do senso comum passa a ter cada vez mais curiosidade aos fenômenos que ocorriam, assim a natureza tornou-se um campo de estudo e aplicação, seguindo a largos passos essa triagem de pensamentos

o mesmo ser humano ao evoluir para o senso crítico e uni-lo ao método científico tornou-se capaz de avaliar e formular hipóteses, buscando de forma sistemática desenvolver recursos que o ajudassem a se estabelecer nesse vasto mundo, dessa forma chegamos as grandes estruturas e divisões da sociedade embasadas no princípio base de oferta, demanda e procura.

O desenvolvimento tecnológico provindo da agregação de valores temporais ao longo dos últimos séculos, fomenta a atual sociedade que tornou-se consumista, onde a cada dia são criados novos produtos e os já existentes tornam-se ultrapassados, em conjunto a mídia trabalha a ideia da população, o marketing de produtos mais modernos e atualizados faz com que milhões de pessoas tornem-se apáticas em relação à atual situação do mundo, em contraponto a cada dia surgem novas pesquisas e métodos que visam a reciclagem de materiais de descarte assim como o marketing pautado na política dos R's, e a "abordagem hierárquica dos 3R's (Reduzir, Reutilizar e Reciclar) parece ser a mais lógica e promissora estratégia de gerenciamento de resíduos e tem sido adotada por vários países, como o Canadá e países da Europa" (BROWN, 1993).

O ciclo consumista a cada dia contribui mais para a produção de resíduos e o consumo de recursos, fazendo com que sejam gerados milhões e milhões de toneladas de materiais despejados das mais diversas formas pelo mundo, a maioria ilegalmente, causando problemas, agredindo a fauna e a flora, ocasionando um desequilíbrio nos ecossistemas e para o planeta como um todo. Essa situação gerou ilhas de lixo e diversos problemas ambientais sejam eles: na terra, água ou ar; o mau descarte de materiais contribui para a contaminação: do solo, dos vegetais e leguminosas, dos aquíferos, dos rios, lagos e mares, do ar, dos seres irracionais e do próprio ser humano. Portanto a necessidade de se reinventar fez-se evidente ao ponto em que as ciências a cada dia buscam formas e técnicas de reuso para materiais, dentre elas destaca-se a ciência e engenharia de matérias funcionando como recurso norteador para as indústrias, de acordo com essa é possível classificar os materiais em função de suas propriedades específicas em classes abrangentes como: Metálicos, Cerâmicos, Poliméricos, Compósitos e Materiais Avançados

Callister (2016), afirma:

Os materiais sólidos têm sido convenientemente agrupados em três classes básicas: metais, cerâmicos e polímeros, esse esquema está baseado principalmente na composição química e na estrutura atômica, e a maioria dos materiais se encaixa em um ou outro agrupamento distinto, embora

existam alguns materiais intermediários. Adicionalmente existem três outros grupos de materiais importantes na engenharia - compósitos, semicondutores e biomateriais (CALLISTER, 2016. p.4-6).

Todo esse impasse entre a evolução industrial e a preservação do meio ambiente, fomentada cada vez mais por uma sociedade pressionada e preocupada com o futuro do planeta, norteou o homem por meio da ciência e engenharia de materiais a produção de Compósitos.

Os compósitos surgem como um material novo, formulado pela mistura de duas ou mais classes de materiais diferentes, onde o novo material deve apresentar propriedades específicas melhores do que cada um dos seus materiais de base isolados, dessa forma tornou-se uma tentativa de amenizar o ciclo de produção e descarte de resíduos pelo mundo.

Diante do exposto, surgiu a oportunidade do estudo de novos materiais com aplicação para a indústria, trazendo um olhar abrangente sobre materiais descartados no cotidiano, servindo de base como meio de propagação de recursos para a reciclagem, garantindo assim futuras fontes de pesquisa e aplicação do mesmo. O trabalho em questão buscou obter um compósito através da agregação de dois tipos de materiais, o polímero do tipo Polietileno de Tereftalato – PET, que forma as garrafas de refrigerante e o material cerâmico obtido a partir das Conchas de um molusco bivalve da espécie (*Anomalocardia brasiliiana*), resultante do descarte das práticas da Malacocultura na cidade de Luís Correia-PÍ.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Produzir um compósito utilizando dois tipos de materiais, o polímero do tipo Polietileno de Tereftalato – PET, que forma as garrafas de refrigerante e o material cerâmico obtido a partir das Conchas de um molusco bivalve da espécie (*Anomalocardia brasiliiana*), resultante do descarte das práticas da Malacocultura na cidade de Luís Correia-PÍ, proporcionando um projeto norteador para pesquisas diversas no mesmo âmbito sustentável.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estabelecer parâmetros físicos (granulometria) e químicos (solventes, quantidade dos precursores/proporção da mistura, temperatura) no laboratório para obter uma mistura mais “homogênea” possível vislumbrando o produto final;
- Caracterizar as propriedades químicas e físicas do polímero (PET) e da cerâmica (concha de marisco) separadamente e comparar com a caracterização do compósito obtido;
- Realizar ensaios mecânicos e caracterização química para o compósito com fins de aplicabilidade industrial;
- Tornar público a viabilidade de um compósito usando material de descarte (polímeros e cerâmicos) por meio de uma pesquisa qualitativa e contribuir na propagação de um ciclo sustentável entre o descarte, o consumo e a produção dentro da sociedade.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

O homem evoluiu ao longo dos séculos em vários campos, tornando-se capaz de modificar a si e ao meio que habita, devido a isso o mesmo tornou-se um agente modificador embasado inicialmente pelo senso comum onde a observação dos fenômenos o levava a criar teorias e respostas. A evolução da sociedade e do pensamento crítico impulsionou o homem a formular métodos organizados visando a sistematização de meios para resolver problemas, assim surgiu o método científico.

A civilização humana ao longo do tempo em crescimento denota o uso de materiais provindos do meio que habitam, onde nos primórdios os homens utilizavam-se de materiais já prontos na natureza, dentre os quais destacam-se: as pedras, troncos, galhos, folhas de árvores, chifres e presas de animais, assim eram capazes de garantir recursos para sobreviver

De acordo com Olson (2001) a relação estreita entre Homem e materiais se configurou tão significativa e importante, como ainda se configura, que eras diferentes da humanidade receberam o nome do material mais importante em cada uma delas desde a Idade da Pedra, à Era dos Metais, passando pelas eras batizadas com o nome da civilização dominante num dado período (períodos helênicos, romanos, bizantinos e islâmicos), pela Era Moderna e chegando-se hoje ao que se tem convencionalizado chamar de Era do Silício.

O desenvolvimento da sociedade em conjunto com o crescimento industrial e a aquisição de novas tecnologias em vários setores, trouxe aos homens inúmeros benefícios como afirma Navarro (2006) em um aspecto mais amplo, pode-se considerar o início da Revolução Industrial ainda no Século XIII, quando da introdução das primeiras máquinas hidráulicas na indústria têxtil. Deste ponto em diante, a exploração industrial do carvão mineral e do minério de ferro, no fabrico do aço, sabão, açúcar, cerveja, pólvora, objetos de cobre, estanho, latão, papel favoreceu a introdução de novas indústrias e a aplicação de novos métodos a velhas indústrias, além da descoberta e aplicação de novas técnicas.

O período entre os Séculos XVIII-XIX, considerado como sendo aquele em que realmente aconteceu uma “revolução”, surgiram algumas novidades na produção industrial, como a metalurgia no coque, a utilização da máquina a vapor, na mineração e na laminação, a invenção de máquinas nos setores de fiação e tecelagem, algumas

já a vapor, o emprego de novos métodos e materiais na cerâmica, na engenharia civil e nos transportes, sobretudo canais e ferrovias (NAVARRO, 2006).

A partir desse ponto a sociedade estava preparada para desenvolver-se mais através de novas aplicações de técnicas para melhoria dos materiais e recursos disponíveis. Na segunda metade do século XIX, surgiram os novos materiais denominados plásticos e tornaram-se populares, pois a diversidade de produtos que podem ser produzidos com essa matéria é infinita.

De acordo com Miranda; Mello; Zogaib; (2018):

O plástico substituiu com vantagens uma série de matérias-primas utilizadas pelo homem há milhares de anos, como vidro, madeira, algodão, celulose e metais. Além disso, ao substituir matérias-primas de origem animal, como couro, lã e marfim, possibilitou o acesso a bens de consumo pela população de baixa renda. Depois da descoberta do poliestireno, polietileno, PVC, poliamidas (Nylon) e poliéster, o conhecimento dos mecanismos de polimerização contribuiu, nos últimos anos, para o nascimento de outros materiais plásticos com características físico-mecânicas e de alta resistência ao calor, os chamados tecno polímeros ou polímeros para engenharia (MIRANDA; MELLO; ZOGAIB; 2018, p.7).

Os plásticos são formados pela polimerização de um monômero de origem, assim a infinidade de monômeros obtidos através do craqueamento da nafta, propicia uma infinidade de polímeros garantindo assim uma variedade de materiais que aliada as várias técnicas de produção conduziram a sociedade para a era dos plásticos.

A variedade de produtos, a produção em grande escala associados ao descarte fácil de materiais velhos por novos, acarretou danos ao meio ambiente, pois, os plásticos são formadores de um grande percentual do lixo que a sociedade produz e representam um fator de risco para a fauna e a flora ocasionando um desequilíbrio nos ecossistemas. O descarte inadequado do plástico contribui para desastres que vão desde alagamentos a poluição de áreas aquíferas e terrenas, nas grandes cidades o plástico na rua em conjunto com os demais lixos se acumula entupindo bueiros, quando a água da chuva precipita acaba empoçando e alagando as vias. O mesmo lixo ao passar pelo bueiro é arrastado em direção aos rios, mares ocasionando a morte de diversos animais marinhos, deformação uma vez que, muitas vezes ficam com peças de descarte presas a seus corpos. Portanto torna-se evidente que apesar dos benefícios obtidos com sua exploração, a má administração do seu descarte traz malefícios a sociedade.

Como afirmam Piatti; Rodrigues (2005):

Os plásticos não trazem apenas benefícios à humanidade. Em função de seu uso tão difundido, grande parte do lixo que produzimos diariamente é composta deste material. Eles se decompõem muito lentamente (alguns tipos necessitam de séculos para se degradar) e vêm acarretando sérios problemas ambientais. Têm sido necessários aterros sanitários cada vez maiores, e, portanto, mais distantes dos centros urbanos, para acolher o impressionante volume de lixo que produzimos diariamente, embora, nos últimos anos, várias iniciativas tanto técnicas quanto educativas (coleta seletiva, reciclagem etc.) têm sido propostas visando minimizar o problema (PIATTI; RODRIGUES, 2005, p.11).

A necessidade de novos materiais e as políticas de sustentabilidade cada vez mais pressionam as indústrias para que passem a reduzir os danos ao meio, como A agenda 2030 que traçou os 17 ODS (objetivos para o desenvolvimento sustentável), dos quais o de número 14 aborda especificamente a vida na água, a chamada década do oceano, devido à grande importância da água para a humanidade (UNCT, 2020; UNESCO, 2020). Dessa forma vários campos científicos buscam unir seus conhecimentos em prol de um futuro com desenvolvimento para o homem, mas com sustentabilidade para o planeta.

3.1 POLÍMEROS

Polímeros são macromoléculas formados por um agrupamento de monômeros com ligações covalentes predominantes, através de reações de polimerização os polímeros podem ser divididos em naturais e sintéticos: Callister (2016, p.499) ressalta que “os polímeros que ocorrem naturalmente, aqueles que são derivados de plantas e animais, têm sido usado por muitos séculos; esses materiais incluem a madeira, a borracha, o algodão, a lã, o couro e a seda”, assim os polímeros tiveram um papel decisivo na história.

Os polímeros sintéticos são provenientes do refinamento do petróleo, representaram um estopim na evolução dos materiais, pois, por suas versatilidades puderam ser empregados das mais variadas formas, fazendo com que esse mercado se apresentasse promissor, além disso, o baixo custo de produção dos mesmos facilitou a multiplicação desse tipo de material, como foi afirmado por Callister (2016, p.499) “de fato desde o fim da Segunda Guerra Mundial, o campo dos materiais foi virtualmente revolucionado pelo advento dos polímeros sintéticos”. Há ainda atualmente os chamados polímeros verdes, estes são provenientes de matérias primas renováveis, como a cana de açúcar e o milho, os chamados bioplásticos.

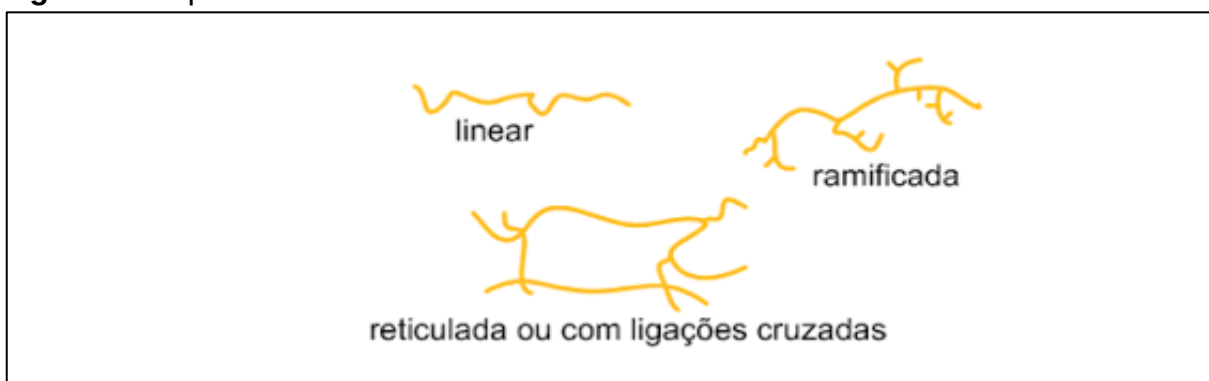
Callister (2002) diz que dentro de cada molécula os átomos estão ligados entre si através de ligações interatômicas covalentes. Sabe-se que a maioria dos polímeros se origina de moléculas orgânicas, conhecidas como hidrocarbonetos; os hidrocarbonetos são moléculas formadas apenas por átomos de carbono e hidrogênio que apresentam ligações intramoleculares covalentes. Os polímeros são macromoléculas, que podem ser encontradas como cadeias longas e flexíveis, cujo esqueleto principal é formado por um segmento de carbonos e as cadeias dos polímeros são formadas através da polimerização de um “mero”, resultando em um monômero.

Com relação às características tecnológicas os polímeros estão divididos em termoplásticos e termofixos. Os termoplásticos são resinas com capacidade de amolecer e fluir sob influência da temperatura e pressão, voltando a se solidificar após a retirada deste processo. Este processo pode ser realizado inúmeras vezes, sem que ocorra variação significativa nas suas propriedades básicas (CANEVAROLO, 2004; MANRICH, 2005).

O termofixos ou termorrígidos são plásticos que com aquecimento amolecem uma vez, após sofrerem o processo de cura que é uma transformação irreversível torna-se rígido, não podendo mais fundir pôr aquecimento. Um novo aquecimento leva a degradação da sua estrutura química (CANEVAROLO, 2004; MANRICH, 2005).

O arranjo dos átomos da cadeia molecular pode levar a mesma a ser caracterizada como linear, ramificada ou tridimensional (FIGURA 1). O tipo de arranjo da cadeia controla as propriedades do material polimérico.

Figura 1 – Tipos de cadeia molecular.



Fonte: Akcelrud (2007).

Embora esses materiais não apresentem arranjos atômicos semelhantes ao cristalino, alguns podem exibir regiões com grande ordenação atômica, cristalina, envolvida por regiões de alta desordem, não-cristalina (BOEIRA; BECK; 2007).

As propriedades físicas e químicas de um polímero estão relacionadas ao seu tipo (homopolímero ou copolímero), peso molecular, forma molecular, estrutura molecular, configurações moleculares, cristalinidade do polímero, onde cada uma dessas propriedades citadas afeta a interação de um polímero a outro(s) ou a outro(s) materiais.

Os materiais poliméricos são extremamente sensíveis à taxa de deformação devido ao seu caráter viscoelástico. Solicitações mecânicas onde ocorrem elevadas taxas de deformação são observadas sob impacto. Nesta situação, o material é submetido a condições extremas de tensões num tempo muito curto. A resposta do material a este tipo de situação mostra o seu comportamento mecânico sob impacto (CANEVAROLO, 2004). O comportamento mecânico dos polímeros é especificado através da resistência que o material demonstra ao impacto, assim a habilidade do material de suportar choques acidentais pode decidir sobre o sucesso ou fracasso de sua aplicação.

As propriedades mecânicas dos polímeros são estabelecidas através dos mesmos parâmetros utilizados para os metais, que são: o módulo de elasticidade, do limite de escoamento e do limite de resistência a tração. O módulo de elasticidade é chamado módulo de tração e a ductilidade que é medida em termos de alongamento é verificada em termos de alongamento percentual. O limite de escoamento é o valor máximo na curva, apresentado logo após o término da região elástica linear. O limite de resistência à tração corresponde ao nível de tensão onde ocorre a fratura (CALLISTER, 2006).

As propriedades térmicas são influenciadas pelas temperaturas de transições do polímero, que é onde ocorrem às modificações termodinâmicas. Uma destas temperaturas é a chamada temperatura de fusão ou *melt temperature* – T_m , onde ocorre uma mudança da fase cristalina para amorfa, a fase cristalina pode ser explicada como um arranjo ordenado de átomos ou moléculas, apresentando repetição regular no espaço, já a fase amorfa é formada por arranjos atômicos aleatórios sem simetria ou ordenação de longo alcance e a temperatura de transição vítrea T_g , onde o polímero não tem energia suficiente para apresentar mobilidade.

O interesse por estas condições está associado à temperatura de processamento de cada polímero recomendada às diversas aplicações (CANEVAROLO, 2004; MANRICH, 2005). Outras características térmicas dos polímeros classificadas por Oliveira (2006), são a *Heat Deflection Temperature* – HDT,

temperatura de deflexão ao calor e a temperatura de decomposição – Td. Na temperatura de HDT o plástico se torna flexível não permitindo desempenhar uma função estrutural. Na temperatura Td em seu estado fundido a energia aumenta o movimento das cadeias que levam ao rompimento das ligações covalentes e está quebra afeta negativamente as propriedades do polímero.

A temperatura de fusão para os polímeros é determinada pelo método ASTM-D2117, a de amolecimento Vicat pela ASTM-D1525, a de deflexão ao calor HDT pela ASTM-D648, a de fragilização pela ASTM-D746 e a temperatura de transição vítrea por vários métodos como, por exemplo, DSC e DTA (CANEVAROLO, 2004; MANRICH, 2005).

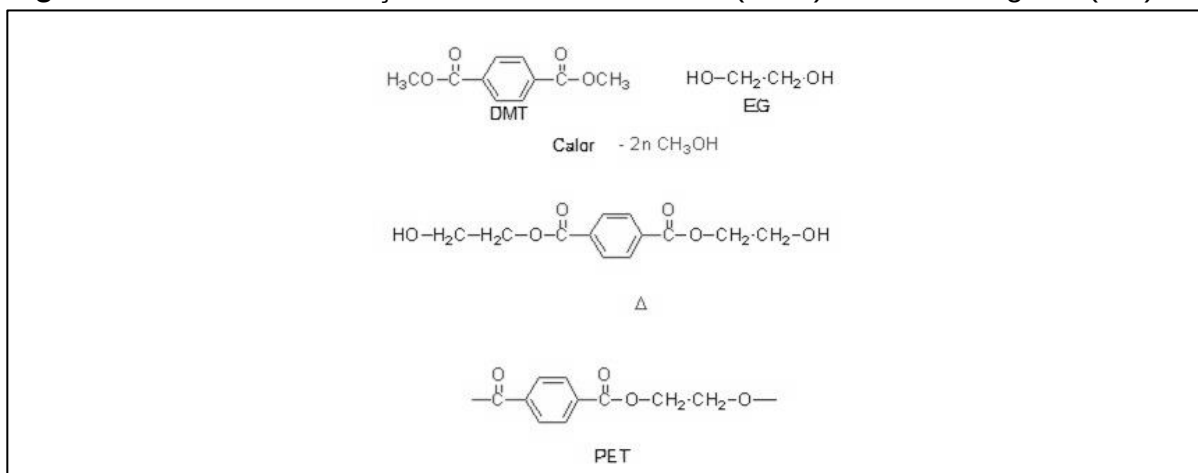
Aumentando-se a cristalinidade dos polímeros, diminui-se a resistência ao impacto e aumenta-se a possibilidade de ocorrência de fratura frágil. Uma redução na massa molar média do plástico também proporciona redução na resistência ao impacto (CANEVAROLO, 2004).

• POLIETILENO DE TEREFTALATO – (PET)

Em 1946, Whinfield e Dickson descobriram o poli (tereftalato de etileno – PET), o qual apresenta alta temperatura de fusão (~265 °C) e alta estabilidade hidrolítica devido à presença de anéis aromáticos na cadeia principal.

A produção industrial do PET pode ser realizada em duas ou três etapas, dependendo de sua aplicação: (I) pré-polimerização, (II) policondensação e (III) polimerização no estado sólido.

Figura 2 – Transesterificação do dimetil tereftalato (DMT) com etileno glicol (EG).



Fonte: Roda, D. T., (2015).

A etapa de Pré-polimerização consiste na fabricação do oligômero tereftalato de bis(2-hidroxietileno), BHET. onde, o poliéster pode ser fabricado por duas rotas distintas: a) esterificação direta e b) transesterificação. A esterificação direta é obtida pela reação do ácido tereftálico (TPA) com etileno glicol (EG). Uma das principais diferenças da transesterificação (FIGURA 2) é a substituição do monômero ácido tereftálico pelo éster tereftalato de dimetileno (DMT).

A etapa de Polimerização é onde ocorre a reação de policondensação ou polimerização no estado sólido (SSP) que é feita a uma temperatura entre a temperatura de transição vítrea e a temperatura de fusão. Ela é utilizada para a produção de PET com alta massa molar ($>30.000 \text{ g.mol}^{-1}$). O PET produzido por SSP, é utilizado em artefatos processados por injeção-sopro, como as embalagens para bebidas carbonatadas. A SSP é realizada a $220\text{-}230^\circ\text{C}$ por um período entre 10 e 30 horas. O aspecto mais importante da SSP, é aumentar o grau de cristalinidade do material em um intervalo de tempo curto sob alto vácuo ou com um sistema de atmosfera inerte sob agitação, evitando assim o processo de sinterização, no qual as partículas começam a aderir umas às outras (PÓ et al, 1996 p.365; ZHI-LIAN et al, p.473, 1995).

O poli (tereftalato de etileno- PET) tornou-se um dos materiais poliméricos mais produzidos no mundo ao longo dos anos, por ser um termoplástico, sua aplicação é ampla, dentre elas: fibras têxteis, embalagens processadas por injeção-sopro, filmes e polímeros de engenharia. De acordo com MacDonald (2002, p.293) “O sucesso deste material deve-se à sua excelente relação entre as propriedades mecânicas, térmicas e o custo de produção”.

De Paoli (2008), afirma:

Os mecanismos e a cinética de degradação do PET são fortemente afetados pela presença e pelo tipo de comonômero. A degradação também é importante para os processos de reciclagem, pois ela afeta as propriedades finais dos produtos reciclados. Por exemplo, na reciclagem mecânica, é desejável manter as propriedades intrínsecas do material original. A degradação pode ser iniciada por cisalhamento, calor, oxigênio, resíduos de catalisador, etc., conduzindo a degradação mecânica, térmica, química, etc., ou ainda a uma combinação destas (DE PAOLI, 2008. p.2,31-33 e 162).

Mancini et al. (2004) estudaram a variação da viscosidade intrínseca em embalagens PET para bebidas carbonatadas em função da marca e volume da embalagem. Eles observaram que a viscosidade intrínseca (VI) variou de 0,79 a 0,70

dL.g⁻¹, ou seja, cerca de 10%. Como o valor de VI de PET aceito para o processo de injeção-sopro é em torno de 0,73 dL.g⁻¹, os resultados mostram que todas as amostras podem enquadrar-se numa faixa ainda aceitável para fabricação de embalagens recicladas. Alguns trabalhos sobre reciclagem mecânica por extrusão convencional mostraram que existe um limite de ciclos de reprocessamento onde as propriedades do PET são mantidas (SPINACÉ, 2000; SPINACÉ et al, 2001).

Depois de três ciclos de processamento ocorre uma variação drástica nas propriedades mecânicas tornando-o duro e quebradiço, impossibilitando sua utilização para as mesmas aplicações do polímero virgem.

3.2 CERÂMICAS

A maioria das cerâmicas consiste em compósitos que são formados entre elementos metálicos e elementos não-metálicos, para os quais as ligações interatômicas ou são totalmente iônicas ou são predominantemente iônicas com alguma natureza covalente (CALLISTER, 2006).

De um modo geral, as principais características dos materiais cerâmicos são os seguintes: são de natureza cristalina; contudo, como o número de elétrons livres é pequeno, sua condutibilidade elétrica é nula ou muito pequena, seu ponto de fusão é elevado, o que os torna refratários, ou seja, apresentam estabilidade a temperaturas elevadas, possuem grande resistência ao ataque químico, são muito duros, os mais duros entre os materiais industriais (BOEIRA., BECK, 2007).

Os materiais cerâmicos têm a sua aplicabilidade limitada em certos aspectos devido as suas propriedades mecânicas, que em muitos aspectos são inferiores aquelas apresentadas pelos metais. A principal desvantagem é uma disposição à fratura catastrófica de uma maneira frágil, com muita pouca absorção de energia (CALLISTER,2006).

De acordo com Callister (2006) algumas peças cerâmicas são conformadas por compactação do pó; são possíveis técnicas de prensagem uniaxial, isostática e a quente. Além disso, com frequência camadas finas de substratos cerâmicos são fabricadas através de um processo de fundição em fita.

- **Mollusca Bivalvia: *Anomalocardia brasiliiana* (Gmelin, 1791)**

O Filo Mollusca, com mais de 120.000 espécies viventes, só perde para o grupo dos insetos quanto à diversidade de animais. Os indivíduos apresentam corpo mole, não segmentado, protegido ou não por uma concha calcárea, sendo o filo geralmente dividido em seis classes; Gastropoda, Bivalvia, Cephalopoda, Scaphopoda, Polyplacophora e Aplacophora. A Classe Bivalvia apresenta cerca de 20.000 espécies e pode ser conhecida pelos nomes de Lamellibranchiata ou Pelecypoda (FERREIRA & MAGALHÃES, 1995).

De acordo com o Diagnóstico para Avaliação e Ações Prioritárias da Biodiversidade dos Bentos Marinhos do Brasil de 1999, o filo Mollusca foi o mais bem inventariado dos invertebrados, seja pelo interesse comercial, pela beleza de suas conchas ou pelo interesse alimentício. Seus integrantes possuem o corpo mole constituindo tipicamente de uma cabeça anterior, um pé ventral e uma massa visceral dorsal. O corpo carnoso é coberto por um manto fino, comumente abrigado em uma concha calcária externa. Possuem larga distribuição no tempo e no espaço, tendo seu registro contínuo desde o período Cambriano, sendo a maioria marinhos (STORER et al., 2003). A diversidade ainda é afirmada por Russell – Hunter (1983), os moluscos representam o segundo grupo de maior diversidade animal e, os bivalves marinhos, são os moluscos mais abundantes.

As conchas de moluscos (CM), as quais são ricas em Carbonato de Cálcio ($CaCO_3$) em torno de 52,72% (FULGÊNCIO et al., 2018). Quando calcinadas (CC) têm-se o Óxido de Cálcio (CaO), além da facilidade de obtenção de vários tamanhos de partículas específicos das conchas de moluscos por moagem. a torna viável como carga de enchimento para polímeros termoplásticos, com consequente adequação para diversas aplicações. A partir dessa perspectiva, combinar os resíduos da concha com polímeros reciclados, se torna uma pesquisa de interesse, devido ao baixo custo de produção e aos benefícios ambientais almejados (BEZERRA et al., 2011; FULGÊNCIO et al., 2018).

No Brasil, muitas espécies de bivalves presentes em áreas intermareais são comestíveis e têm sido amplamente coletadas em várias regiões do país. Muitas vezes esses moluscos garantem a segurança alimentar das populações litorâneas e geram renda pela venda de sua carne e de artesanatos elaborados com suas conchas (NISHIDA; NORDI; ALVEZ, 2004).

O molusco amplamente coletado pelas marisqueiras na região que se estende de Macapá-Luís Correia-Pí a Barra Grande-Pí, é o molusco bivalve *Anomalocardia*

brasiliانا (Gmelin, 1791) (FIGURA 3), pois o mesmo desempenha um papel importante na subsistência de diversas famílias além de compor o mercado pesqueiro, sendo amplamente consumido.

Figura 3 – *Anomalocardia brasiliانا* (Gmelin, 1791).



Fonte: Autoria própria (2022).

De acordo com Dias-Neto; Dornelles, (1996):

No Brasil, a pesca artesanal sofre de uma carência generalizada de informações biológicas, e especialmente, sócio-econômicas. Apesar de possuir elevada importância ecológica, social e ambiental, não existem pesquisas sobre o etnoconhecimento e o perfil socioeconômico das pessoas que coletam esse bivalve no litoral do Piauí, assim como o rendimento e composição química de sua carne, sendo essas informações importantes para o manejo e incremento da atividade de pesca deste bivalve na região. O conhecimento sobre os elementos bióticos e abióticos que compõem os diversos ecossistemas é fundamental para a correta utilização dos recursos vivos marinhos bem como, as ações antrópicas que os modificam. Somente dessa forma, será possível chegar ao manejo sustentável desses recursos (DIAS-NETO; DORNELLES, 1996, p.163).

A carência de informações específicas e a dificuldade de acesso e compreensão das mesmas, torna a malacocultura, um fator de risco para a espécie e também para o ambiente, pois o consumo exagerado e o mau descarte de resíduos (conchas) podem causar um desequilíbrio, afetando assim os próximos ciclos de desenvolvimento dos bivalves e acarretando vários riscos ao ambiente de outras espécies como por exemplo o assoreamento de lagos, rios ou ferir pessoas, quando as conchas são levadas pela maré alta.

3.3 COMPÓSITOS

A literatura define o compósito como sendo um material formado por dois ou mais materiais com características e aspectos diferentes, no entanto quando analisados macroscopicamente o mesmo é homogêneo, podendo possuir fibras longas ou curtas (GAY, 1991).

Para Callister Jr, (2002):

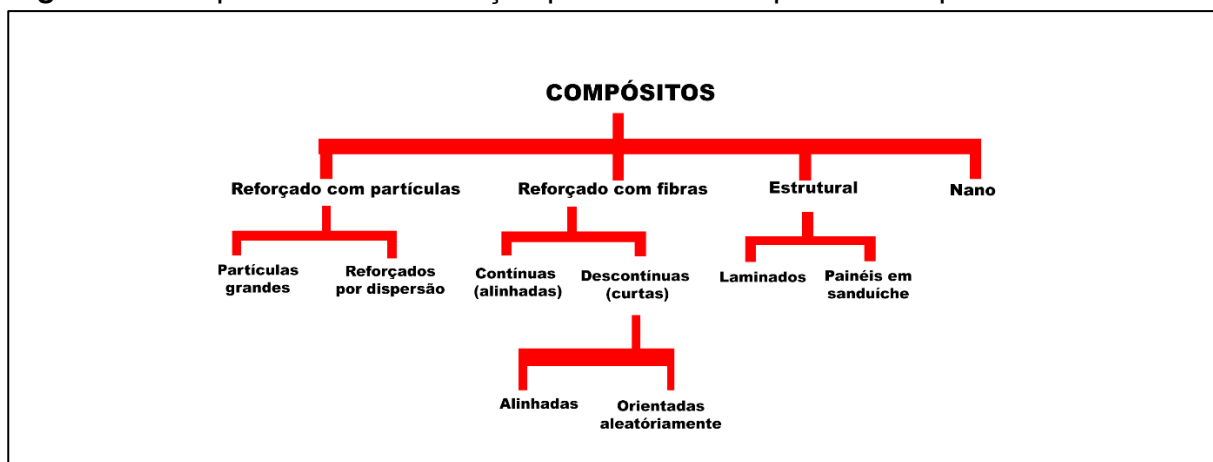
Compósito pode ser definido como “qualquer material multifásico que exibe uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases que constituem, de modo tal que é obtida uma melhor combinação de propriedades” (CALLISTER, 2002, p. 359.).

Os compósitos representam um caso de particular importância dentro do grupo das misturas poliméricas imiscíveis. Estes materiais são produzidos por meio da mistura física de duas fases distintas (uma fase dispersa que pode ser na forma de partículas, fibras ou mantas e uma fase contínua, denominada de matriz) (HULL, 1981; SHELDON, 1982; BODIG e JAYNE, 1993).

Callister (2016) classifica os materiais compósitos em três categorias principais: reforçados com partículas, reforçados com fibras e os compósitos estruturais.

Os compósitos com a classificação reforçado com partículas, possuem duas subclassificações: os compósitos com partículas grandes e os compósitos reforçados por dispersão (FIGURA 4), o compósito em estudo neste trabalho é reforçado por partículas grandes.

Figura 4 – Esquema de classificação para os vários tipos de compósitos.



Fonte: Autoria própria adaptada (Callister, 2016).

- **Matriz e Reforço**

As cargas também conhecidas como reforços, são materiais que podem ser adicionados as matrizes para melhorar algumas de suas propriedades. Na maioria das vezes, cargas são adicionadas aos polímeros para melhorar os limites de resistência à tração e à compressão, a resistência à abrasão, a tenacidade, as estabilidades dimensional e térmica, e outras propriedades.

Os materiais empregados como cargas particuladas incluem pó de madeira (serragem finamente moída), pó de sílica e areia, vidro, argila, talco, calcário, e mesmo alguns polímeros sintéticos. O tamanho das partículas varia desde 10 nm até dimensões macroscópicas (CALLISTER, 2002).

Tanto os polímeros, quanto os metais e as cerâmicas podem ser usados como matrizes em compósitos, de acordo com sua exigência específica. A matriz e a fase dispersa, formam uma unidade estrutural. A primeira protege a segunda contra danos externos, transfere e distribui as cargas aplicadas no material e, em alguns casos, confere propriedades como ductilidade, tenacidade ou isolamento elétrico. Uma boa adesão na interface entre a fase dispersa (fibras ou partículas) e a matriz é fundamental; para isso, a matriz deve ser capaz de desenvolver uma união mecânica e química com a fase dispersa. Os polímeros são, indubitavelmente, os mais utilizados como matriz em compósitos modernos (GIBSON, 1994).

A distinção entre as subclassificações está baseada no mecanismo do reforço ou aumento da resistência. O termo “grande” é usado para indicar que as interações partícula/matriz não podem ser tratadas no nível ou ponto de vista atômico ou molecular. Essas partículas de reforço tendem a restringir o movimento da fase matriz na vizinhança de cada partícula. Essencialmente, a matriz transfere parte da tensão aplicada às partículas as quais suportam uma fração da carga. O grau de reforço ou de melhoria do comportamento mecânico depende de uma ligação forte na interface matriz-partícula (CALLISTER, 2016). Neste projeto a fusão do polímero (matriz) torna-se aplicável ao material, porque ao aquecer será possível obter a degradação mecânica do material, isso até conseguir o estágio para injetar o pó cerâmico (reforço).

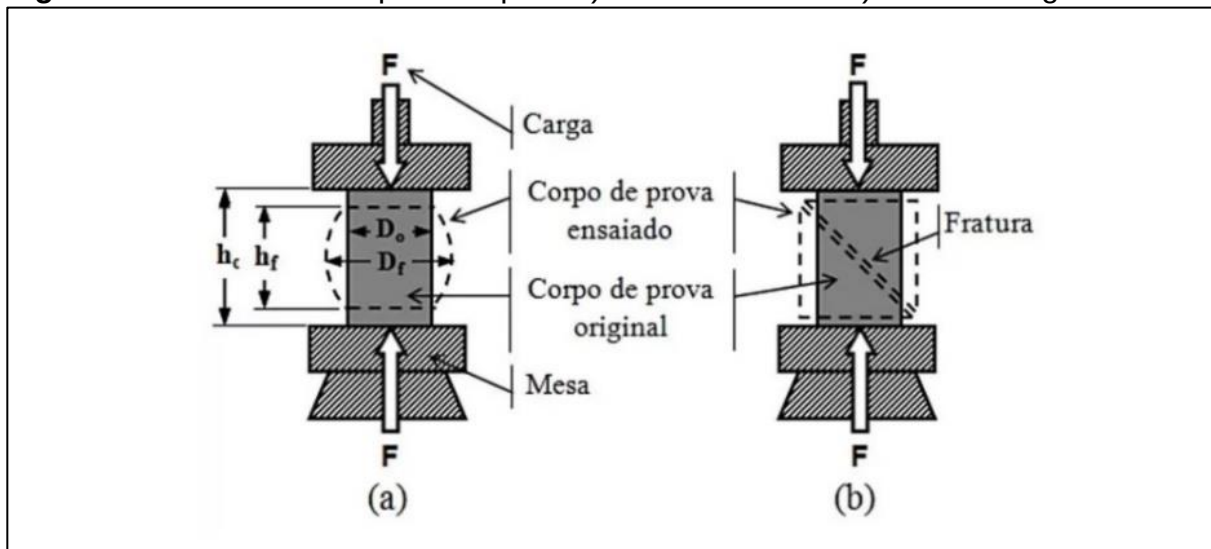
3.4 TESTES FÍSICOS E QUÍMICOS

- **Ensaio de Compressão**

O Ensaio de Compressão é um dos ensaios mecânicos que é considerado estático e destrutivo, o mesmo é conduzido pela norma técnica ASTM E9, através dele é possível avaliar a reação de um corpo de prova (CP) quando este é comprimido, este ensaio pode ser aplicado em vários tipos de materiais como madeira, concreto, metais, cerâmicas e compósitos (CHUA; WONG; YEONG, 2017).

O ensaio consiste na aplicação de uma carga compressiva uniaxial sobre um corpo de prova (FIGURA 5), a resposta fornecida por este tipo de ensaio é dada pela deformação linear obtida pela medida da distância entre as placas que comprimem o corpo de prova, em função da carga de compressão aplicada em cada instante (BIOPDI, 2018).

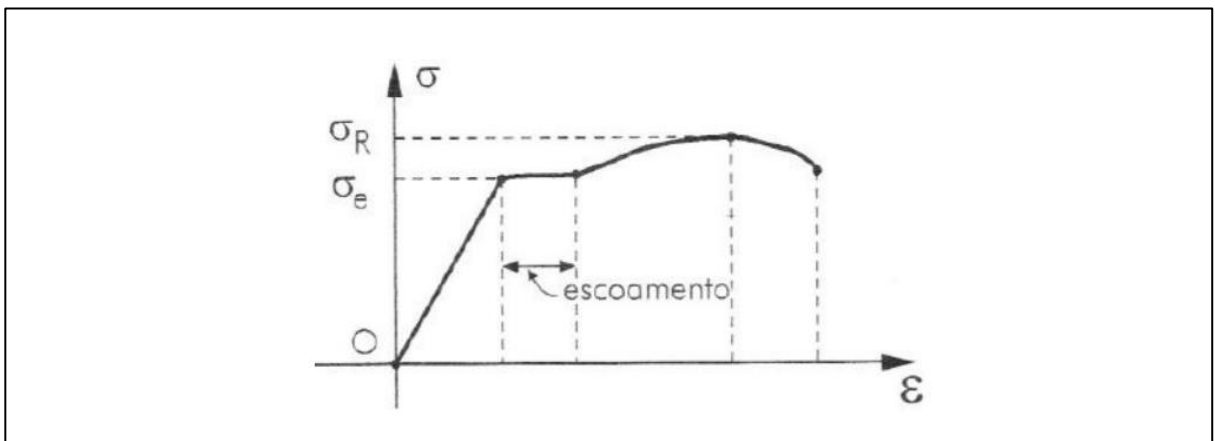
Figura 5 – Ensaio de compressão para a) material dúctil e b) material frágil



Fonte: Biopdi (2018).

Os materiais podem ser divididos em categorias distintas: materiais dúcteis e materiais frágeis (PINTO, 2002).

Figura 6 – Diagrama Tensão X Deformação característico dos materiais dúcteis.

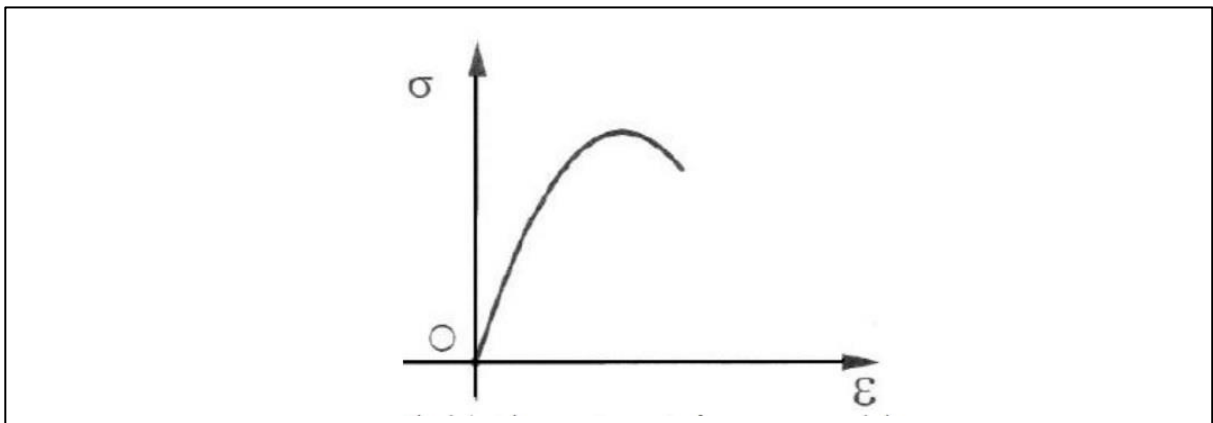


Fonte: Pinto (2002).

Os materiais dúcteis são aqueles que apresentam grandes deformações plásticas antes de romper-se e apresentam as mesmas características na tração e na compressão, fato observado através do diagrama do diagrama típico de materiais dúcteis (FIGURA 6).

Os materiais frágeis não admitem deformações plásticas e apresentam características diferentes na tração e compressão. O diagrama típico para materiais frágeis demonstra a Tensão X Deformação (FIGURA 7).

Figura 7 – Diagrama Tensão X Deformação característico dos materiais frágeis.



Fonte: (Pinto, 2002).

A ductilidade e a fragilidade são características que dependem exclusivamente do tipo de material, independente da tensão aplicada sobre o mesmo, porém os materiais dúcteis são elásticos até uma certa tensão, e a partir desta tensão começam a apresentar características de plásticos (PINTO, 2002).

A aplicabilidade do ensaio de compressão ocorre da melhor forma para materiais frágeis, onde o comportamento destes materiais é melhor observado, principalmente quanto ao limite de resistência à compressão e a dilatação transversal e longitudinal durante o ensaio (SHRIVASTAVA, 2018).

O ensaio de compressão pode ser executado na máquina universal de ensaios (FIGURA 8), com a adaptação de duas placas lisas - uma placa fixa e a outra placa móvel.

O ensaio de compressão consiste no corpo de prova sendo apoiado de maneira firme entre as placas ou posicionando-o sobre a placa fixa, após o preparo é acionando a placa móvel da máquina, onde o corpo de prova é submetido a uma força uniaxial sobre sua seção transversal e sofre uma deformação elástica e em seguida uma deformação plástica.

Figura 8 – Máquina Universal de Ensaaios.



Fonte: Autoria própria (2022).

Os corpos de provas usados para o teste de compressão são usualmente cilíndricos, ou cilíndrico com uma ou duas extremidades quadradas, os resultados dependem fortemente do diâmetro e do comprimento, devido a isso a escolha da relação comprimento/diâmetro deve constar junto aos resultados obtidos no ensaio. Para materiais dúcteis a relação comprimento/diâmetro varia de 3 até 8 no máximo, devido a problemas de flambagem. A ruptura do corpo de prova para materiais frágeis tende a ocorrer sem muita deformação a 45° em relação ao eixo de aplicação da carga, ou seja, o plano máximo de tensões cortantes (BIOPDI, 2018).

A tensão de compressão atuante no corpo de prova quando da realização do ensaio de compressão pode ser determinada da seguinte forma:

$$T = \frac{F}{S}$$

Onde:

T → Tensão de compressão (MPa).

F → Força de compressão (N).

S → Área da seção do corpo (mm).

Os resultados numéricos obtidos no ensaio de compressão são influenciados pelas variáveis, como: temperatura, velocidade de deformação, anisotropia do material, tamanho de grão, porcentagem de impurezas e condições ambientais (SHRIVASTAVA, 2018).

- **Espectrometria de Fluorescência de Raios-X (FRX)**

A Espectrometria de Fluorescência de Raios-X (FRX) é uma técnica analítica que realiza a análise de uma amostra e determina quais os tipos de elementos químicos estão presentes em sua composição, esta técnica também identifica as quantidades de cada elemento analisado dentro da amostra, porém esta técnica não consegue identificar moléculas (SKOOG et al., 2009).

A análise por fluorescência de raios-X pode ter fins qualitativos ou quantitativos e se baseia na medição das intensidades dos raios-X característicos emitidos pelos elementos que constituem a amostra, quando excitada por partículas como elétrons, prótons ou íons produzidos em aceleradores de partículas ou ondas eletromagnéticas, além do processo mais utilizado que é através de tubos de raios-X (MELO JÚNIOR, 2007).

A FRX baseia-se na produção e detecção de raios-X, radiações eletromagnéticas de alta frequência com comprimento de onda na faixa de 0,003 a 3nm, característicos, produzidos pelo fenômeno fotoelétrico, emitidos pelos elementos constituintes da amostra quando irradiada com elétrons, prótons, raios-X ou gama com energias apropriadas (ALEXANDRE & BUENO, 2006).

A radiação eletromagnética incidente interage com a amostra, podendo ocorrer absorção, emissão e espalhamento de radiação eletromagnética (SKOOG et al., 2009). Os sistemas de espectrômetros são divididos em dois grupos principais, o primeiro é o grupo de sistemas de dispersão de comprimento de onda (WDXRF) e o segundo é o grupo de sistemas de energia dispersiva (EDXRF), ambos se diferenciam apenas através do sistema de detecção.

A WDXRF usa cristais que difratam os raios-X, dependendo do comprimento de onda em ângulos que estão sujeitos a sua energia (Lei de Bragg). Com um arranjo mecânico adequado, a radiação da amostra chega ao detector de forma monocromática. Existem equipamentos sequenciais e simultâneos (IAEA, 1999).

A EDXRF trata-se de uma técnica analítica nuclear, instrumental, multielementar e simultânea baseada na medição das intensidades de raios-X característicos emitidos pelos elementos que constituem a amostra a partir de excitação por meio de um feixe de raios-X. O termo “energia dispersiva” refere-se à técnica de detecção dos raios-X emitidos, que é efetuada por um detector de Si que gera um espectro de intensidade em função da energia. A intensidade da energia

característica emitida pelos componentes da amostra está relacionada com a concentração de cada elemento presente na amostra (ALEXANDRE & BUENO, 2006).

Dessa forma as análises podem ser feitas utilizando-se um Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por energia dispersiva de bancada (FIGURA 9).

Figura 9 – Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por energia dispersiva de bancada.



Fonte: Autoria própria (2022).

4 METODOLOGIA

4.1 COLETA DO MATERIAL

O polímero utilizado no presente trabalho foi obtido através da reciclagem de materiais de descarte dos bares e residências da orla na cidade de Luís Correia-PI, o produto selecionado dentre o lixo foram as garrafas formadas pelo Polietileno de Tereftalato – PET.

O material cerâmico foi obtido a partir das conchas em pó do molusco *Anomalocardia brasiliiana* (Gmelin, 1791), resultante da malacocultura realizada pelas mulheres da Associação de Marisqueiras e Filetadeiras da cidade de Luís Correia-PI (AMFLC), na qual a Presidente da associação fez a doação do material.

O óleo de fritura de pasteis foi adquirido através de doações de residências no Bairro Beira-Mar de Luís Correia – Piauí, totalizando 1 (L) de óleo.

4.2 PREPARAÇÃO DO MATERIAL DE PARTIDA

4.2.1 Garrafas PET's

Após a realização da coleta, as garrafas de PET foram separadas manualmente (FIGURA 10-A), em seguida as mesmas foram levadas para a área de lavagem onde ocorreu a vistoria acerca das peças que compõem a garrafa, dessa forma os rótulos, os anéis de lacre e as tampas foram retirados (FIGURA 10-B) tendo em vista que estas peças são compostas por outros tipos de polímeros.

A lavagem das garrafas ocorreu posteriormente, onde essa lavagem foi feita utilizando-se água e sabão neutro visando a retirada de impurezas agregadas ao material (FIGURA 10-C e 10-D).

A secagem do material ocorreu após 07 dias, tendo em vista que foi o tempo estimado para que a água presente no interior do recipiente evaporasse, para a secagem as garrafas foram posicionadas sobre um carrinho de metal (FIGURA 10-E), cada uma das garrafas foi posicionada com o gargalo virado para baixo de forma a facilitar que a água escoasse de seu interior.

A picotagem das garrafas ocorreu de forma manual, utilizando-se uma tesoura comum de corte e costura, o material primeiramente foi cortado em tiras e em seguida essas tiras foram picotadas em tamanhos variáveis (FIGURA 10-F).

Figura 10 – Preparo das garrafas PET's.



Fonte: Autoria própria (2021).

4.2.2 Preparo das conchas

O pó das conchas foi coletado de estoque armazenado em um balde, este estoque que foi produzido encontrava-se armazenado nesse recipiente há alguns meses na associação, em função da paralisação das atividades rotineiras do grupo provocada pela pandemia da COVID-19.

O processo de produção do pó das conchas ocorre após o cozimento delas para a retirada do molusco do seu interior, que é o principal produto comercializado, finalizado o processo as conchas são descartadas e posteriormente são usadas para a produção do pó. Este é obtido através da moagem das conchas, que ocorre em um Triturador Forrageiro CID 125 L 2,0 CV - Bivolt (FIGURA 11) doado a associação pela empresa Codevasf. Após o preparo o pó é armazenado em grandes baldes e fica a

disposição para a empresa Codevasf que desenvolve trabalhos relacionados a calagem do solo.

Figura 11 – Triturador Forrageiro CID 125 L 2,0 CV - Bivolt.



Fonte: Autoria própria (2021).

O processo de moagem em si foi realizado unicamente pela máquina de trituração: as conchas foram depositadas no funil de recepção em pequenas quantidades e ao ligar o triturador o pó é coletado e armazenado para uso (FIGURA 12).

Figura 12 – Trituração das conchas feita na associação.



Fonte: Globo.com (2018).

O pó das conchas obtido foi levado até o local dos experimentos, onde foi despejado em uma grande bacia plástica para uma triagem a olho nu, uma vez que, devido ao tempo de armazenamento nos baldes da associação de marisqueiras o

mesmo continha sujeiras e contaminantes misturados a ele, o que poderia causar interferências no processo para a obtenção dos compósitos.

Após a constatação que o pó estava em condições de uso este foi peneirado, empregando uma peneira comercial comum. Esta etapa possibilitou a divisão do material em dois tipos: o primeiro apresentando uma aparência homogênea de pó fino (FIGURA 13-A) devido a granulometria das partículas apresentarem um tamanho menor. O segundo material obtido é demonstrado na peneira (FIGURA 13-B) possui uma composição grosseira composta de grânulos pequenos, médios, grandes e pedaços da concha não triturados. Além disso é possível notar a presença de impurezas como pedaços de plantas, folhas e capins.

Após o processo de peneiramento o pó foi reservado para as etapas seguintes, sendo utilizado apenas o segundo material, ou seja, o pó de menor granulometria, pois, por ser homogêneo esperava-se a geração de um compósito uniforme enquanto o pó de maior granulometria foi guardado para estudos posteriores.

Figura 13 – Peneiração do pó das conchas.



Fonte: Autoria própria (2021).

4.2.3 Preparação do molde

O molde foi projetado utilizando-se uma caixa de MDF com 5 centímetros (cm) de altura e as demais dimensões 10 centímetros (cm) (FIGURA 14), a tampa da caixa foi cortada nas laterais manualmente com a ajuda de uma tesoura, o corte foi diminuto de forma que a tampa passasse a adentrar a caixa. A tampa foi revestida em papel alumínio, a mesma serve para realizar prensagem durante o processo de moldagem por compressão.

Figura 14 – Preparação do molde.



Fonte: Autoria própria (2021).

Durante a utilização do molde a parte que vai receber a mistura de materiais, no caso a caixa deve ser revestida com papel manteiga (FIGURA 15).

Figura 15 – Molde pronto para receber a mistura.



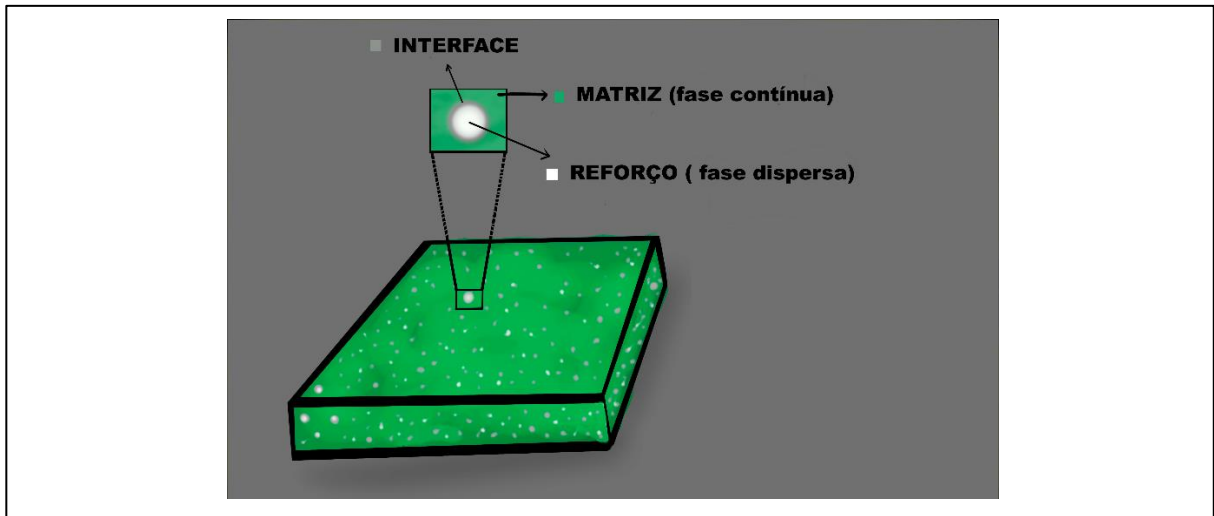
Fonte: Autoria própria (2021).

Utilizou-se óleo de cozinha comum e óleo de fritura (este último em um caso específico) para untar o recipiente metálico que foi levado a fonte de calor.

4.3 MÉTODOS DE PREPARO PARA O COMPÓSITO

Para a pesquisa foram desenvolvidos dois métodos de inserção do pó das conchas (reforço) ao Polietileno de Tereftalato - PET (matriz), visando a obtenção do compósito (FIGURA 16), o primeiro método foi nomeado como Método Sanduíche e o segundo foi nomeado como Método de Enxerto.

Figura 16 – Matriz (fase contínua) + Reforço (fase dispersa).



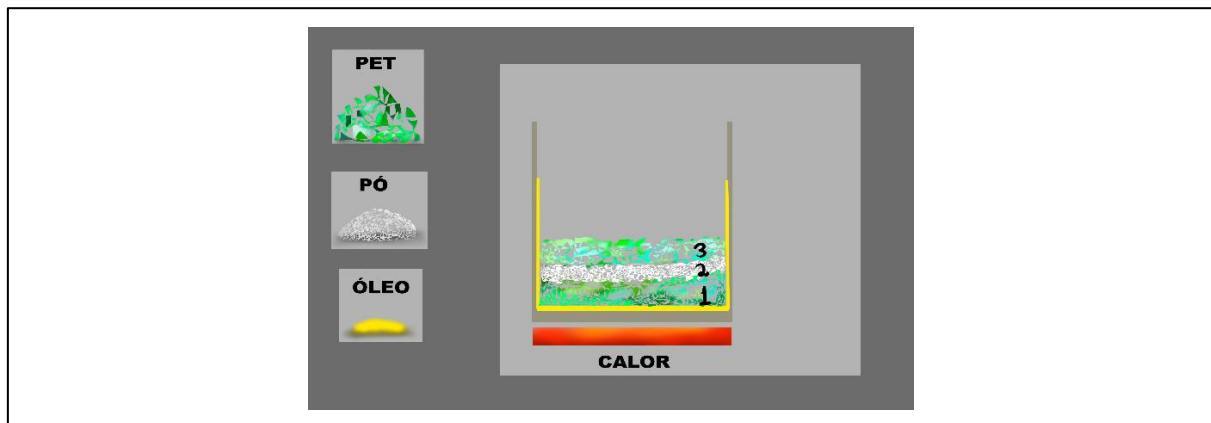
Fonte: Autoria própria (2021).

- **MÉTODO SANDUÍCHE**

O preparo para o método sanduíche consiste na seguinte forma: um recipiente metálico é untado com uma leve camada de óleo de cozinha comum, em seguida dentro deste recipiente monta-se o sistema de camadas alternando-se os materiais (o pó peneirado e o PET picotado).

O arranjo utilizado é composto por 03 camadas, a primeira formada pelo PET picotado, a segunda uma fina camada de pó de concha e a terceira camada novamente uma de PET picotado (FIGURA 17). Após a montagem o recipiente foi levado a fonte de calor artesanal onde o processo de fundição do PET com a agregação do pó ocorreu sem nenhuma agitação mecânica externa, após a fundição da mistura o material é despejado no molde previamente preparado e prensado.

Figura 17 – Método Sanduíche.



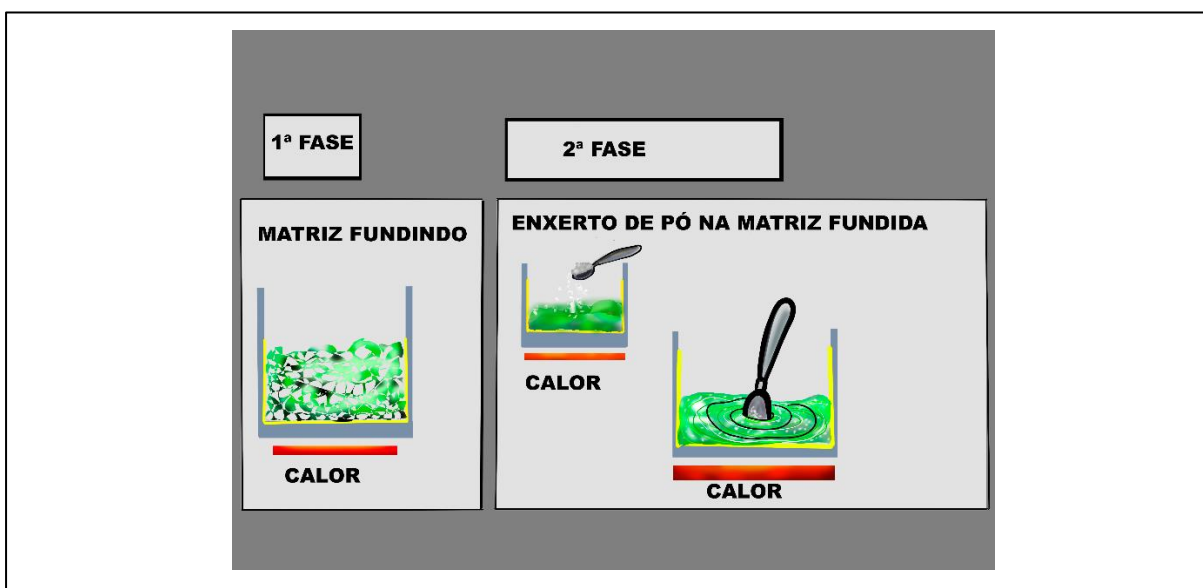
Fonte: Autoria própria (2022).

• **MÉTODO DE ENXERTO**

O segundo método desenvolvido foi nomeado como Método de Enxerto, ele divide-se em duas fases (FIGURA 18): A primeira fase consiste na preparação do recipiente metálico, que recebe uma fina camada de óleo de cozinha comum para untar toda a parte interna do recipiente, logo após uma quantidade de PET picotado é colocado dentro do recipiente, assim o arranjo é levado a fonte de calor para fundir a matriz.

A segunda fase inicia-se com a adição do reforço, ou seja, uma quantidade de pó das conchas é adicionada ao PET, este que já está em seu estado fundido, em seguida com a ajuda de uma colher metálica os materiais são misturados por um minuto em sentido circular viabilizando uma melhor homogeneização entre a matriz (PET) e o reforço (pó da concha), formando assim uma mistura homogênea de ambos os materiais, após essa etapa o material está pronto para ser depositado no molde previamente preparado e prensado.

Figura 18 – Método de Enxerto



Fonte: Autoria própria (2022).

4.3.1 Compósitos A (pó em pasta com óleo de fritura adicionado à matriz)

O preparo do reforço consistiu em uma colher rasa de pó das conchas de marisco misturada a uma colher de óleo de fritura sobre um recipiente de vidro (FIGURA 19), ambos os materiais foram misturados em temperatura ambiente até que assumissem uma consistência pastosa, em seguida o material foi reservado.

Figura 19 – Pasta de pó com óleo de fritura (reforço).



Fonte: Autoria própria (2022).

Para o preparo da matriz utilizou-se o Método de enxerto, onde em um recipiente metálico ligeiramente lubrificado com uma fina camada de óleo comum, adicionou-se uma medida padronizada para este procedimento, que foi a quantidade de 03 recipientes de medida (“pote” de aproximadamente 250 mL) contendo PET picotado (FIGURA 20), em seguida o material foi levado a fonte de calor para fundição, a fonte de calor utilizada foi artesanal, ou seja, o fogo de brasa, feito com carvão natural.

Figura 20 – Medidas utilizadas.



Fonte: Autoria própria (2022).

O Polietileno de tereftalato – (PET) após 10 minutos já estava completamente fundido e pronto para receber o enxerto de pó, preparado anteriormente, o compósito A. Em seguida a mistura foi homogeneizada em movimentos circulares por um minuto com o auxílio de uma colher metálica, ainda sob a fonte de calor, e então o material foi despejado manualmente no molde previamente preparado (FIGURA 21).

Figura 21 – Preenchimento do molde.

Fonte: Autoria própria (2022).

Após o preenchimento o molde foi tampado e apertado manualmente e vagarosamente, de forma que não vasasse o conteúdo pelas fissuras laterais entre a caixa e a tampa, em seguida o mesmo foi deixado em repouso para que o material se solidificasse. Na Tabela 1 apresenta os detalhes para a produção de cada produto.

Tabela 1 – Produção dos compósitos A.

Tipo	Quantidade de pó utilizado por produto	Método de preparo	Tipo de óleo utilizado	Quantidade de produtos feitos
A	1 colher	Método de enxerto	Óleo de fritura	01
A	1 colher	Método de enxerto	Óleo de fritura	01

Fonte: Autoria própria (2022).

4.3.2 Compósitos B (feito com o pó da concha aquecido por um intervalo de tempo específico)

Para este grupo os produtos tiveram duas fases de preparo, a primeira foi a preparação do reforço e a segunda o enxerto da carga na matriz já aquecida, todos

os produtos duplicados seguem as mesmas especificações de produção. O preparo do reforço consistiu no aquecimento de cada material em pó por um intervalo de tempo específico (04, 08 e 12 horas), para retirar a umidade absorvida no pó armazenado.

Para a realização do aquecimento o pó das conchas foi depositado sobre a superfície de argila (uma telha), sendo 03 amostras no total, enumeradas com o tempo em que o pó permanecera na fonte de calor (FIGURA 22). O arranjo para a secagem foi fechado por outra telha, de forma a evitar a contaminação por impurezas como as cinzas, em seguida o arranjo foi levado ao fogo de carvão natural.

Figura 22 – Aquecimento do pó das conchas.



Fonte: Autoria própria (2022).

O aquecimento do pó das conchas de marisco fez com que uma parte da umidade fosse removida (FIGURA 23), dando ao pó um aspecto mais seco, solto e com uma leve alteração na sua coloração.

Figura 23 – Amostras de pó aquecido (4h, 8h e 12h).



Fonte: Autoria própria (2022).

Após atingir o tempo estimado de aquecimento de 04 horas, 08 horas e 12 horas, cada uma das amostras de quantidade de pó respectivamente, foram retiradas da fonte de calor e depositada em um recipiente de vidro para esfriar, após o

resfriamento deu-se início a produção dos compósitos. Na Tabela 2 apresenta os detalhes para a produção de cada produto.

Tabela 2 – Produção dos compósitos B.

Tipo	Quantidade de pó utilizado por produto	Método de preparo	Tipo de óleo utilizado	Quantidade de produtos feitos
B1	1 colher do pó aquecido por 04 h	Método de enxerto	Óleo comum	02
B2	1 colher do pó aquecido por 08 h	Método de enxerto	Óleo comum	02
B3	1 colher do pó aquecido por 12 h	Método de enxerto	Óleo comum	02

Fonte: Autoria própria (2022).

4.3.3 Compósitos C (Feitos com variação de quantidade de reforço na matriz).

Os compósitos C foram produzidos utilizando-se o método de enxerto para cada um, sendo a quantidade de reforço variável e a quantidade de matriz fixa, dessa forma, a matriz foi preparada utilizando-se 03 recipientes de 250 ml contendo o PET picotado, com a fundição da matriz, o reforço enxertado foi variando para cada tipo de compósito produzido.

Neste teste cada um dos produtos obtidos demorou 30 minutos para ficar pronto e recebeu sua nomenclatura de acordo com a quantidade de colheres de reforço adicionadas em sua matriz. Na Tabela 3 estão descritas informações acerca da produção de cada compósito.

Tabela 3 – Produção dos compósitos C.

Tipo	Quantidade de pó utilizado por produto	Método de preparo	Tipo de óleo utilizado	Quantidade de produtos feitos
C1	1 colher	Método de enxerto	Óleo comum	02
C2	2 colheres	Método de enxerto	Óleo comum	02
C3	3 colheres	Método de enxerto	Óleo comum	02
C4	4 colheres	Método de enxerto	Óleo comum	02
C5	5 colheres	Método de enxerto	Óleo comum	02
C6	6 colheres	Método de enxerto	Óleo comum	02
C7	7 colheres	Método de enxerto	Óleo comum	01

Fonte: Autoria própria (2022).

4.4 EXPLORAÇÃO ARTESANAL E CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA

4.4.1 Exploração artesanal dos produtos

A exploração artesanal ocorreu no ambiente a qual os compósitos foram feitos, consistindo na quebra manual de uma das duplicatas de cada grupo de produção, totalizando 11 testagens. A quebra foi feita manualmente utilizando-se um martelo, o processo foi fotografado e filmado para uma maior compreensão.

4.4.2 Ensaio de Compressão

O Ensaio de compressão para a caracterização Física dos produtos foi realizado nas dependências do Laboratório do Programa Pós-Graduação de Engenharia de Materiais do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Piauí- Campus Teresina Central.

Para este teste foram utilizadas 10 amostras totais. Na tabela 4 estão descritos mais detalhes sobre o processo.

Tabela 4 – Ensaio de compressão dos produtos A, B e C.

Produto	Ordem de produção (Número da duplicata usada)	Quantidade usada no teste de compressão
A	Segunda	1
B1	Primeira	1
B2	Primeira	1
B3	Segunda	1
C1	Primeira	1
C2	Primeira	1
C3	Segunda	1

C4	Primeira	1
C5	Primeira	1
C6	Primeira	1

Fonte: Autoria própria (2022).

Para a realização do ensaio um corpo de prova foi apoiado sobre a placa fixa da máquina, uma adaptação de placas para o aumento da altura da mesma foi usada como apoio, em seguida o técnico responsável acionou a placa móvel, fazendo com que ocorresse a compressão por aplicação de uma força em quilonewton (kN) sobre a superfície do corpo de prova, o processo foi repetido 10 vezes e realizado na Máquina Universal de Ensaio – SHIMADZU autograph AG-X 250 kN (FIGURA 24).

Figura 24 – Máquina Universal de Ensaio fazendo a compressão de um corpo de prova.



Fonte: Autoria própria (2022).

A máquina não estava funcionando com a interface do computador onde os resultados seriam coletados por um software específico para a técnica, por conta disso a coleta de resultados se deu de maneira manual e cada teste foi gravado com o auxílio de um celular.

Posteriormente, cada gravação foi analisada e dividida em eventos onde aparecem a força (kN) aplicada sobre a superfície da amostra e a deformação em milímetros (mm).

Após a análise minuciosa de cada gravação calculou-se a Tensão de compressão através da fórmula:

$$T = \frac{F}{S}$$

Durante o cálculo fazendo os ajustes necessários o valor de força dado em unidade de quilonewton (kN) foi convertido para a unidade de newton(N) e aplicado na fórmula, dessa forma obteve-se o resultado para os valores de Tensão em Megapascal (MPa) por deformação em milímetro (mm).

Os valores encontrados de tensão e os valores de deformação dado pela máquina foram usados para realizar a plotagem dos gráficos de Tensão x Deformação para cada um dos testes, utilizando-se o software Origin.

4.4.3 Espectrometria de Fluorescência de Raios-X (FRX)

A análise Espectrométrica de Fluorescência de Raios-X (FRX) dos materiais foi realizada nas dependências do Laboratório do Programa Pós-Graduação de Engenharia de Materiais do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Piauí- Campus Teresina Central. Para esta análise foram utilizadas 03 amostras, descritas na tabela 5.

Tabela 5 – Materiais analisados na FRX.

Produto	Quantidade de produtos analisados
Pó das conchas peneirado	01
B2 (feito com o pó aquecido por 08 horas)	01

C1 (feito com uma colher de pó)	01
--	----

Fonte: Autoria própria (2022).

A análise para cada amostra foi feita utilizando-se um Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por energia dispersiva de bancada (FIGURA 25) da marca PANalytical modelo Epsilon 3 XL.

Figura 25 – Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por energia dispersiva de bancada PANalytical modelo Epsilon 3 XL.



Fonte: Autoria própria (2022).

A máquina não estava funcionando com a interface conectada ao computador, onde os resultados seriam coletados por um software específico e demonstrado em gráficos, por conta disso os resultados foram coletados e organizados em tabelas (seção 5.3, pág.75-76) utilizando-se o software Excel.

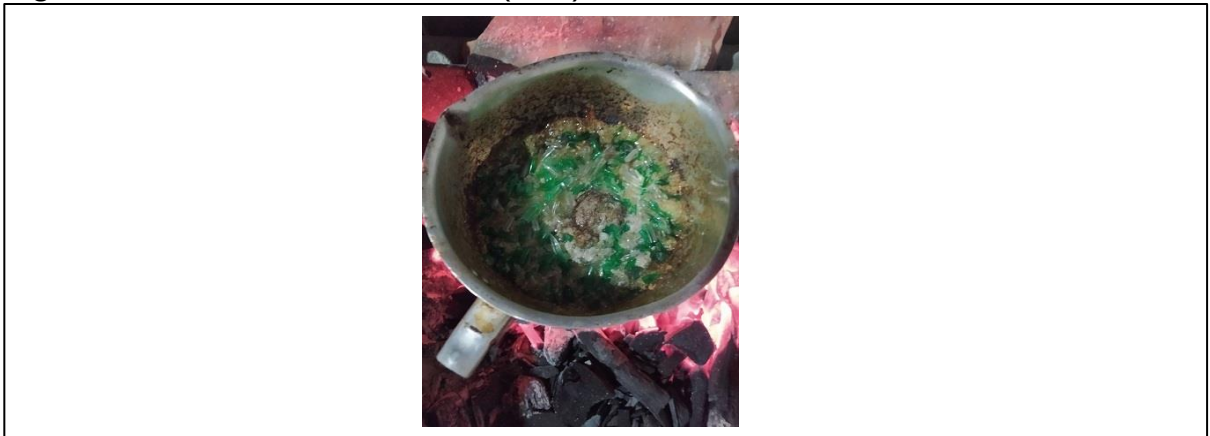
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 TESTES PRELIMINARES (Exploração Artesanal)

- Compósito A

Por ser um termoplástico e ter ponto de fusão de 265 °C, após o tempo de 10 minutos o PET começa a fundir e apresentar uma aparência pastosa com a presença de diminutos pedaços de PET picotado (FIGURA 26).

Figura 26 – Polietileno Tereftalato (PET) sendo fundido.



Fonte: Autoria própria (2022).

A preparação previa do molde com o papel alumínio revestindo a tampa e o papel manteiga revestindo toda a parte interna da caixa é de extrema importância pois sem esse passo, a mistura aquecida dos materiais a ser depositada no interior do molde agrega na madeira, grudando sobre a superfície de forma que ao tentar tirar o produto, o mesmo danifica a mistura e o molde. A desmoldagem do produto ocorre 15 minutos após o resfriamento do molde, neste intervalo de tempo o material solidifica-se dando forma ao compósito (FIGURA 27)

Figura 27 – Desmoldagem do produto.



Fonte: Autoria própria (2022).

Para o grupo de produção dos compósitos A, foram criados 02 compósitos (FIGURA 28), estes que foram denominados como A1 (primeira ordem) e A2 (segunda ordem) respectivamente, apenas por conversão de nomenclatura para as duplicatas feitas, ambos foram produzidos utilizando-se o método de enxerto de uma colher de pó de concha, levando um tempo total de 1 hora para ficarem prontos.

Figura 28 – Compósitos A1(primeira ordem) e A1(segunda ordem).



Fonte: Autoria própria (2022).

Com a observação nota-se que o A1 (primeira ordem) apresentou grandes poros e bolhas de ar nas superfícies e laterais e uma alteração de cor, após a desmoldagem ele já saiu do molde com uma rachadura grande em três direções.

O compósito A2 (segunda ordem) apesar de ter a aparência mais homogênea visualmente, se comparado ao primeiro produto, nota-se que o mesmo apresenta pequenas bolhas de ar, poros e uma grande rachadura após o resfriamento.

Para uma melhor verificação das condições o compósito A1 (primeira ordem) foi quebrado com o uso de um martelo, após a quebra foi possível visualizar grandes bolsões de ar entre as paredes internas do mesmo (FIGURA 29).

Figura 29 – Quebra do compósito A1 (primeira ordem).



Fonte: Autoria própria (2022).

- Compósitos B

Os compósitos B foram feitos utilizando-se o método de enxerto de pó aquecido na matriz fundida com a adição de 01 colher de pó aquecido por intervalos de tempos diferentes, para este grupo de produção foram obtidos 06 compósitos no total. Os compósitos B1 foram produzidos com o pó aquecido por 04 horas, totalizando 02 amostras, o tempo de preparo para cada produto foi de 30 minutos (FIGURA 30).

Figura 30 – Compósitos B1(primeira ordem) e B1(segunda ordem).



Fonte: Autoria própria (2022).

Após a desmoldagem nota-se que o compósito B1(primeira ordem) apresenta uma aparência homogênea, porém possui bolhas de ar, poros e rachaduras na superfície. O produto B1(segunda ordem) apresenta rachaduras, poros largos e um defeito grande em sua formação.

Para uma melhor percepção das propriedades do material, o produto B1(segunda ordem) foi quebrado com o auxílio de um martelo (FIGURA 31).

Figura 31 – Quebra do compósito B1 (segunda ordem).



Fonte: Autoria própria (2022).

Após a quebra observa-se que na superfície e entre as paredes no núcleo do produto existem pequenos poros dispersos.

- Compósitos B2

O compósito B2 foi produzido com o pó aquecido por 08 horas, totalizando 02 amostras, o tempo de preparo para cada produto foi de 30 minutos (FIGURA 32).

Figura 32 – Compósitos B2 (primeira ordem) e B2 (segunda ordem).



Fonte: Autoria própria (2022).

Os compósitos B2 demonstram aparência homogênea em sua superfície com a presença de pequenos poros. Para uma melhor observação da formação interna, o produto B2 (segunda ordem) foi quebrado com o auxílio de um martelo (FIGURA 33).

Figura 33 – Quebra compósito B2 (segunda ordem).



Fonte: Autoria própria (2022).

A quebra proporcionou uma visão do interior onde tornou-se possível a observação de poros largos e pequenos, assim como a presença do pó e a forma como este agregou à matriz polimérica, dentre os produtos do grupo de produção B, este foi o que quebrou com uma leve resistência.

- Compósitos B3

O compósito B3 foi produzido com o pó aquecido por 12 horas, totalizando 02 amostras, o tempo de preparo para cada produto foi de 30 minutos (FIGURA 34).

Figura 34 – Compósitos B3 (primeira ordem) e B3 (segunda ordem).



Fonte: Autoria própria (2022).

O compósito B3 (primeira ordem) após a desmoldagem saiu com uma rachadura e muitas falhas superficiais à medida que ele resfriava a rachadura cedeu, partindo-o em 02 pedaços. Na superfície observa-se uma grande falha na estrutura. O compósito B3 (segunda ordem) apresenta uma rachadura parecida com a do B3 (primeira ordem), porém mesmo após o resfriamento ele manteve sua forma. Sobre a superfície de ambos os materiais é possível observar a presença de poros. Para uma melhor observação o B3 (primeira ordem) que já estava quebrado foi repartido em vários outros pedaços com a ajuda de um martelo (FIGURA 35).

Figura 35 – Quebra do compósito B3 (primeira ordem).



Fonte: Autoria própria (2022).

Com a quebra do produto observou-se que existem fissuras e rachaduras entre as paredes de formação do compósito, assim como existe a presença numerosa de poros largos e pequenos, também é possível ver o acúmulo de pó das conchas misturado a matriz polimérica.

- Compósitos C

Os compósitos C foram feitos utilizando-se o método de enxerto, onde a quantidade de reforço foi variada de 01 á 07 colheres, para este grupo de produção foram obtidos 11 compósitos no total, o tempo de preparo para cada produto foi de 30 minutos.

Os compósitos C1 (primeira ordem) e C1 (segunda ordem) foram produzidos utilizando-se o método de enxerto com a adição de 01 colher de pó para cada uma das amostras, totalizando 02 amostras, o tempo de preparo para cada produto foi de 30 minutos (FIGURA 36).

Figura 36 – Compósito C1 (primeira ordem) e C1(segunda ordem).



Fonte: Autoria própria (2022).

O compósito C1 (primeira ordem) apresentou um aspecto homogêneo após a desmoldagem, as marcações presentes sobre a superfície do mesmo foram causadas pelo papel de revestimento, utilizado para forrar o molde. O compósito C1 (segunda ordem) apresentou uma leve alteração na cor, também é possível notar a homogeneização da mistura e a presença de pequenos pedaços de PET.

Para uma melhor observação acerca da formação do produto o compósito C1 (segunda ordem) foi quebrado com o auxílio de um martelo (FIGURA 37).

Figura 37 – Quebra do compósito C1 (segunda ordem).



Fonte: Autoria própria (2022).

Após a quebra compósito notou-se os pequenos poros formados próximo a superfície do compósito e entre as paredes do mesmo. A presença de poros menores no material é melhor para a resistência mecânica do mesmo, de acordo com a aplicação desejada.

- Compósitos C2

Os compósitos C2 foram produzidos utilizando-se o método de enxerto com a adição de 02 colheres de pó para cada amostra, totalizando 02 amostras, estes materiais apresentaram pequenos poros sobre a superfície e fissuras diminutas devido ao contato do material com o papel que reveste o molde (FIGURA 38).

Figura 38 – Compósitos C2 (primeira ordem) e C2 (segunda ordem).



Fonte: Autoria própria (2022).

Para uma observação mais detalhada, o compósito de segunda ordem foi quebrado com o auxílio de um martelo (FIGURA 39).

Figura 39 – Quebra compósito C2 (segunda ordem).



Fonte: Autoria própria (2022)

O compósito quebrou facilmente, em sua composição é possível notar que existe a presença de grandes bolsões de ar no interior da estrutura o que deixa o material desenvolvido fragilizado.

- Compósitos C3.

Os compósitos C3 produzidos pelo método de enxerto com a adição de 03 colheres de pó para cada amostra, ao sair do molde apresentaram grandes poros por toda a sua superfície (FIGURA 40), o C3 (primeira ordem) possui uma rachadura no centro da estrutura, o C3 (segunda ordem) apresenta grandes poros sobre a superfície.

Figura 40 – Compósitos C3 (primeira ordem) e C3 (segunda ordem).



Fonte: Autoria própria (2022).

Após a quebra do compósito C3 (primeira ordem) observou-se a deposição de pó evidente entre a matriz polimérica, assim como a presença de grandes poros dentro das paredes internas do material (FIGURA 41).

Figura 41 – Quebra do compósito C3 (primeira ordem).



Fonte: Autoria própria (2022).

- Compósitos C4

Os compósitos C4 produzidos pelo método de enxerto com a adição de 04 colheres de pó para cada amostra, apresentaram uma superfície homogênea com grande visibilidade dos grânulos do pó agregando-se a matriz polimérica (FIGURA 42), assim como a presença de poros sobre toda a superfície. Algumas fissuras e marcas presentes em ambos os produtos é devido ao papel manteiga usado no revestimento do molde.

Figura 42 – Compósitos C4 (primeira ordem) e C4 (segunda ordem).



Fonte: Autoria própria (2022).

Para uma melhor observação da composição do material o C4(segunda ordem) foi quebrado com o auxílio de um martelo (FIGURA 43).

Figura 43 – Quebra do compósito C4 (segunda ordem).



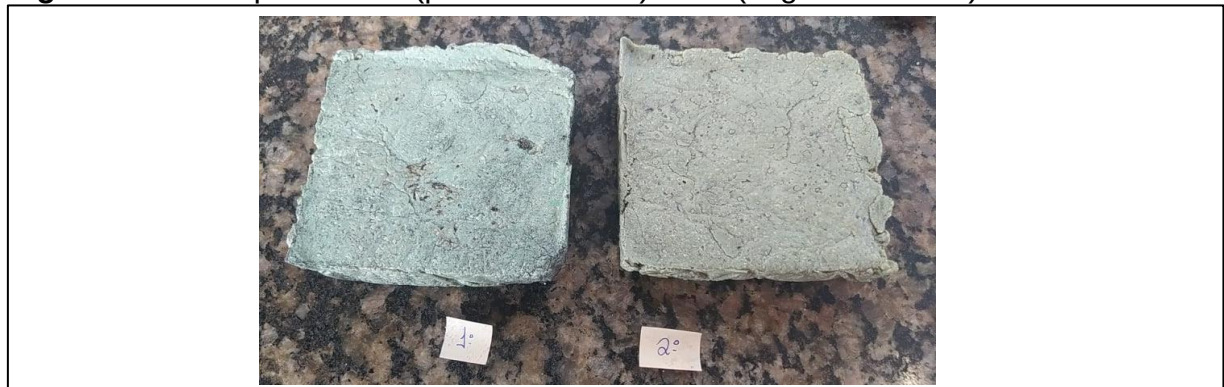
Fonte: Autoria própria (2022).

Com a quebra foi possível observar grandes poros entre o material assim como o acúmulo de grânulos em toda a estrutura.

- Compósitos C5

Os compósitos C5 (primeira ordem) e C5 (segunda ordem) foram produzidos pelo método de enxerto com a adição de 05 colheres de pó para cada uma das amostras, estes produtos apresentaram em toda a sua superfície um acúmulo de partículas do pó bem visíveis, assim como a presença de poros e fissuras (FIGURA 44). O C5 (primeira ordem) possui fissuras na superfície e nas laterais assim como má formação da estrutura tendo as laterais mais porosas que o centro. O C5 (segunda ordem) segundo possui uma leve alteração de cor, em sua superfície é perceptível a deposição do pó, o mesmo tem fissuras na superfície e nas laterais.

Figura 44 – Compósitos C5 (primeira ordem) e C5 (segunda ordem).



Fonte: Autoria própria (2022).

Para uma melhor observação o compósito C5 (segunda ordem) foi quebrado com o auxílio de um martelo (FIGURA 45).

Figura 45 – Quebra do compósito C5 (segunda ordem).



Fonte: Autoria própria (2022).

Após a quebra do material observou-se enormes buracos entre o núcleo da estrutura, assim como a presença de inúmeras porosidades.

- Compósitos C6

Os compósitos C6 (primeira ordem) e C6 (segunda ordem) foram produzidos utilizando-se o método de enxerto com a adição de 06 colheres de pó em cada amostra, estes apresentaram uma superfície preenchida de grânulos e poros em demasia (FIGURA 46).

O segundo compósito C6 apresentou falhas superficiais devido à má agregação do pó de conchas a matriz polimérica, assim como bordas esfareladas

Figura 46 – Compósitos C6 (primeira ordem) e C6 (segunda ordem).



Fonte: Autoria própria (2022).

Com a quebra do compósito C6 (segunda ordem) (FIGURA 47) observa-se a formação de poros e a má aglomeração do pó das conchas que fica em demasia se comparado a quantidade de PET.

Figura 47 – Quebra do compósito C6 (segunda ordem).

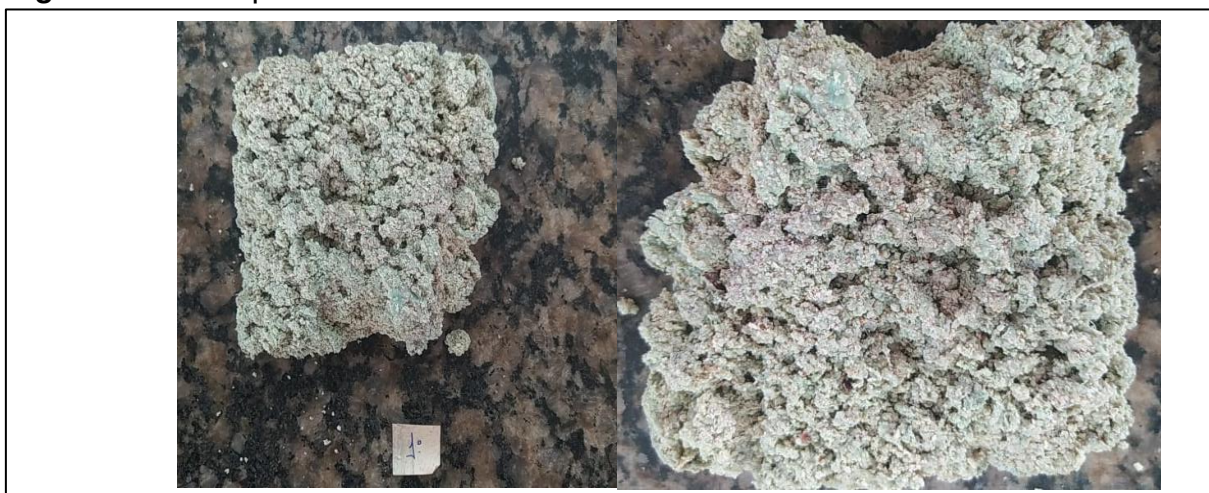


Fonte: Autoria própria (2022).

- **Compósito C7**

O compósito C7 foi produzido uma única vez pois ao ser feito com a adição de 07 colheres notou-se durante o processo que este era o máximo de agregação entre as quantidades de materiais estabelecidas. O produto foi feito tornando-se um aglomerado grosseiro que esfarela e se decompõe em várias partes menores com o mínimo de esforço aplicado sobre ele (FIGURA 48).

Figura 48 – Compósito C7



Fonte: Autoria própria (2022).

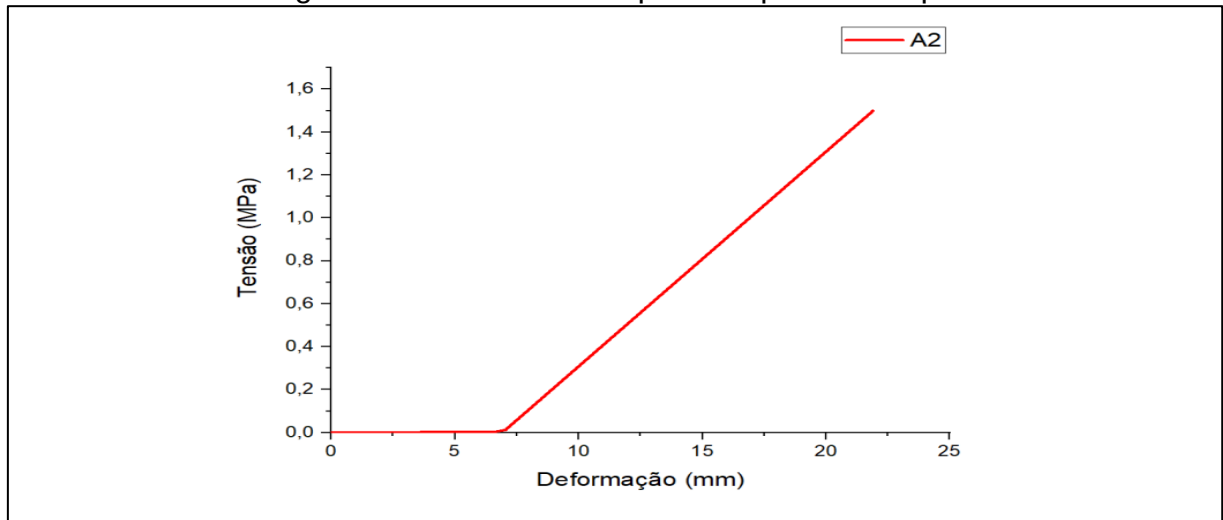
A quebra deste material pode ser feita manualmente, portanto não foi necessário fazer uma duplicata tendo em vista que no primeiro ele já demonstrou sua ineficácia.

5.2 ENSAIO DE COMPRESSÃO

5.2.1 Compósito A

A partir do ensaio de compressão, obteve-se o gráfico de Tensão x Deformação (GRÁFICO 1) para o compósito A2.

Gráfico 1 – Gráfico geral do Ensaio de Compressão para o compósito A2.



Fonte: Autoria própria (2022).

O gráfico geral demonstra os eventos que ocorreram com o corpo de prova (CP) à medida que a força exercida sobre o material foi aumentando durante o ensaio de compressão. Na tabela 6 estão descritos os principais eventos que ocorreram ao longo do ensaio de compressão.

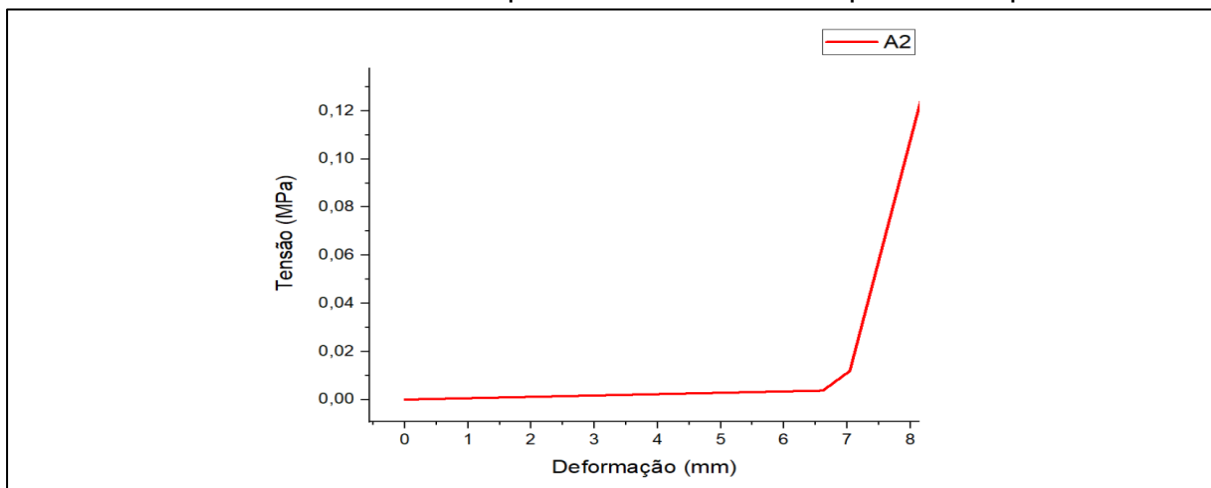
Tabela 6 – Eventos do ensaio de compressão do compósito A.

1º Evento	2º Evento	Quebra total do CP
Força = 0,00375 (Mpa) na posição 6,616 (mm)	Força = 0,01185 (MPa) na posição 7,041 (mm)	Força = 1,4995 (Mpa) na posição 21,899 (mm).

Fonte: Autoria própria (2022).

É possível observar que após o início da compressão, quando a força exercida atinge a marca de 0,00375 (Mpa) na posição 6,616 (mm) ocorre uma quebra no corpo de prova (GRÁFICO 2) demarcando assim o fim do primeiro evento.

Gráfico 2 – Gráfico com zoom dos pontos em cada evento para o compósito A2.



Fonte: Autoria própria (2022).

A força exercida sobre o CP continua pressionando o material, o que faz com que na posição 7,041 (mm) com a força de 0,01185 (MPa) ocorra uma nova quebra do material.

Aumentando-se ainda mais a força exercida o CP estilhaça ao atingir a tensão de 1,4995 (Mpa) na posição 21,899 (mm). A adição de óleo de fritura na produção do compósito contribuiu para a formação de bolhas de ar durante o processo de fusão do Polietileno Tereftalato – (PET), além disso o próprio material polimérico (PET) libera gases durante seu aquecimento formando bolhas de ar na mistura.

O processo de queima das garrafas PET apresenta o benzeno ($C_6 H_6$) como maior componente das emissões de LHCs, sendo responsável por 46% a 51% do total de emissões. Este fenômeno está relacionado ao ácido tereftálico ($C_6 H_4(COOH)_2$), principal precursor do politereftalato de etileno. Denominado pela IUPAC como para-dicarboxil benzeno, esse ácido possui um anel benzênico como principal constituinte da cadeia polimérica (MYERS, R. L. 2007).

A presença das bolhas de ar não foi eliminada totalmente, mesmo com a agitação da mistura utilizada no método de enxerto e com a prensagem manual da mistura no molde, resultando em poros e bolsões de ar entre a estrutura, o que explica a primeira trinca do CP com uma parcela pequena de força exercida sobre o mesmo.

5.2.2 Compósitos B

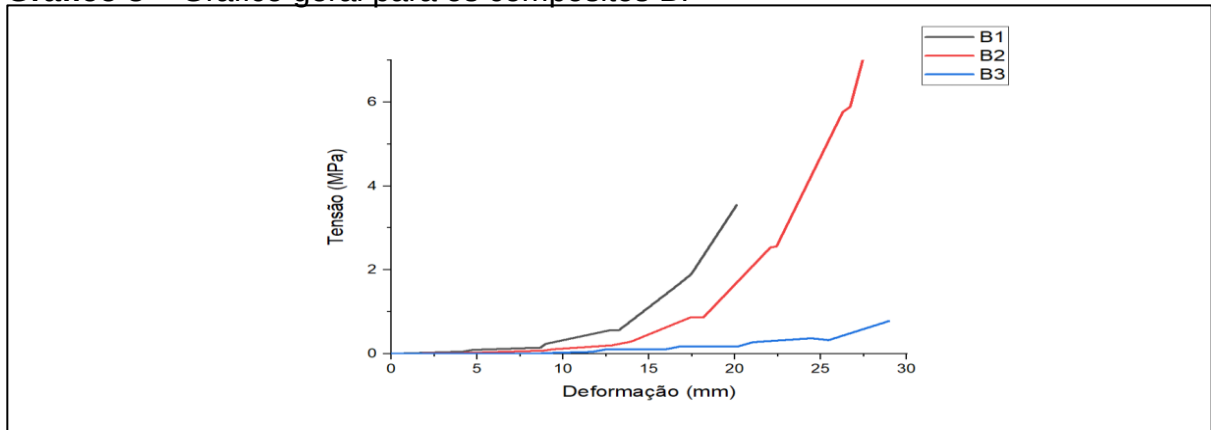
A partir do ensaio de compressão, obteve-se o gráfico geral de Tensão x Deformação para os compósitos B (GRÁFICO 3) onde é possível observar as curvas para cada compósito separadamente. Na tabela 7 estão descritos os principais eventos que ocorreram ao longo do ensaio de compressão.

Tabela 7 – Eventos do ensaio de compressão dos compósitos B.

TIPO	1º Evento	2º Evento	Quebra total do CP
B1	F = 0,05060 MPa P = 4,158 mm	F = 0, 14600 MPa P = 8,697 mm	F = 3,5435 MPa P = 20, 093 mm
B2	F = 0,02152 MPa P = 4,533 mm	F = 0,07522 MPa P = 8,865 mm	F = 11, 860 MPa P = 30, 612 mm
B3	F = 0,00830 MPa P = 8,698 mm	F = 0,04475 MPa P = 11,699 mm	F = 0, 77750 MPa P = 28,945 mm

Fonte: Autoria própria (2022).

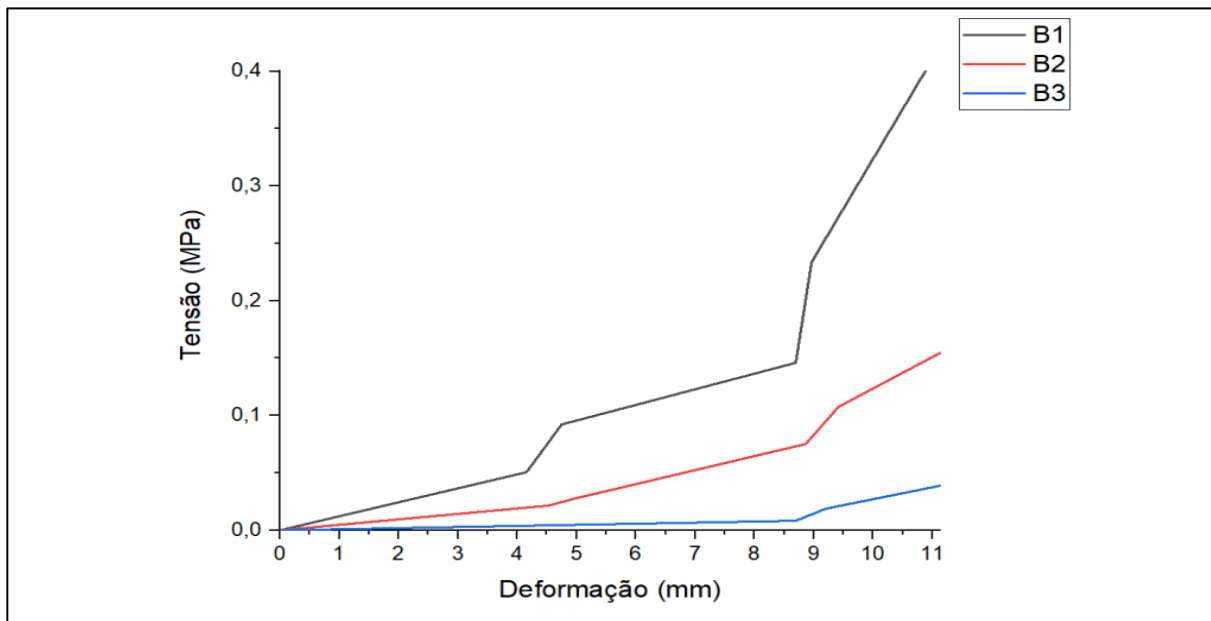
Gráfico 3 – Gráfico geral para os compósitos B.



Fonte: Autoria própria (2022).

O gráfico demonstra os eventos que ocorreram com os corpos de prova B1, B2 e B3 à medida que a força exercida sobre cada material foi aumentando em relação a deformação durante o ensaio de compressão. O zoom no gráfico geral permite a visualização dos principais eventos para cada um dos compósitos B (GRÁFICO 4).

Gráfico 4 – Gráfico com zoom dos pontos em cada evento para os compósitos B.



Fonte: Autoria própria (2022).

Para o compósito B1 observa-se que no primeiro evento ele suportou uma força de 0,05060 (Mpa) na posição 4,158 (mm) onde ocorreu a primeira quebra do corpo de prova (CP), porém no segundo evento na posição 8,697 (mm) com a aplicação de uma força de 0,14600 (Mpa) o B1 quebrou novamente, levando a uma serie de rompimentos no CP onde o cisalhamento completo ocorreu na posição 20,093 (mm) com uma força de 3,5435 (Mpa).

Analisando o compósito B2 nota-se que ele trinca com a aplicação de uma força de 0,02152 (Mpa) na posição 4,533 (mm), durante o segundo evento na posição 8,865 (mm) a força de 0,07522 (Mpa) aplicada sobre a superfície causa uma nova trinca, mas o material continua suportando, no terceiro evento quando a força aplicada atinge o valor de 0,28950 (Mpa) na posição 13,956 (mm) começa o cisalhamento do corpo de prova, levando-o a romper-se totalmente na posição 30,612 (mm) com uma força de 11,860 (MPa).

O compósito B3 apresenta a menor resistência a força aplicada, ou seja, a menor tensão, pois no primeiro evento na posição 8,698 (mm) com uma força de 0,00830 (MPa) o CP rompe sua estrutura dividindo-se em dois pedaços, na posição 11,699 (mm) o CP permanece suportando a força aplicada que neste momento é de 0,04475 (MPa) com a aplicação de força continua sobre o material o cisalhamento total dele se dá na posição 28,945 (mm) com uma força de 0,77750 (MPa).

Observando todas as curvas tem-se que o B1 durante o primeiro evento, foi o compósito que suportou uma maior aplicação de força sobre sua superfície, levemente superior ao B2, tendo em vista que suas posições de quebra durante o primeiro evento de cada um deles, foram bem próximas.

O compósito B2 foi o que suportou maiores tensões sobre sua estrutura se comparado ao B1 e o B3, sendo este último o que suportou o menor valor de tensão entre os 03, o compósito B3 apresentou uma maior deformação se comparado aos demais.

Isso ocorre devido ao tempo de aquecimento que cada amostra de pó levou para ficar pronta, pois com o processo de “calcinação artesanal” realizado neste estudo o carbonato de cálcio ($CaCO_3$) presente na composição do pó de concha sofreu decomposição térmica, levando a formação de óxido de cálcio (CaO) e dióxido de carbono (CO_2):



como o processo foi artesanal em função da pandemia, não se pode ter controle técnico eficaz a respeito das temperaturas padrões, porém os resultados demonstraram a presença do sal e do óxido como apresentado nos dados de FRX do B2 e para o Pó puro (itens 5.3, pág. 75-76).

O carbonato de cálcio ($CaCO_3$) também conhecido por calcita, é um material de dureza igual a 03 na escala de Mohs (KING, 2015). O Corpo de prova (CP) B3 apresentou uma menor tensão máxima possivelmente porque em sua composição há

uma maior porcentagem de óxido de cálcio (CaO), tendo em vista que o mesmo foi produzido com o pó que passou pelo maior tempo de aquecimento e consequentemente deve ter sofrido uma maior decomposição térmica, se comparado aos CP B1 e B2,

Para o B1 a calcinação por 04h não demonstrou alterações significativas com relação a capacidade do corpo de prova suportar maiores valores de tensão, mas o pó aquecido por 08h usado na composição de B2, demonstra uma melhora significativa em relação a capacidade do CP B1 e B3.

5.2.3 Compósitos C

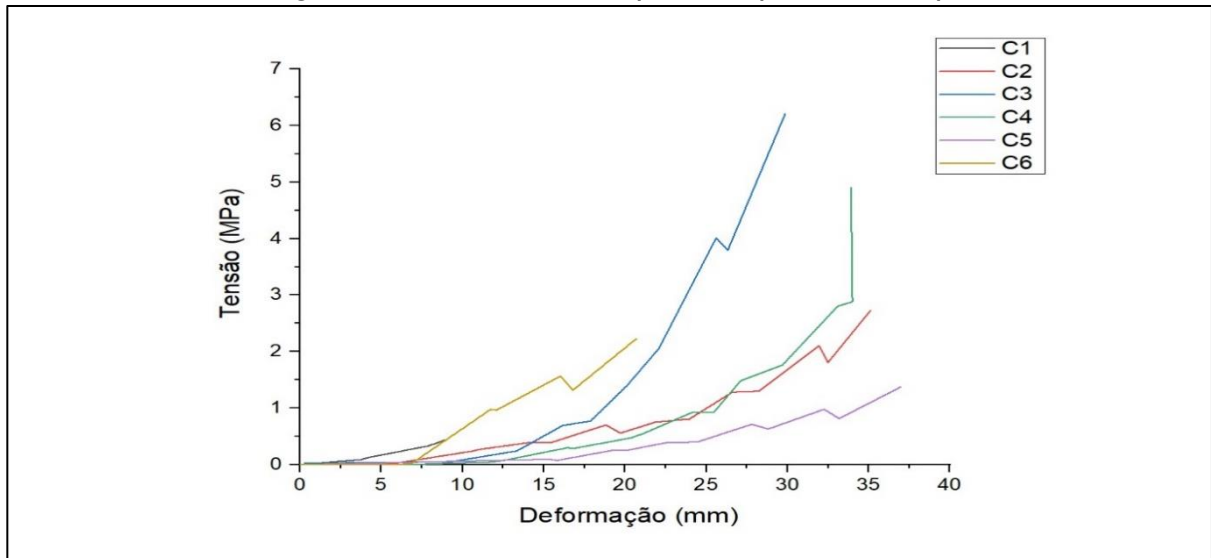
A partir do ensaio de compressão, obteve-se o gráfico geral de Tensão x Deformação (GRÁFICO 5) para os compósitos C. Na tabela 8 estão descritos os principais eventos que ocorreram ao longo do ensaio de compressão.

Tabela 8 – Eventos do ensaio de compressão dos compósitos C.

TIPO	1º Evento	Quebra total do CP
C1	F =	F = 0,43325
	0,08772	MPa
	MPa	P = 8,873
	P = 3,741	mm
	mm	
C2	F =	F = 2,7275
	0,01540	MPa
	MPa	P = 35,113
	P = 3,875	mm
	mm	

C3	F = 0,00467 MPa P = 3,991 mm	F = 6,2125 MPa P = 29,862 mm
C4	F = 0,00787 MPa P = 7,658 mm	F = 4,9050 MPa P = 37,904 mm
C5	F = 0,03637 MPa P = 6,033 mm	F = 1,3725 MPa P = 36,964 mm
C6	F = 0,00465 MPa P = 6,199 mm	F = 2,2265 MPa P = 20,696 mm

Gráfico 5 – Gráfico geral do Ensaio de Compressão para os compósitos C.

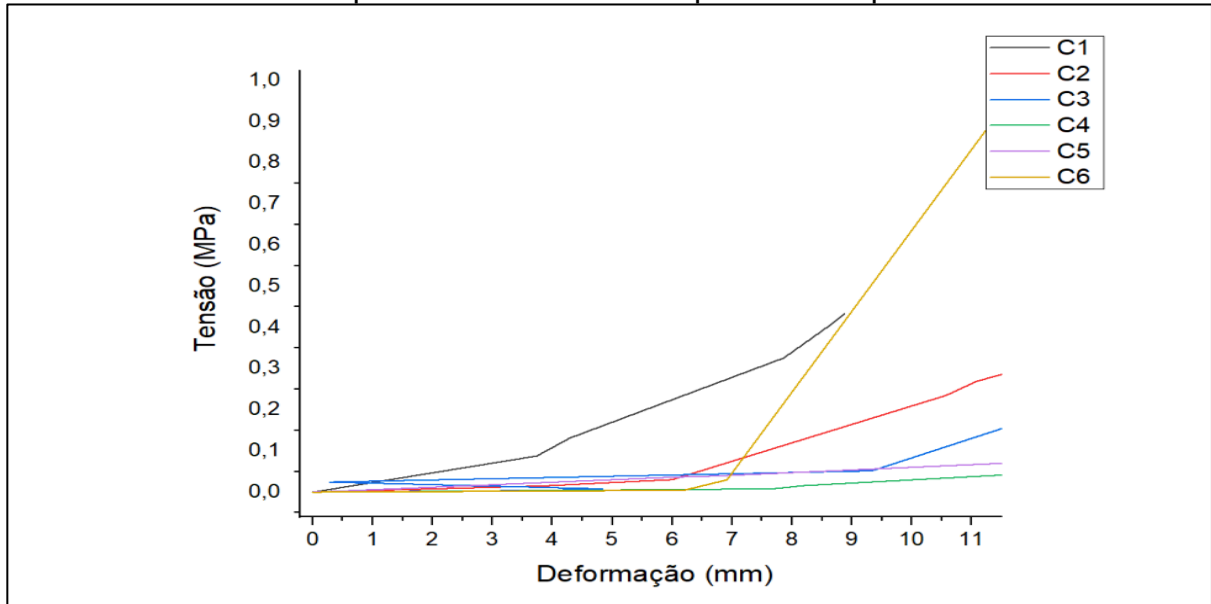


Fonte: Autoria própria (2022).

O gráfico demonstra os eventos que ocorreram com os corpos de prova C1, C2, C3, C4, C5 e C6 à medida que a força exercida sobre cada material foi aumentando em relação a deformação durante o ensaio de compressão.

O zoom no gráfico geral permite a visualização dos principais eventos para cada um dos compósitos C (Gráfico 6).

Gráfico 6 – Gráfico dos pontos em cada evento para os compósitos C.



Fonte: Autoria própria (2022).

O zoom no gráfico geral permite a visualização dos principais eventos para cada um dos compósitos C.

Para o compósito C1, durante o primeiro evento na posição 3,741 (mm) com a aplicação de força em 0,08772 (MPa) o corpo de prova trinca, mas continua suportando a força aplicada, no segundo evento na posição 7,863 (mm) com a aplicação de uma força de 0,32600 (MPa) o corpo de prova quebra, com a aplicação continua de força o cisalhamento total ocorre no terceiro evento na posição 8,873 (mm) com uma força aplicada de 0,43325 (MPa).

Para o compósito C2, durante o primeiro evento na posição 3,875 (mm) com a aplicação de força em 0,01540 (MPa) o corpo de prova trinca, mas continua suportando a força aplicada, no segundo evento na posição 10,574 (mm) com a aplicação de força de 0,23500 (MPa) o corpo de prova quebra, com a aplicação continua de força, vários eventos ocorrem quebrando o corpo de prova, mas o seu cisalhamento total ocorre na posição 35,113 (mm) com uma força de 2,7275 (MPa).

Para o compósito C3, durante o primeiro evento na posição 3,991 (mm) com a aplicação de força em 0,00467 (MPa) o corpo de prova trinca, mas continua suportando a força aplicada, no segundo evento na posição 0,282 (mm) com a aplicação de força de 0,02447 (MPa) o corpo de prova trinca novamente, no terceiro evento na posição 13,281 (mm) com a aplicação de força de 0,23862 (MPa) o corpo de prova quebra, com a aplicação continua de força, vários eventos ocorrem quebrando o corpo de prova, mas o seu cisalhamento total ocorre na posição 29,862 (mm) com uma força de 6,2125 (MPa).

Para o compósito C4, durante o primeiro evento na posição 7,658 (mm) com a aplicação de força em 0,00787 (MPa) o corpo de prova trinca, mas continua suportando a força aplicada, no segundo evento na posição 11,741 (mm) com a aplicação de força de 0,04345 (MPa) o corpo de prova quebra, com a aplicação continua de força, vários eventos ocorrem quebrando o corpo de prova, mas o seu cisalhamento total ocorre na posição 37,904 (mm) com uma força de 4,9050 (MPa).

Para o compósito C5, durante o primeiro evento na posição 6,033 (mm) com a aplicação de força em 0,03637 (MPa) o corpo de prova trinca, mas continua suportando a força aplicada, no segundo evento na posição 15,302 (mm) com a aplicação de força de 0,09460 (MPa) o corpo de prova quebra, com a aplicação continua de força, vários eventos ocorrem quebrando o corpo de prova, mas o seu cisalhamento total ocorre na posição 36,964 (mm) com uma força de 1,3725 (MPa).

Para o compósito C6, durante o primeiro evento na posição 6,199 (mm) com a aplicação de força em 0,00465 (MPa) o corpo de prova quebra, com a aplicação

continua de força, vários eventos ocorrem quebrando o corpo de prova, mas o seu cisalhamento total ocorre na posição 20,696 (mm) com uma força de 2,2265(MPa).

Analisando o primeiro evento de cada compósito demonstrado nas 06 curvas através do zoom no gráfico geral, nota-se que o compósito C1 foi o que apresentou no primeiro evento maior capacidade de suportar a aplicação de força sobre o corpo de prova, resultando também em uma menor deformação se comparado aos primeiros eventos dos demais, seguindo a ordem de deformação do primeiro evento, tem-se do maior para o menor; C1> C5 > C2> C4 e C3~ C6 são bem próximos porém o C6 deforma mais no primeiro evento comparando-o ao C3.

Observando-se o gráfico geral de curvas para cada um dos compósitos, notou-se que o C1 é o que apresenta menor tensão máxima e deformação se comparado aos demais, já o C6 possui uma menor deformação se comparado a C2, C3, C4 e C5 e suporta mais tensão do que o C1 e o C5.

A ordem de resistência a uma força aplicada sobre sua superfície para todos os compósitos C, do maior para o menor fica: C3> C4> C2> C6> C5> C1. Ressalta-se que com a adição de carga enxertada na matriz padrão utilizada para produzir estes compósitos, aumenta a tensão máxima e a deformação, porém é preciso manter um equilíbrio entre as quantidades usadas na matriz e na carga durante a produção de cada compósito, pois o excesso de carga na matriz pode acarretar na diminuição da tensão máxima, como ocorre nos compósitos C6 e C5.

5.3 ESPECTROMETRIA DE FLUORESCENCIA DE RAIOS-X (FRX)

Para a espectrometria de fluorescência de Raios-X (FRX) foram feitas 03 análises utilizando o Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por energia dispersiva de bancada da PANalytical modelo Epsilon 3 XL.

5.3.1 pó das conchas (puro)

Figura 49 – Pó das conchas (FRX).

A	B	C	D	E	F	G
Compound	Conc	Unit		Compound	Conc	Unit
Cl	0,12	%		Cl	981,3	ppm
Ca	98,953	%		CaO	99,107	%
Fe	0,468	%		Fe2O3	0,44	%
Sr	0,459	%		SrO	0,355	%

Fonte: Autoria própria (2022).

Pode-se verificar através dos dados para a amostra de Pó das conchas sem aquecimento, a quantificação de porcentagem em peso dos elementos presentes na amostra (FIGURA 49). Dessa forma na coluna A, o valor para a presença de Cálcio (Ca) na amostra é de 98,953%, já para os elementos os valores são: Cloro (Cl) = 0,12%, Ferro (Fe) = 0,468%, Estrôncio (Sr) = 0,459%. Na coluna E, observa-se a presença de um traço do elemento Cloro (Cl) = 981,3 ppm e para as moléculas os valores em porcentagem são: Óxido de cálcio (CaO) = 99,107%, Óxido de ferro (III) (Fe_2O_3) = 0,44% e Óxido de estrôncio = 0,355%, nota-se que não há presença dos elementos Cobre (Cu) e Antimônio (Sb) nesta amostra.

5.3.2 Compósito B2

Figura 50 – Compósito B2 (FRX)

A	B	C	D	E	F	G
Compound	Conc	Unit		Compound	Conc	Unit
Ca	94,814	%		CaO	95,374	%
Fe	3,401	%		Fe ₂ O ₃	3,227	%
Sr	1,123	%		SrO	0,874	%
Sb	0,662	%		Sb ₂ O ₃	0,525	%

Fonte: Autoria própria (2022).

Para a amostra de B2 (FIGURA 50) verifica-se uma porcentagem para o elemento Cálcio (Ca) de = 94,814%, para os demais elementos os valores são: Ferro (Fe) = 3,401%, Estrôncio (Sr) = 1,123%, Antimônio = 0,662%, para as moléculas o valor em porcentagem são: Óxido de cálcio (CaO) = 95,374%, Óxido de ferro (III) (Fe_2O_3) = 3,227%, Óxido de estrôncio = 0,874% e Trióxido de antimônio = 0,525%, nota-se a ausência de Cloro (Cl) na composição.

5.3.3- Compósito C1

Figura 51 – Compósito C1 (FRX)

A	B	C	D	E	F	G
Compound	Conc	Unit		Compound	Conc	Unit
Ca	89,535	%		CaO	90,424	%
Fe	7,807	%		Fe ₂ O ₃	7,472	%
Cu	0,194	%		CuO	0,161	%
Sr	1,202	%		SrO	0,94	%
Sb	1,262	%		Sb ₂ O ₃	1,003	%

Fonte: Autoria própria (2022).

Para a amostra de C1 (FIGURA 51) verifica-se uma porcentagem para o elemento Cálcio (Ca) de = 89,535%, para os demais elementos os valores são: Ferro (Fe) = 7,807%, Estrôncio (Sr) = 1,202%, Antimônio = 1,262%, para as moléculas o valor em porcentagem são: Óxido de cálcio (CaO) = 90,424%, Óxido de ferro (III) (Fe_2O_3) = 37,472%, Óxido de estrôncio = 0,94% e Trióxido de antimônio = 1,003%, nota-se a ausência de Cloro (Cl) na sua composição. Na Tabela 9 está sendo descrita a comparação geral entre as amostras.

Tabela 9 – Dados gerais da FRX (Pó das conchas, B2 e C1)

Compostos	Pó da concha	Compósito B2	Compósito C1
Cl	0, 12%	----	----
Ca	98,953%	94,814%	89,535%
Fe	0,468%	3,401%	7,807%
Sr	0,459%	1,123%	1,202%
Sb	----	0,662%	1,262%
Cu	----	----	0,194%

Fonte: Autoria própria (2022).

A amostra 1, constituída apenas pelo pó das conchas possui a maior concentração em porcentagem para o elemento Cálcio e seu óxido, também se

observa a presença do elemento Cloro em porcentagem e em traço, apenas neste material.

Para o compósito B2 que foi fabricado com o aquecimento prévio do pó de concha, nota-se uma pequena variação nas porcentagens de Cálcio e do Óxido de cálcio, comparando-as com as porcentagens dos demais, onde para o pó os valores são: (Cálcio = 98,953% e Óxido de cálcio = 99,107%), para o C1 (Cálcio = 89,535% e Óxido de cálcio = 94,424%).

Comparando as composições dos compósitos B e C, nota-se que o compósito C1 feito com o pó de conchas sem alterações térmicas, apresenta uma menor porcentagem do elemento Cálcio (89,535%) e consequentemente uma menor porcentagem de Óxido de cálcio (94,424%), o que pode ter sido ocasionado pela variação da quantidade de pó usada em sua fabricação, ressaltando-se que dentre as 03 amostras analisadas, ele foi o único que apresentou em sua composição a presença do elemento Cobre (Cu) = 0,194% e do Óxido de cobre (CuO) = 0,161%, Sendo que este deve ser melhor avaliado as causas, se ocorre do sinergismo do material ou se foi algum contaminante.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A exploração artesanal de quebra manual dos corpos de provas torna-se um método de análise visual de grande interesse, tendo em vista que através dele é possível notar detalhes intrínsecos de cada produto, além disso o mesmo possibilita a coleta de dados qualitativos pelo pesquisador.

A produção artesanal é possível, mas nota-se que exige um maior cuidado com relação aos materiais utilizados, pois as normas para a exploração dos mesmos são diferentes para cada tipo de material.

Manter as medidas padronizadas para cada tipo de produto também é de grande importância assim como o polimento dos corpos de prova e a produção dos mesmos de acordo com o tipo de ensaio a ser realizado.

O método de sanduíche é ineficaz para os materiais utilizados na pesquisa, se comparado ao método de enxerto, pois durante o processo de produção, obteve-se diferenças significativas entre ambos.

É importante ressaltar que durante a produção, descobriu-se que a aceleração da fusão do Polietileno de Tereftalato – PET usando como fonte de calor o fogão a gás, pode tornar o produto formado extremamente quebradiço, devido a isso um cuidado acerca das temperaturas de produção é de extrema importância.

A adição de óleo de fritura a produção do compósito A, diminuiu a capacidade do material de aguentar valores de tensões consideráveis, tendo em vista que ele quebrou com um valor bem baixo de força aplicada sobre a superfície, além disso o material demonstrou pouquíssima deformação.

A calcinação caseira do pó de conchas, mesmo sem um controle de temperatura padronizado, proporcionou a descoberta que o pó aquecido por 08 horas faz com que o produto resista a maiores valores gerais de tensão se comparado a B1 e B3, que foram aquecidos a 4 e 12 horas, respectivamente.

A produção de produtos C onde a quantidade de matriz (polietileno de tereftalato) foi fixa, mas o reforço (pó da concha) variável, demonstrou que é necessário que ocorra um equilíbrio entre os materiais, portanto as medidas para a fabricação devem ter um padrão de acordo com o que o estudo visa compreender, nesta pesquisa, concluiu-se que para a quantidade de PET estabelecida o valor máximo de reforço é de uma colher.

A produção industrial do PET por polimerização no estado sólido (SSP) ocorre a 220-230 °C por um período entre 10 e 30 horas, comparando ao tempo de preparo dos compósitos neste estudo (30 minutos por produto), verificou-se que a reciclagem do PET é economicamente viável por ser um processo rápido.

O presente estudo servirá de base para aplicações dentro de linhas de pesquisa similares na área de sustentabilidade, proporcionando um modo de produção norteador para a inserção de novos compósitos.

REFERÊNCIAS

ASTM E9 - **American Society for Testing and Materials**. (2000) Standard Test Methods of Compression Testing of Metallic Materials at Room Temperature.

ASTM D638M - **American Society for Testing and Materials**. (1998) Standard Method for Tensile Properties of Plastics.

ASTM D790 - **American Society for Testing and Materials**. (1998) Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials.

ASTM D256 - **American Society for Testing and Materials**. (1998) Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics.

ASTM D256 - **American Society for Testing and Materials**. (1998) Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics.

AKCELRUD, L. **Fundamentos da ciência dos polímeros**. 1ª ed. São Paulo: Manole, 2007.

ALEXANDRE T. L.; BUENO, M. I. M. S. **Classification of some species, genera and families of plants by x-ray spectrometry**. X-ray spectrometry, v. 35, n.4, p. 257- 260, 2006.

BEZERRA T. U et al., Production Of Filler Aggregate From Waste Of Bivalves Molluscs Shells. **Journal of Civil Engineering and Architecture**, Issn 1934-7359, USA, 2011. Volume 5: p. pp 363-367.

BODIG J.; JAYNE, B. A. **Mechanics of Wood and Wood Composites**. Krieger Publ. Comp. Malabar, 1993.

BOEIRA, Prof. Dr. Alexandre Pitol., BECK, Prof. Ms. Daniel, **Tecnologia dos Materiais**, pág.; 07, RS-Passo Fundo, outubro, 2007.

BROWN, David T. **The Legacy of the Landfill**: Perspectives on the solid crisis. In: MUSTAFA, Nabil (ed.). **Plastics Waste Management: disposal, recycling, and reuse**. New York: Marcel Dekker, 1993. p.1-35.

CALLISTER Jr., WILLIAM D., **Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução**, 1ª ed., Rio de Janeiro, LTC, 2002, p.359.

CALLISTER, W. D. Jr. **Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais – Uma Abordagem Integrada**. LTC – Livros Técnicos e Científicos, Editora S.A., Rio de Janeiro, 2006.

CALLISTER Jr., WILLIAM D., **Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução**, 9ª ed., Rio de Janeiro, LTC, p.33(2016).

CANEVAROLO Jr, S.V. **Técnicas de Caracterização de Polímeros**. São Paulo: Artliber, 2004.

CANEVAROLO Jr, Sebastião Vicente. **Ciência dos Polímeros**. Artliber Editora Ltda, São Carlos, 2004.

CHUA, C. K., WONG, C. H., & YEONG, W. Y. **Benchmarking for Additive Manufacturing**. Standards, Quality Control, and Measurement Sciences in 3D Printing and Additive Manufacturing, 2017.

DIAS NETO, J.; DORNELLES, L. D. C. **Diagnóstico da pesca marítima do Brasil**. Brasília, DF: IBAMA, 1996. p.163. (IBAMA. Coleção Meio Ambiente. Série Estudos Pesca, 20).

DE PAOLI, M-A. - **“Degradação e Estabilização de Polímeros”**, p.2,31-33 e 162 (2008). Disponível em: <http://www.chemkeys>. Acesso em: 15 julho 2019.

Ensaio de compressão para a) material dúctil e b) material frágil. Disponível em: <https://biopdi.com.br/artigos/ensaio-de-compressao>. Acesso em: 20 janeiro 2022.

FERREIRA, J. F. Dr., MAGALHÃES, A. R. M. Dr., **Cultivo de mexilhões**, Laboratório de cultivo de moluscos marinhos- CCA-UFSC, Florianópolis- SC., 1995.

FULGÊNCIO, E. B. G. A. et al. **Estudo do Aproveitamento de Conchas de Mariscos Visando a Incorporação em Massa de Porcelanato**. Cerâmica 64 (2018) 381-387.

GAY, D., (1991) **Matériaux Composites**, Editions Hermes Paris, France.

GIBSON, R, F., 1994, **Principles of Composite Material Mechanics**. 1º edição, New York, McGraw-Hill International Editions.

HULL, D. **An Introduction to Composite Materials**, Cambridge Univ. Press. Cambridge, UK, ed.1, 1981.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Industrial and environmental applications of nuclear analytical techniques**. Vienna: IAEA, 1999.

KING, Hobart. Mohs Hardness Scale **A rapid hardness test for field and classroom use**. Disponível em: <https://geology.com/minerals/mohs-hardness-scale.shtml>. Acesso em: 31 janeiro 2021.

MACDONALD, W. A. - **Polym**. Int. 51, p.923 (2002).

MANCINI, S. D.; MATOS, I. G. & ALMEIDA, R. F. - **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, 14, p. 69 (2004).

MANRICH, S. **Processamento de Termoplásticos**. Artliber Editora Ltda, São Paulo, 2005.

MELO JÚNIOR, A. S. **Análise quantitativa do material particulado na região de campinas através das técnicas de microfluorescência de raios-X e reflexão total usando radiação síncrotron.** Tese (Doutorado em Química) - Unicamp, Campinas, São Paulo, 2007.

MIRANDA DANIEL., MELLO MATHEUS., ZOGAIB PAULO, **BOLETIM DE INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE.**, BISUS 2018 – Vol. 2., PLÁSTICOS BIODEGRADÁVEIS, SÃO PAULO, p.7 (2018).

MYERS, R. L. **The 100 most important chemical compounds:** a reference guide. Westport, CT: Greenwood Publishing Group, 2007.

Nações Unidas do Brasil – UNCT. Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. Disponível em: <https://pt.unesco.org/news/sociedade-e-convocada-construir-diretrizes-decada-do-oceano-no-brasil> . Acesso em: 29 Janeiro 2022.

NAVARRO, R. F. **A Evolução dos Materiais.** Parte1: da Pré-história ao Início da Era Moderna., Revista Eletrônica de Materiais e Processos.,Campina Grande-PB, 2006.

NISHIDA, Alberto; NORDI, Nivaldo; ALVES, Rômulo. Abordagem Etnoecológica Da Coleta De Moluscos No Litoral Parnaibano. **Tropical Oceanography**, Recife, v.32, n.1, p.53-68,2004.

OLIVEIRA, A. J. D. **Caracterização mecânica e reológica de polipropileno reciclado para a indústria automotiva.** Trabalho de Mestrado em Engenharia Mecânica da Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2006. Disponível em: http://www.biblioteca.pucpr.br/tede/tde_arquivos/11/TDE20061130T074524Z-464/Publico/Antonio%20Eng%20Mecanica.pdf. Acesso em: 15 março 2020.

OLSON, GB. **Calphad.** Vol.25., pag.175-190 (2001).

PIATTI, Tania Maria., RODRIGUES, Reinaldo Augusto., **Série: Conversando sobre Ciências em Alagoas, Plásticos:** características, usos, produção e impactos ambientais, Maceió/AL, 2005

PINTO, J. L. T., **Compêndio de Resistência dos Materiais.** 1º edição, Universidade do Vale do Paraíba, 200.

Pó, R.; Occhiello, E.; Giannotta, G.; Pelosini, L. & Abis L. - **Polym. Adv. Technol.**, 7, p.365 (1996).

RODA, D. T. **Poli (tereftalato de etileno- PET).** Tudo sobre plásticos, São Paulo, 2015.

RUSSEL-HUNTER, W.D. **Overview:** planetary distribution of and ecological constraints upon the Mollusca. In: HUSSELL-HUNTER, W.D. ed The Mollusca, v.6, Ecology. Acad. Press, London, p. 1 – 27, 1983.

SHELDON, R. P., **Composite Polymeric Materials**, ed.1, Applied Sci. Pub., England, 1982.

Shrivastava, A. **Plastic Properties and Testing**. Introduction to Plastics Engineering, 2018.

SPINACÉ, M. A. - “**Poli (tereftalato de etileno)**: reprocessamento por extrusão e metodologias de caracterização”, Teste de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Brasil, (2000).

SPINACÉ, M. A. & De Paoli, M-A - J. Appl. **Polym. Sci.**, 78 p.20 (2001).

STORER, T. I., et al. **Zoologia geral**. 6. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2003

SKOOG, D.A.; HOLLER, F.J.; NIEMAN, T. A. **Princípios de Análise Instrumental**, 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, p. 31-36; p. 317-342, 2009.

Trituração das conchas feitas na associação.

Disponível em:

<https://globoplay.globo.com/v/7252691/?fbclid=IwAR3ymw2aHE8WRK5ZXXPhFqrZibT6P-2TZMna0M4UFkmBkvTQaFe7VEduydg>. Acesso em 07 dezembro 2021.

UNESCO. Sociedade é convocada a construir diretrizes para a Década do Oceano no Brasil. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 29 janeiro 2022.

ZHI-LIAN, T.; GAO, Q.; NAN-ZUN, H. & SIRONI, C. - J. **Appl. Polym. Sci.** 57, p.473 (1995).