



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**Análise superficial do compósito PEUAPM/Quasicristal**

GESSYANE PEREIRA BARBOSA

João Pessoa – PB  
2018

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

B238a Barbosa, Gessyane Pereira.

Análise superficial do compósito PEUAPM/Quasicristal /  
Gessyane Pereira Barbosa. - João Pessoa, 2019.  
52 f. : il.

Orientação: Tibério Andrade dos Passos Passos.  
Monografia (Graduação) - UFPB/Tecnologia.

1. Polietileno de ultra alto peso molecular ( PEUAPM) .  
2. Quasicristal. 3. Compósito. I. Passos, Tibério  
Andrade dos Passos. II. Título.

UFPB/BC

Gessyane Pereira Barbosa

*Análise superficial do compósito PEUAPM/Quasicristal*

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação de Engenharia de Materiais, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, para apreciação da banca examinadora como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof.<sup>o</sup> Dr. Tibério Andrade dos Passos

João Pessoa – PB  
2019

Gessyane Pereira Barbosa

**ANÁLISE SUPERFICIAL DO COMPÓSITO  
PEUAPM/QUASICRISTAL**

Data de defesa: 10 de maio de 2019

Período: 2018.2

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora:



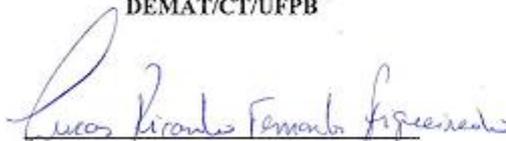
Prof. Dr. Tibério Andrade dos Passos

DEMAT/CT/UFPB



Prof. Dr. Lucineide Balbino da Silva

DEMAT/CT/UFPB



Dr. Lucas Ricardo Fernandes Figueiredo

Avaliador externo

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus sem Ele nada disso seria possível, nada! Aos meus pais que sempre estiveram ao meu lado me apoiando em cada decisão, que se fizeram presente nos momentos mais difíceis dessa jornada, que me ensinaram a ser a pessoa que sou hoje, minha infinita gratidão!

Aos meus irmãos, Nonato, Tatiana, Lidiane, Roniery, Lusitânia e Polyana que foram peças essenciais para eu chegar até aqui, me ajudando a cada dificuldade e torcendo por mim, estiveram sempre presentes nos momentos mais difíceis e felizes da minha vida, amo vocês!

À minha tia Zé (in memoriam) que foi uma das pessoas essenciais na formação do meu caráter, que acompanhou minha luta até pouco tempo atrás, que sempre acreditou em mim, e que sempre esperou o melhor de mim, e agora olha pra mim lá de cima, obrigada tia, por tudo!

Aos amigos que fiz durante esses anos e que acompanharam de perto a luta, e lutaram juntos, Olívia, Ananda, Ana Amélia, Matheus, Ayane, vocês tiveram papel fundamental para eu chegar até aqui, muito obrigada!

Aos amigos que fiz fora e antes da faculdade, Sara, Renan, Bruna, obrigada por sempre acreditarem em mim, amo vocês!!

Aos meus professores do departamento de materiais, que contribuíram para minha formação, em especial a professora Lucineide, que acompanhou de perto minha trajetória acadêmica contribuindo para meu crescimento profissional, obrigada professora lhe serei sempre grata.

E ao meu orientador, professor orientador Tibério, pela paciência, e por toda ajuda, tenho imensa admiração pelo profissional que o senhor é, obrigada por tudo.

Enfim agradeço a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para esse momento na minha vida.

À todos meu muito obrigada!

## RESUMO

A necessidade de criar novos materiais que atendessem às obrigações da sociedade moderna, fez com que surgissem estudos para solução na melhoria das propriedades dos materiais e entre eles estão os compósitos, que nada mais é que uma junção de dois ou mais materiais distintos que juntos somam propriedades mecânicas, químicas, térmicas entre outras. Neste trabalho foi utilizado a liga quasicristalina de AlCuFe como reforço, os compósitos foram confeccionados através da mistura de uma matriz polimérica de Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular com as cargas metálicas de quasicristal, em frações volumétricas de 1%, 2%, 5% e 10% em volume de carga quasicristalina. Os corpos de provas foram moldados em uma prensa hidráulica, em seguida os corpos de provas foram resfriados e desmoldados. Foram feitas análises microestruturais de Difractometria de raio X (DRX) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e análise superficial por molhabilidade. As análises de DRX comprovaram as fases cristalinas, a microscopia eletrônica de varredura, fez uma leitura da superfície do PEUAPM, e dos compósitos com frações de volume de 1%, 2%, 5% e 10% de quasicristal, mostrando que o material apresentou bastante porosidade. Foram feitas as medições dos ângulos de contato dos líquidos através do ensaio de molhabilidade e os líquidos utilizados para o teste foram a água destilada, água salina e óleo de motor, com a superfície sólida dos compósitos e PEUAPM puro, mostrando que houve uma característica hidrofílica tanto no PEUAPM puro quanto nas quatro composições dos compósitos.

**Palavras-chaves:** compósitos, quasicristal, cargas particuladas.

## ABSTRACT

The need to create new materials that would satisfy the demands of modern society led research to develop on the improvement of material properties, among those are composites, which are the combination of two or more different materials, that together add mechanical, chemical, thermal and other properties. Composite materials are made up of a matrix and a reinforcement, matrices can be ceramic, polymeric or metallic, an example of reinforcement are particulate fillers, such as the quasicrystal metal fillers of AlCuFe used in this work, where composites were made by mixing a polymeric matrix of Polyethylene of Ultra High Molecular Weight with the metallic fillers of the quasicrystal, in volumetric fractions of 1%, 2%, 5% and 10% in volume of quasicrystal fillers. The specimens were cast in a MARCONI hydraulic pressure at a temperature of 200 ° C to 12 tonnes for 20 minutes, and then the bodies were cooled and demolded. The X-ray diffractometry (XRD) and Scanning Electron Microscopy (SEM) microstructures and the surface moisture analysis were included. The XRD analyzes proved to be crystalline phases of the materials, a scanning electron microscopy, made a reading of the surface of the material showing that the material presented a good porosity. Distilled water, salt water and motor oil, with a continuous surface of composites and pure PEUAPM, showing the action once hydrophysics, does not have pure PEUAPM, as in the four compositions of the composites.

**Key words:** composites, quasicrystal, particulate fillers

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Poliedros a) dodecaedral, b) octagonal, c) icosaedral e d) triacontaedral (VIANA,2009) .....	15
Figura 2 – Exemplos de organização das estruturas de cristais e quasicristal.....	16
Figura 3 – Sobre o padrão de difração, estão assinalados os círculos concêntricos contendo 10 pontos cada um e figuras com simetria de ordem 5 (CARACELLI, 2011).....	17
Figura 4 – Dados estatísticos sobre fases conhecidas dos quasicristais (VIANA, 2009).....	18
Figura 5 – A parte rica em alumínio do diagrama constitucional de alumínio-cobre-ferro (BRADLEY e GOLDSCHIMIDT, 1939). Os círculos brancos mostram as áreas de fase única, os círculos pretos e brancos indicam as áreas de duas fases e os círculos pretos expressam a presença simultânea de três fases (HUTTUNEN-SAARIVIRTA, 2004).....	20
Figura 6 – Classificação dos materiais compósitos (CALLISTER, 2002).....	23
Figura 7 – Reação de um monômero formando o polietileno.....	26
Figura 8 – Tipos de ramificações do PELBD e do PEBD.....	29
Figura 9 – Fluxograma do procedimento.....	33
Figura 10 – Representação do equilíbrio de forças de uma gota de líquido sobre uma superfície sólida.....	38
Figura 11 – Representação do ângulo de contato. a) Maior que 90° b) menos que 90° c) Espalhamento total.....	39
Figura 12 – DRX das composições 1,2,5 e 10% de QC dos compósitos e o PEUAPM puro.....	40
Figura 13 – Análises de DRX para o PEUAPM e os compósitos de PEUAPM/Quasicristal com os teores de 1%, 2%, 5% e 10%.....	41
Figura 14 – Gráfico dos ângulos de contato x fração volumétrica.....	43
Figura 15 – a) PEUAPM puro, b) Compósito PEUAPM/QC com teor de 1% em quasicristal, c) Compósito de PEUAPM/QC com teor de 2% de quasicristal, d) Compósito de PEUAPM/QC com teor de 5% de quasicristal, e) Compósito de PEUAPM/QC com 10%.....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exemplos de ligas quasicristalinas com simetrias icosaedral, octagonal, decagonal e dodecagonal (HUTTUNEN-SAARIVIRTA, 2004).....	19
Tabela 2 – Formulações dos compósitos PEUAPM/QC em fração de volume .....	35
Tabela 3 – Molhabilidade de um sólido .....	38
Tabela 4- Imagens das gotas dos líquidos, água destilada, óleo de motor e água salina sob a superfície do PEUAPM e os compósitos com 1%, 2%, 5% e 10% em volume de quasicristal.....	42

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	V
RESUMO.....	VI
ABSTRACT .....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE TABELAS.....	IX
1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 OBJETIVOS .....	12
1.1.1 Objetivos gerais .....	12
1.1.2 Objetivos específicos .....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	13
2.1 Quasicristal .....	13
2.1.1 Descoberta do quasicristal .....	13
2.1.2 Ligas quasicristalinas AlCuFe .....	20
2.1.3 Aplicações dos Quasicristais .....	21
2.2 Materiais Compósitos.....	22
2.3 Fatores que afetam as propriedades dos compósitos.....	24
2.3.1 Interface entre o reforço e a matriz .....	24
2.3.2 Tamanho das partículas.....	24
2.4 Compósitos de matriz polimérica.....	25
2.5 Polietileno.....	26
2.5.1 Propriedades e aplicações dos 5 tipos de polietileno .....	27
2.6 Polietileno de Ultra alto Peso molecular (PEUAPM) .....	30
3 METODOLOGIA.....	32
3.1 Materiais.....	32
3.2 Métodos.....	33
3.2.1 Obtenção da liga quasicristalina.....	34
3.2.2 Obtenção dos compósitos .....	34
3.2.3 Confeção dos corpos de provas .....	35
3.2.4 Caracterização dos compósitos .....	35
3.2.5 Análise superficial através da molhabilidade .....	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
4.1 Difractometria de raios X (DRX) .....	39
4.2 Molhabilidade.....	41

4.3 Microscopia Eletrônica de Varredura .....	43
5 CONCLUSÕES .....	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

## 1 INTRODUÇÃO

Com o avanço da tecnologia, houve uma necessidade de melhora nas propriedades exigidas aos materiais convencionais, que conseqüentemente sofreram alterações químicas e estruturais, no intuito da criação de uma nova classe de produtos de engenharia, com capacidade de atender aos requisitos às diversas aplicações, dessa necessidade surgiram os materiais compósitos (VENTURA, 2009). A combinação de materiais metálicos, poliméricos ou cerâmicos criam uma possibilidade de adequação de propriedades nos materiais, e faz com que o compósito se torne um atrativo tecnológico e comercial crescente, o resultado vem junto a propriedades físicas, químicas e mecânicas melhoradas, sabendo-se que uma das características do compósito é beneficiar o material final com a junção das propriedades de cada material que o compõe.

O compósito é composto por um elemento chamado matriz e os demais constituintes são chamados de reforço. Os materiais compósitos estão divididos em compósitos naturais, que tem sua origem na natureza não havendo qualquer intervenção em sua produção e os sintéticos, que são produzidos através da atividade humana (GOMES, 2015).

A função básica da matriz nos materiais compósitos é de exercer o papel de transferir ou distribuir cargas para o reforço através do cisalhamento, como também proteger o próprio reforço da abrasão mútua, a maioria dos processos degradativos que causam a falha da estrutura, incluindo os danos de impacto, ataques químicos, resistência à corrosão e oxidação, danos estes provocados por agentes externos, evitando assim a degradação prematura do mesmo (LION, 2013).

Pode-se observar o quanto o mercado de materiais compósitos vem sendo cada vez mais difundidos, e estudos mostram que o maior mercado continua sendo o dos transportes (31%), construção civil (19,7%), marinha (12,4%), equipamento elétrico (9,9%), produtos de consumo (5,8%), entre outros. O mercado aeroespacial e de aeronaves representa apenas 0,8 % o que é surpreendente tendo em conta a sua importância na origem dos compósitos. Estes novos materiais têm tido uma notável expansão pelo que estão a conquistar grande

quota de mercado, especialmente em produtos onde o rendimento e desempenho são fundamentais (VENTURA, 2009).

A variedade de materiais disponíveis para uso em engenharia é extraordinariamente grande, atendendo às mais diversas aplicações do mercado. Dentro desse contexto, os compósitos poliméricos apresentam-se como um caso de reconhecido interesse em materiais não convencionais de engenharia (MARSHALL, 1987; COSTA, 2002).

A mudança das características físicas de um material compósito está diretamente relacionada ao tipo e quantidades relativas dos constituintes utilizados, podendo-se então, modificar os valores de densidade, melhorar as propriedades mecânica, térmica e elétrica simplesmente alterando-se as proporções dos materiais misturados (BARROSO, 2009).

O uso de materiais poliméricos como matrizes em compósitos é bastante utilizado por causa de suas propriedades e fácil fabricação. E o polietileno de ultra alto peso molecular (PEUAPM) é um exemplo de polímero utilizado como matriz, por possuir propriedades físicas e mecânicas diferenciadas, como inércia química, baixo coeficiente de atrito, alta resistência ao impacto e resistência a abrasão. Mais de 90% da produção mundial de PEUAPM é voltada para aplicações industriais nos dias de hoje. Ao longo dos anos vem havendo um crescimento de mais de 600% em sua utilização em vários ramos industriais apresentando uma grande versatilidade para diversas aplicações. A escolha da matriz polimérica dependerá das propriedades físicas, mecânicas e térmicas exigidas para uma determinada aplicação, como também do processo de fabricação escolhido e do custo associado. (BARROSO, 2009 e ROSÁRIO, 2006).

A utilização de cargas particuladas como reforços em materiais compósitos vem sendo bastante estudada, a eficácia do reforço dependerá do tamanho e da distribuição das partículas ao longo da matriz. A fase particulada é mais dura e mais rígida que a matriz (CALLISTER 2009). Geralmente as cargas tem duas finalidades, alterar suas propriedades físicas e/ou mecânicas, e/ou ser utilizadas como enchimento para redução de custos.

Geralmente a microestrutura e as propriedades dos materiais são interligadas como um grupo, onde os materiais cristalinos metálicos causam determinadas propriedades, que não ocorrem, por exemplo, em vidros amorfos,

como boa condutividade elétrica e térmica. As ligas metálicas quasicristalinas mostram uma combinação estrutural interessante. Elas são compostas de elementos metálicos e obedecem a uma estrutura perto da cristalina, mas não perfeitamente que satisfaçam a definição de cristalinidade (HUTTUNEN-SAARIVIRTA, 2004).

O uso de cargas metálicas em materiais compósitos vem apresentando uma forte influência nas características do material compósito e como exemplo, temos o uso de ligas quasicristalinas, como a que será utilizada neste trabalho (Al62Cu25,5Fe12,5) por agir como isolantes para eletricidade e condução de calor, além de sua dureza e resistência à fricção e ao desgaste (FIGUEIREDO, 2013).

As propriedades dos quasicristais, vem abrindo campo para diversas aplicações, combinando a resistência mecânica com suas propriedades específicas podendo ser utilizados na substituição de materiais convencionais dado que apresentam vantagens como elevada rigidez e módulo específico, elevada resistência à corrosão e condutividade térmica, boa fluidez, estabilidade estrutural e fácil moldagem coeficiente de atrito e excelente resistência ao desgaste e a abrasão (VIANA, 2009).

Devido as limitações do uso do quasicristal como material estrutural foi feito o estudo do compósito de PEUAPM/quasicristal, o primeiro por apresentar boas características como reforço, o quasicristal que vem trazendo à tona características interessantes em propriedades físico-químicas e mecânicas.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivos gerais**

Analisar o compósito PEUAPM/Quasicristal em diferentes proporções volumétricas, avaliando suas características de molhabilidade e microestruturais.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Recuperar a liga quasicristalina, previamente utilizada por FIGUEIREDO, 2013 em seus compósitos através da queima em uma mufla;
- Confeccionar novos compósitos, utilizando o quasicristal recuperado neste trabalho, respeitando as frações volumétricas, utilizadas po FIGUEIREDO, 2013, iguais a 1%, 2%, 5% e 10% em volume de quasicristal nos compósitos.
- Analisar as características de molhabilidade destes compósitos;
- Avaliar a microestrutura superficial deste compósito.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Quasicristal

#### 2.1.1 Descoberta do quasicristal

A descoberta de novos materiais com suas diferentes propriedades e diversas aplicações, são cruciais para o avanço tecnológico. Em meio a tantas descobertas, podemos citar os quasicristais, que foram descobertos em 1982 pelo físico Dan Shechtman, do Instituto Tecnológico Tchnion, em Haifa, Israel, lhe rendendo assim o prémio Wolf de Física de 1999 (VIANA, 2009).

Todo arranjo cristalino deve ter um padrão que se repete em todas as direções, isto é, sejam eles átomos, moléculas ou íons, a organização seria num padrão tridimensional bem definido, que se repete no espaço e que forma uma estrutura com geometria específica, essa definição sempre foi assumida pelos pesquisadores. Diferente dos cristais, os quasicristais possuem um longo arranjo atômico que, no entanto, não resulta em uma repetição periódica, e a simetria rotacional apresenta simetrias proibidas para um cristal, suas unidades de repetição são finitas e sua estrutura consiste em pentágonos perfeitos. A descoberta de Schechtman foi um padrão de difração de elétrons de um cristalito de tamanho micrométrico de uma liga arrefecida rapidamente de (Al<sub>6</sub>Mn) exibindo

uma simetria de ordem 5. A simetria do padrão de difração é uma manifestação da simetria do próprio cristal. Os cristais tradicionais não podem ter essa simetria de ordem 5 (SHACKERFORD, 2000).

Shechtman em sua análise apresentou elementos de simetria de ordem 5, 10 e 20 e essas ordens não eram permitidas em cristais, sendo apenas permitidas as de ordem 1, 2, 4, ou 6 preestabelecidos pela ciência até então. Logo, os resultados de Shechtman eram impossíveis de existir em cristais, gerando dúvidas e questionando a outros cientistas (VEKILOV, CHERNIKOV, 2010)

Em 1992, a teoria dos quasicristais de Shechtman foi aceita pela União Internacional de cristalografia sendo definido como um cristal aperiódico. Em 2011 sua descoberta também rendeu o prêmio Nobel da Química.

Com a descoberta desse novo material, pesquisadores de todo mundo se interessaram em estudá-lo, Shechtman, em 1986 obteve ligas termodinamicamente estáveis de (Al-Mn) (VIANA, 2009).

Os quasicristais vem atraindo considerável interesse devido as suas propriedades estruturais, eletrônicas e magnéticas. Os quasicristais são bons isolantes térmicos e elétricos, são resistentes à fricção e aos desgastes, e são muito duros (HUTTUNEN-SAARIVIRTA, 2004).

A repetição periódica no arranjo atômico, junto com uma simetria de rotação proibida para cristais, encontradas nos materiais quasicristalinos, e as simetrias de ordem 5, 8, 10 e 12 que podem ser encontradas nos quasicristais, fazem com que apresentem simetrias com estruturas dodecaedra, octagonal, icosaedra, dodecagonal, conforme a Figura 1 (VIANA, 2009).

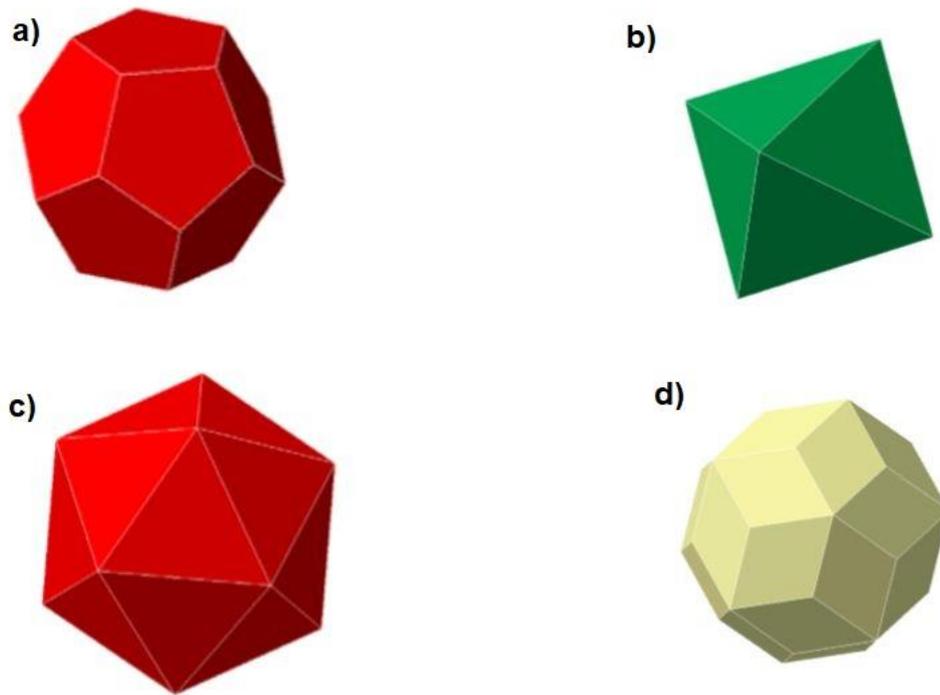


Figura 1 – Poliedros a) dodecaedral, b) octagonal, c) icsaedral e d) triacontaedral (VIANA,2009).

Figura 2, mostrada logo abaixo a) Cristal 2D periódico. (b) Polígonos com número de lados 2, 3, 4 e 6, também geram um cristal 2D periódico. (c) Pentágono ou outros com número de lados maior que 6 (ARACELLI, 2011).

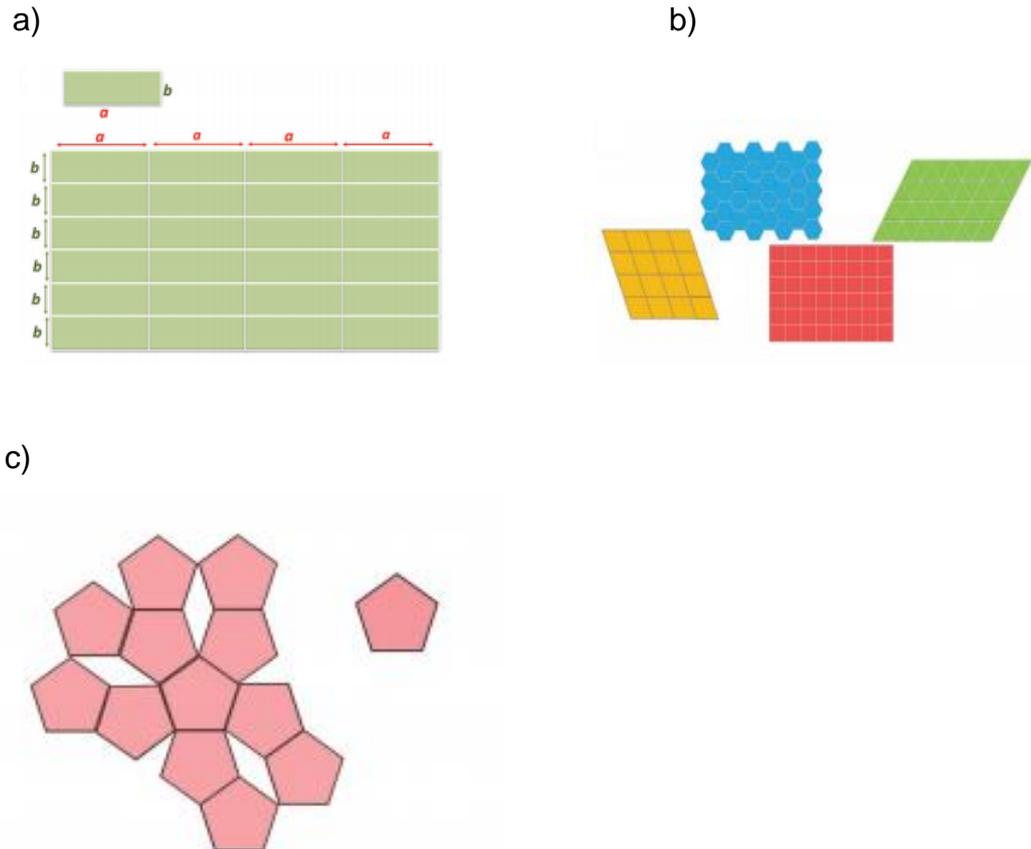


Figura 2 – Exemplos de organização das estruturas de cristais e quasicristal.

A diferença entre os cristais e os quasicristais, que inicialmente foi observado por Shechtman, são demonstradas acima em um esquema que, a) representa um cristal 2D periódico em um esquema 2D de dimensões  $a \times b$ , por translação em duas dimensões. Na letra b) outros exemplos de cristais com periodicidade com simetria de ordem 2, 3, 4 e 6, que também geram um cristal periódico 2D. Na letra c) temos um quasicristal, sabendo que um pentágono, ou qualquer outra forma geométrica com número de lados maior que 6 não seguem a periodicidade como mostrada nos cristais, conseqüentemente, “espaços vazios” são observados e um cristal periódico 2D não pode mais ser formado.

A maneira organizada com que os átomos são empilhados no interior das unidades de simetria, fazem com que seja possível produzir picos de Bragg, de forma bastante semelhante à dos materiais cristalinos. As ligações entre as unidades orientam-se mais livremente (mas não aleatoriamente) em relação umas às outras para formar uma estrutura quasicristalina, dando origem a uma simetria translacional diferente da dos materiais cristalinos. A quantidade de deslocamento

entre os átomos individuais na mesma direção é indicada justamente pela simetria translacional. Apesar da aperiodicidade que é como os planos de átomos estão dispostos nos quasicristais, esses planos são altamente ordenados e suas posições podem ser previstas por um número irracional, ( $\tau$ ), dado pela Eq. (1) e é chamado de número de ouro. O espaço interplanar nos quasicristais pode variar, mas esta variação acontece de maneira controlada e repetida, como é demonstrada na Figura 3 (GIACOVAZZO et al, 1992).

$$\tau = \frac{1+\sqrt{5}}{2} = 1,618 \dots \quad \text{Eq. (1)}$$

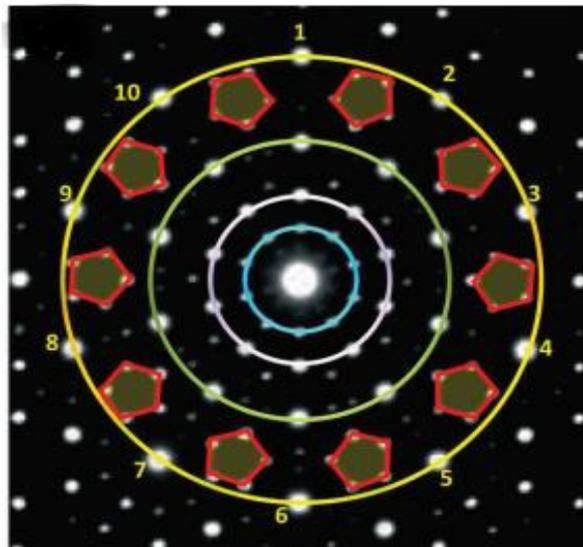


Figura 3 – Sobre o padrão de difração, estão assinalados os círculos concêntricos contendo 10 pontos cada um e figuras com simetria de ordem 5 (CARACELLI, 2011).

Existem cerca de 100 sistemas de ligas metálicas capazes de formarem fases quasicristalinas. Ligas a base de alumínio, cobre, galium, magnésio, níquel, titânio, zinco, zircônio entre outras, são exemplos desses sistemas (YOKOYAMA, et al 2000). Na Figura 4, podemos observar que cerca de 82% do valor conhecido são quasicristais icosaedrais e contém cerca de 80% de alumínio (VIANA, 2009).

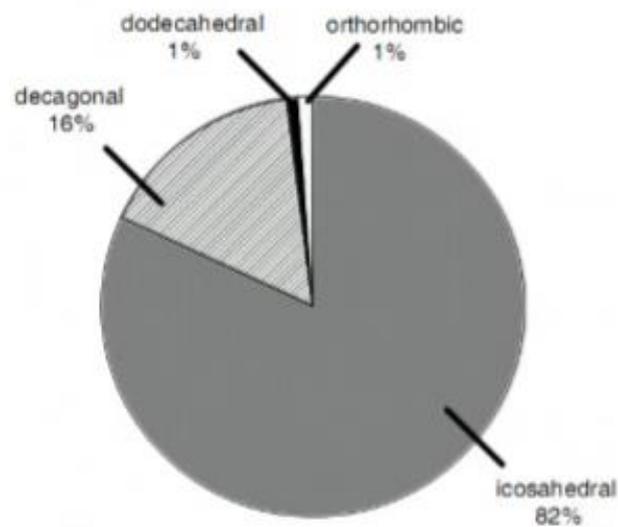


Figura 4 – Dados estatísticos sobre fases conhecidas dos quasicristais. (VIANA, 2009)

Na Tabela 1 a seguir, podemos observar exemplos de ligas quasicristalinas com suas respectivas simetrias.

Tabela 1 – Exemplos de ligas quasicristalinas com simetrias icosaedral, octagonal, decagonal e dodecagonal (HUTTUNEN-SAARIVIRTA, 2004).

<b>Estruturas Quasicristalinas</b>	<b>Ligas</b>
<b>Icosaedral</b>	Al-Cu-Fe, Al-Mn, Al-Mn-Si, Al-Mn-Cu, Al-Mn-Zn, Al-Cu-Ru, Al-Cu-Os, Al-Cr, Al-V-Si, Al-Pd-Ru, Al-Pd-Mn, Al-Pd-Re, Al-Pd-Mg, Al-Li-Cu, Al-Mg-Zn, Al-Rh-Si, Ti-Fe-Si, Ti-Zr-Ni, Mg-Li-Al, Mg-Zn-Y, Mg-Zn-Ho, Cd-Mg-Tb
<b>Octagonal</b>	Ni-Cr-Si, Ni-V-Si, Mn-Si
<b>Decagonal</b>	Al-Mn, Al-Fe, Al-Pd, Al-Pd-Fe, Al-Pd-Ru, Al-Pd-Os, Al-Os, Al-Co-Ni, Al-Cu-Co, Al-Cu-Fe-Co, Al-Cu-Co-Si, Al-Co-Fe-Cr-O, Al-Cr-Si, Al-Ni-Fe, Al-Ni-Rh, Al-Cu-Rh, Zn-Mg-Y, Zn-Mg-Sm, Zn-Mg-Ho
<b>Dodecagonal</b>	Ni-Cr, Ni-V, Ni-V-Si, Ta-Te, Co-Cu, Al-Co-Fe-Cr

A variedade de elementos metálicos de base formando quasicristais é bastante amplo, o espectro para ligas metálicas é ainda maior. As ligas de Al-Cu-Fe especificamente são bastante interessante pois apresentam atoxidade, um baixo custo e fácil disponibilidade. Geralmente os elementos de liga são muitas vezes tóxicos e de difícil disponibilidade ou muito caros (BLOOM, et al, 2000; BESSER, EISENHAMMER, 1997).



brancos indicam as áreas de duas fases e os círculos pretos expressam a presença simultânea de três fases (HUTTUNEN-SAARIVIRTA, 2004).

### 2.1.3 Aplicações dos Quasicristais

Qualquer aplicação tecnológica de qualquer material, vai estar interdependente de suas propriedades. Os quasicristais apresentam propriedades, mesmo sendo materiais metálicos, eles agem como isolantes térmicos e elétricos, e estes materiais são muito duros e resistem a fricção e ao desgaste, se juntarmos estes tipos de propriedades um campo de aplicações é aberto para os mesmos (BELISÁRIO, 2003).

Ao longo dos últimos anos desde sua descoberta, as pesquisas com materiais quasicristalinos vem crescendo bastante, e isso se dá por suas propriedades mecânicas, térmicas e elétricas. O processamento destes materiais como filmes finos, revestimentos, cargas para compósitos, etc. com características reprodutíveis, elevada vida útil e baixo custo tornou-se uma questão de interesse para várias empresas privadas (DUBOIS, 2000).

Outra área importante que vem sendo estudada é a utilização de ligas de alumínio reforçadas com nanopartículas de quasicristais, com a finalidade de aumentar a resistência de compósitos (DUBOIS, 2000). O aço inoxidável é um exemplo de um material em que partículas de quasicristal são introduzidas na estrutura do mesmo para lhe conferir propriedades de extrema resistência e dureza, esse aço é patenteado pela companhia Sandvik, e é produzido em hospitais e barbeadores elétricos. (BELISÁRIO, 2003).

Várias aplicações para os quasicristais em potenciais estão sendo estudados, como materiais para absorção e armazenamento de hidrogênio, como catalisadores e em utensílios cirúrgicos, a biocompatibilidade juntamente com boas propriedades de superfície é uma combinação muito promissora de propriedade para a introdução dos quasicristais em aplicações cirúrgicas como um revestimento metálico sobre peças utilizadas para a reparação óssea e próteses (BARROSO, 2009; JANOT e DUBOIS, 1998). Outra aplicação são os quasicristais adicionados aos polímeros, onde muitos aparelhos têm engrenagens de plásticos (ventiladores

e bateadeiras), se adicionado pó de quasicristais eles não se desgastam e duram muito mais (BELISÁRIO, 2003)

## 2.2 Materiais Compósitos

Muitas das nossas tecnologias modernas exigem materiais com combinações incomuns de propriedades que não podem ser atendidas pelas ligas metálicas, cerâmicas e materiais poliméricos convencionais. As combinações e as faixas das propriedades dos materiais foram, e ainda estão sendo, ampliadas através do desenvolvimento de materiais compósitos. O termo compósito se refere a materiais formados por dois ou mais componentes, com identidade química e forma diferentes, que exibem uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases que o constituem, de tal modo que é obtida uma melhor combinação de propriedades. As fases constituintes devem ser quimicamente diferentes e devem estar separadas por uma interface distinta. (FERRANTE, 2002; CALLISTER, 2002).

Muitos materiais compósitos são compostos por apenas duas fases, a descontínua que dá a principal resistência ao esforço, que é chamado reforço, e a outra contínua que representa o meio de transferência desse esforço que é chamado de matriz. Uma das funções da matriz é envolver o reforço, e em seu papel de matriz permite a transmissão dos esforços atuantes na peça por meio da interface. As propriedades dos compósitos são uma função das propriedades das fases constituintes, das suas quantidades relativas e da geometria da fase dispersa (MANO et al., 1999; CALLISTER 2002; GAY, HOA, TSAI, 2002).

A matriz de um compósito pode ser constituída por diferentes tipos de materiais. Se a matriz for constituída por um material polimérico, termoendurecível e/ou termoplástico, esta matriz é denominada polimérica. No caso do material da matriz ser constituído por uma liga leve de alumínio, ligas de magnésio ou titânio, a matriz denomina-se por matriz metálica. Se a matriz for constituída por carbonetos e nitretos denomina-se por matriz cerâmica.

O outro componente do compósito que é o reforço, pode ser um material inorgânico (vidros e carbonos), orgânicos (aramidas e poliamidas), metálicos (boro, alumínio e etc.) e cerâmicos (carbonetos e nitretos) (PARDAL, 2019).

O comportamento e as propriedades dos compósitos dependem de três fatores: propriedades intrínsecas dos constituintes, a forma e o arranjo estrutural dos constituintes, e a interação entre os constituintes. As propriedades dos constituintes são os que vão determinar as limitações dos compósitos, seu formato, tamanho, o arranjo estrutural, a composição e distribuição, a interação entre os mesmos, é que vão dar a versatilidade e contribuir para o desempenho total do compósito e também alterar suas propriedades mecânicas (MARK, 1989).

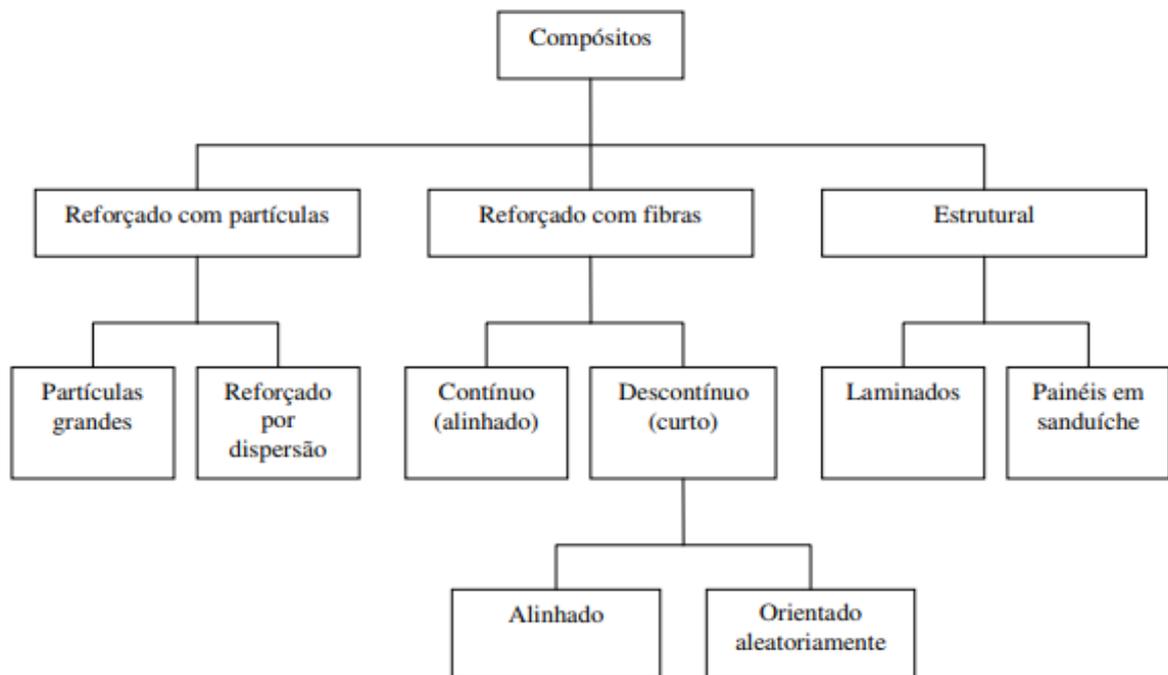


Figura 6 – Classificação dos materiais compósitos (CALLISTER, 2002).

Os polímeros são materiais muito utilizados como matriz, devido à sua leveza e facilidade na moldagem, e baixo custo. Em relação ao peso, quando esse é um fator preponderante, os materiais compósitos poliméricos passaram a substituir os metais em aplicações estruturais nas indústrias aeronáuticas e automotivas (KAW, 1997; NOGUEIRA, 2004; SILVA, 2003)

## **2.3 Fatores que afetam as propriedades dos compósitos**

### **2.3.1 Interface entre o reforço e a matriz**

A interface é a fronteira entre duas fases, e neste local é onde acontece ou não a adesão dos materiais, a interação do reforço com a matriz é quem vai ser responsável pelas propriedades dos compósitos, se a adesão for baixa entre as fases pode comprometer o desempenho mecânico do material (MIRAVETE, 2003). Quando a interface reforço/matriz tem melhor resistência, a integridade do material compósito é aumentada, e isto significa que a transferência das tensões de carregamento melhora (BUROKOWSKI e REZENDE, 2001).

Podemos atribuir a adesão na interface entre o reforço e a matriz, aos mecanismos como: adesão mecânica, atração eletrostática (ligação física), ligação química, ligação de reação e de permuta (inter difusão). A afinidade química entre a matriz e o reforço é que vai dar à natureza dessas interações. As cargas utilizadas como reforços nos compósitos geralmente são inorgânicas e apresentam natureza hidrofílica, enquanto a matriz (polimérica) apresenta natureza hidrofóbica (KIM e MAI, 1998)

### **2.3.2 Tamanho das partículas**

Compósitos com partículas grandes e compósitos reforçados por dispersão são duas subclassificações dos compósitos reforçados com partículas. A diferença entre essa subclassificação é baseada no mecanismo de reforço ou aumento da resistência. O grau de reforço ou melhoria do comportamento mecânico depende de uma ligação forte na interface matriz-partículas (CALLISTER, 2008).

#### **2.3.2.1 Partículas grandes**

A utilização do termo “grande” é uma indicação de que as interações partículas-matriz não podem ser tratadas a um nível atômico ou molecular. Segundo CALLISTER (2002), A fase particulada é mais dura e mais rígida que a matriz, e para que ocorra um reforço eficaz, as partículas devem ser pequenas e

devem estar distribuídas por igual ao longo de toda a matriz. Logo, partículas grandes são utilizadas tanto para melhorar as propriedades, mas também para enchimento. Os enchimentos substituem parte do volume do polímero, barateando o material final. Um exemplo de compósito com partículas grandes é o concreto, que é composto por cimento (a matriz), e areia e brita (os particulados).

#### **2.3.2.2 Partículas pequenas**

Os compósitos que tem sua resistência aumentada por dispersão, suas partículas são muito menores, com diâmetro de 0,01 e 0,1  $\mu\text{m}$  (10 e 100 nm). Diferente dos compósitos reforçados com partículas grandes, as interações partícula-matriz que levam ao aumento de resistência ocorrem no nível atômico ou molecular, e quando recebe a aplicação de uma força a fase matriz absorve quase totalmente a energia adicional, restando às partículas dispersas dificultar a dissipação das discordâncias no material, o que conseqüentemente, aumenta a resistência do material (CALLISTER, 2008)

#### **2.4 Compósitos de matriz polimérica**

As propriedades dos polímeros normalmente são inadequadas para várias aplicações estruturais. E sua resistência e dureza são inferiores quando comparadas à materiais cerâmicos e metálicos. Logo o uso de polímeros como matriz polimérica é bastante comum, pois o ganho nas propriedades quando se adicionado reforços fazendo com que o material melhore suas propriedades, sem até mesmo precisar ter uma propriedade inicial excepcionais é muito visível. A fabricação dos compósitos com esse tipo de matriz envolve altas pressões a baixas temperaturas e isso evita problemas com a degradação do reforço durante a fabricação. Compósitos reforçados com vidros são os materiais compósitos mais utilizados em termos de volume, perdendo apenas para o concreto. (ALMEIDA E MONTERIO, 1998).

Existem desvantagens do uso de polímeros como matriz, como a instabilidade dimensiona (devido a altos coeficientes de expansão térmica), impossibilidade de trabalho a altas temperaturas, sensibilidade à radiação, e em alguns casos absorção de umidade do meio ambiente (CALLISTER, 2012).

## 2.5 Polietileno

A primeira produção comercial do polietileno deu-se me 1939 pela Imperial Chemical Industries Ltd, onde a polimerização do etileno foi realizada sob alta pressão. O produto obtido era um novo material com excelente propriedade de isolamento elétrica, sendo a sua primeira aplicação o isolamento de cabos submersos (FELDMAN e BARBALATA, 1996).

O polietileno é um polímero parcialmente cristalino, flexível, cujas propriedades são acentuadamente influenciadas pela quantidade relativa das fases amorfa e cristalina, são inertes face à maioria dos produtos químicos comuns, devido à sua natureza parafínica, seu alto peso molecular e sua estrutura parcialmente cristalina. As menores unidades cristalinas, lamelas, são planares e consistem de cadeias perpendiculares ao plano da cadeia principal e dobradas em zig-zag, para cada 5 a 15nm, embora haja defeitos que são pouco frequentes (COUTINHO, MELLO e SANTA MARIA,2003).

No passado, o polietileno era classificado pela sua densidade e pelo tipo de processo usado em sua fabricação. Atualmente, os polietilenos são mais apropriadamente descritos como polietilenos ramificados e polietilenos lineares (MARTINS, 1999; SILVA, 1999).

O polietileno é formado a partir de um monômero chamado etileno (CH<sub>2</sub>=CH<sub>2</sub>)

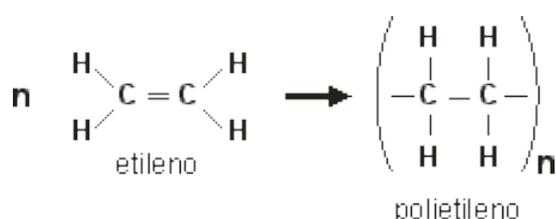


Figura 7 – Reação de um monômero formando o polietileno.

O valor de  $n$  varia entre 2000 a 100 000 dificilmente o valor de  $n$  será o mesmo para todas as macromoléculas obtidas, mesmo que as condições específicas da reação de polimerização sejam feitas de forma controlada e invariável.

Em temperaturas abaixo de 60°C, são parcialmente solúveis em todos os solventes. Entretanto, dois fenômenos podem ser observados;

- Interações com solventes, sofrendo inchamento, dissolução parcial, aparecimento de cor ou, com o tempo, completa degradação do material.
- Interação com agentes tensoativos, resultando na redução da resistência mecânica do material por efeito de tenso-fissuramento superficial.

Em condições normais, os polímeros etilênicos não são tóxicos, podendo inclusive ser usados em contato com produtos alimentícios e farmacêuticos no entanto certos aditivos podem ser agressivos (COUTINHO, MELLO e SANTA MARIA,2003).

### **2.5.1 Propriedades e aplicações dos 5 tipos de polietileno**

Dependendo das condições reacionais e do sistema catalítico empregado na polimerização, cinco tipos diferentes de polietileno podem ser produzidos:

#### **2.5.1.1 Polietileno de baixa densidade (PEBD ou LDPE)**

O processo de produção do PEBD utiliza pressões entre 1000 e 3000 atm, e temperaturas entre 100 e 300 °C (COUTINHO, MELLO e SANTA MARIA,2003). Polietilenos de baixa densidade (LDPE) comerciais, tipicamente

apresentam de 40 a 100 ramificações curtas (principalmente com 2 a 5 átomos de carbonos) para cada 1000 unidades de etileno<sup>14</sup>. O LDPE apresenta uma proporção de 10 ramificações curtas para cada ramificação longa. Esse polímero, apresenta densidade entre 0,912 a 0,935 g/cm<sup>3</sup> e, devido ao grande número de ramificações, possui cerca de 50% de região amorfa e baixa temperatura de fusão na faixa de 100°C a 115 °C (FELDMAN e BARBALATA, 1996 ; CARRAHER, 1996).

O PEBD tem uma combinação única de propriedades: tenacidade, alta resistência ao impacto, alta flexibilidade, boa processabilidade, estabilidade e propriedades elétricas notáveis.

É aplicado como filmes para embalagens industriais e agrícolas, filmes destinados a embalagens de alimentos líquidos e sólidos, filmes laminados e plastificados para alimentos, embalagens para produtos farmacêuticos e hospitalares, brinquedos e utilidades domésticas, revestimento de fios e cabos, tubos e mangueiras (COUTINHO, MELLO e SANTA MARIA,2003).

#### **2.5.1.2 Polietileno de alta densidade (PEAD ou HDPE)**

Dentre os polietilenos convencionais, o PEAD é o que apresenta estrutura mais próxima do polietileno ideal, visto que, possui moléculas não ramificadas ou em quantidades ínfimas a ponto de não comprometer sua linearidade (MATHIAS, 2010).

São produzidos com iniciadores organometálicos, como os de Ziegler-Natta ou Phillips, possuem menos de 15 ramificações curtas (metila e etila) por 1000 unidades de etileno, não apresentando ramificações longas. A linearidade das cadeias e conseqüentemente a maior densidade do PEAD fazem com que a orientação, o alinhamento e o empacotamento das cadeias sejam mais eficientes, as forças intermoleculares (Van der Waals) possam agir mais intensamente, e como conseqüência, devido a sua estrutura regular, o PEAD apresenta alta cristalinidade podendo exceder 90%, com densidade entre 0,941 a 0,967 g/cm<sup>3</sup>. Sendo maior a cristalinidade, a fusão poderá ocorrer em temperatura mais alta (COUTINHO, MELLO e SANTA MARIA,2003; MUNARO, 2007).

As propriedades mais relevantes do PEAD são elevadas resistência química. Mecânica e ao stress Cracking, além de elevadas características de rigidez, fluência, abrasão, impacto e fendilhamento sob tensão ambiental.

É utilizado para confecções de baldes e bacias, brinquedos. Tanques e tambores (onde são exigidas principalmente resistência à queda, ao empilhamento e a produtos químicos) entre outras diversas aplicações.

### 2.5.1.3 Polietileno linear de baixa densidade (PELBD ou LLDPE)

O polietileno linear de baixa densidade (PELBD) é um copolímero de etileno com uma  $\alpha$ -olefina (propeno, 1-buteno, 1-hexeno ou 1-octeno). O PELBD apresenta estrutura molecular de cadeias lineares com ramificações curtas, e tem uma distribuição de peso molecular estreita, quando comparada ao do polietileno de baixa densidade (PEBD) (COUTINHO, MELLO e SANTA MARIA, 2003). O polietileno linear possuem ramificações aleatórias que ocorrem entre cada 25 a 100 átomos de carbono. Como ocorre polímeros com ramificações, a cristalização no polietileno linear é dificultada, e isso implica em uma redução na densidade, que é de 0,90 e 0,94 g/cm<sup>3</sup>, comparando ao PEAD (PEACOCK, 2000; MATHIAS, 2010). Este polímero apresenta propriedades intermediárias entre o PEBD e o PEAD (QUENTAL, HANAMOTO e FELISBERTI, 2005).

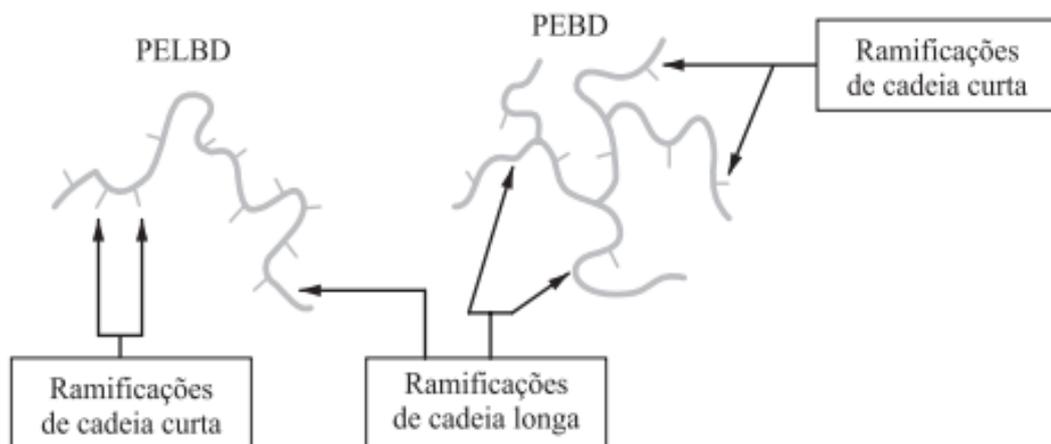


Figura 8 – Tipos de ramificações do PELBD e do PEBD.

Comparado ao polietileno de baixa densidade, o polietileno linear de baixa densidade tem um comportamento mecânico superior, e isto implica em uma grande importância comercial (BECKER, 2002). O principal uso do PELBD é a fabricação de filmes soprados ou filmes planos (cast film), mas podendo ser também moldado por sopro ou injeção (SCHULTZ, 2004).

#### **2.5.1.4 Polietileno de ultra baixa densidade (PEUBD ou ULDPE)**

Por apresentar uma estrutura linear com uma concentração elevada de ramificações com cadeia curta, a inibição da cristalização é evidente, resultando em um material predominantemente não cristalino. O PEUBD apresenta a menor densidade entre os polietilenos, com valores na faixa de  $0,860,90 \text{ g/cm}^3$ , logo oferece maior flexibilidade, e ótimas propriedades ópticas. O principal uso do PEUBD é como resina modificadora, principalmente para polietileno de alta (PEAD) e baixa (PEBD) densidades e polipropileno (PP). A adição de PEUBD aos polietilenos e ao PP melhora a resistência ao impacto, a flexibilidade e a resistência ao rasgamento desses polímeros (COUTINHO, MELLO e SANTA MARIA, 2003; PEACOCK, 2000).

#### **2.6 Polietileno de Ultra alto Peso molecular (PEUAPM)**

Segundo relatórios e boletins técnicos da Braskem S.A., o polietileno de ultra alto peso molecular é produzido a partir do gás eteno, assim como os demais polietilenos, é um polímero que possui média densidade, semicristalino, de poucas ramificações. O que diferencia o PEUAPM dos demais polietilenos é o seu peso molecular elevadíssimo, que o classifica como material de engenharia de alto valor e desempenho.

A maioria dos PEUAPM produzida por processo em lama, mas essa polimerização também pode ocorrer tanto em solução quanto em massa. O polímero é obtido como um pó fino que pode ser extrudado ou moldado por compressão. Em relação a sua estrutura o PEUAPM e o PEAD são muito

parecidos, sendo ambos lineares, diferenciando principalmente em sua massa molar, o PEAD não ultrapassa 500.000, já o PEUAPM atinge valores em torno de  $3 \times 10^6$  (ASTM D 4020) (COUGHLAN e HUG, 1986). O peso molecular influencia diretamente no índice de fluidez, isto é, quanto maior for seu massa molar, menor é o seu índice de fluidez ou maior sua viscosidade, o altíssimo peso molecular do PEUAPM, proporciona índices de fluidez baixíssimos, impossibilitando-o de ser processado pelos métodos convencionais para termoplásticos (FARIAS, SANSON e CALUMBY, 2007).

A sua elevada viscosidade impede de haver escoamento mesmo submetido a temperaturas acima do seu ponto de fusão e é por isso que técnicas convencionais como, injeção, sopro e extrusão ficam impossibilitados de serem utilizados (COUTINHO, MELLO e SANTA MARIA, 2003). São necessárias técnicas especiais de processamento como extrusão RAM ou moldagem por compressão a quente ou a frio).

A extrusão RAM é um processo de sinterização do pó para formar um perfil maciço e contínuo. O processo da extrusão RAM é plug flow, ou seja, é um processo em batelada sem cisalhamento, onde o material particulado é alimentado a uma matriz alongada enquanto um pistão compatível com o contorno da cavidade da matriz percorre um trajeto de ida e volta na zona de alimentação. Neste trajeto ocorre a compactação do pó e a transferência de calor para o polímero, ocorrendo a sinterização, após extrudado passa pelo resfriamento (FARIAS, SANSON e CALUMBY, 2007).

Na moldagem por compressão, o processo de compactação do pó em um molde é feito através de uma prensa hidráulica aquecida.

A longa cadeia molecular, a média densidade e a ausência de ramificações, conferem ao PEUAPM às seguintes propriedades mecânicas: elevada resistência ao impacto, elevada resistência à abrasão, baixíssimo coeficiente de fricção, alta resistência química e ao stress craking, alta resistência à corrosão, absorção de ruídos, fisiologicamente neutro, manutenção das propriedades a baixas temperaturas e não absorção de umidade (COUTINHO, MELLO e SANTA MARIA, 2003; FARIAS, SANSON e CALUMBY, 2007).

O PEUAPM é muito resistente a uma ampla gama de produtos químicos (ácidos, álcalis, solventes, combustíveis, detergentes e oxidantes). Esse material

polimérico é quase totalmente inerte, o que faz com que seja indicado para uso em praticamente todos os tipos de ambientes agressivos ou corrosivos sob temperaturas moderadas. Mesmo em temperaturas elevadas, só é atacado por solventes aromáticos ou halogenados e por oxidantes fortes, como ácido nítrico (COUTINHO, MELLO e SANTA MARIA,2003).

As características de resistência à abrasão, ao impacto e a produtos químicos auto lubrificação, baixo coeficiente de atrito, absorção de ruídos e outras já mencionadas, tornam o PEUAPM particularmente adequado para uso em aplicações diversificadas como descritas abaixo.

- **Mineração:** revestimentos, misturadores, raspadores, mancais e tubos;
- **Indústria Química:** tubos, bombas, válvulas, filtros, gaxetas, misturadores, revestimentos de tanques metálicos e de concreto;
- **Indústria Alimentícia e Bebidas:** guias para linhas de embalagem, transportadores, roletes, bicos de enchimento, bombas e cepos de corte;
- **Papel e Celulose:** tampas de caixa de sucção, réguas e perfis;
- **Indústria Têxtil:** tacos, guias, mancais e redutores de ruído;
- **Outras aplicações:** galvanoplastia, transportadores industriais, artigos esportivos, ortopédicos e cirúrgicos.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Materiais

Neste trabalho foram utilizados o polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE ou PEUAPM) em forma de pó (UTEC lote 3041) produzido pela Braskem em Camaçari-BA.

A liga quasicristalina de AlCuFe foi retirada através de uma reciclagem de corpos de provas de compósito PEUAPM/quasicristal, anteriormente prensados

nas concentrações em volume de 1%, 2%, 5% e 10% de quasicristal por FIGUEIREDO, 2013.

### 3.2 Métodos

O compósito de PEUAPM reforçado com cargas de quasicristal foi analisado microestruturalmente e superficialmente, como podemos observar no fluxograma mostrado abaixo na Figura 9.

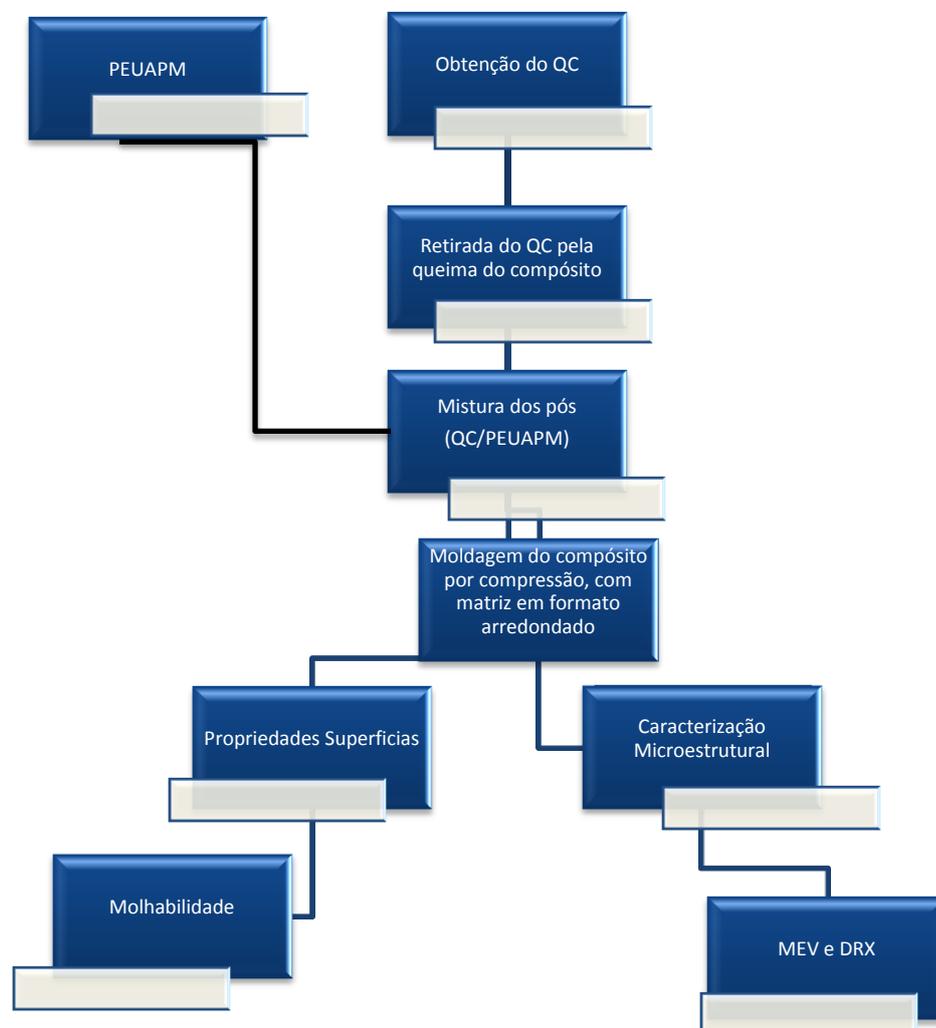


Figura 9- Fluxograma do procedimento

### 3.2.1 Obtenção da liga quasicristalina

Os pós de quasicristal foram retirados através de uma reciclagem dos corpos de provas de compósitos anteriormente feitos por FIGUEIREDO, 2013. Para este processo, foi utilizado um procedimento de queima, onde o polímero PEUAPM foi degradado ao ponto de desaparecer completamente, restando apenas o quasicristal. Este procedimento foi feito a uma temperatura de 750°C por 10 minutos em uma mufla modelo EDG 3P-S.

### 3.2.2 Obtenção dos compósitos

#### ➤ Formulações

Foram selecionadas as mesmas cinco formulações avaliadas por FIGUEIREDO, 2013 para confecção dos compósitos PEUAPM/Quasicristal, em que uma com PEUAPM puro, e as outras com frações volumétricas de 1,2,5 e 10% de quasicristal.

Tabela 2 – Formulações dos compósitos PEUAPM/Quasicristal em fração de volume.

<b>COMPÓSITOS</b>	<b>PEUAPM (%VOL)</b>	<b>QC(%VOL)</b>
<b>1</b>	100%	0
<b>2</b>	99%	1%
<b>3</b>	98%	2%
<b>4</b>	95%	5%
<b>5</b>	90%	10%

➤ Mistura dos pós

Os pós do quasicristal e do polímero PEUAPM, foram pesados separadamente em uma balança SHIMADZU AUX com carga máxima de 220g, e em seguida, foram misturados em um aparelho adaptado para tal fim, essa mistura foi feita por 5 minutos para cada formulação.

### 3.2.3 Confeção dos corpos de provas

Após a mistura dos pós em proporções de 99/1, 98/2, 95/5 e 80/10, os compósitos foram moldados em uma prensa hidráulica MARCONI, a uma temperatura de 200°C, inicialmente a uma pressão de 3 toneladas por 3 minutos, passado esse tempo retirou-se a pressão para saída de qualquer ar aprisionado, e em seguida aplicou-se 12 toneladas por mais 20 minutos, após este tempo os corpos de provas foram resfriados e desmoldados. O molde foi confeccionado exclusivamente para este fim, em formato arredondado, os corpos de provas tiveram diâmetro de 31mm e espessura de 3 mm.

### 3.2.4 Caracterização dos compósitos

➤ Difração de raio-X (DRX)

A difratometria de raios X corresponde a uma das principais técnicas de caracterização microestrutural de materiais cristalinos, encontrando aplicações em diversos campos do conhecimento, mais particularmente na engenharia e ciências de materiais, engenharias metalúrgica, química e de minas, além de geociências, dentre outros.

As amostras dos compósitos nas suas diferentes frações e o PEUAPM puro foram analisados, utilizando um difratômetro D5000 da SIEMENS, equipado com tubo de cobre, com tensão de 40KV, corrente de 30MA, passo de 0,02°, tempo por passo de 0.6s e ângulo de 2θ variando de 10 a 80 graus.

➤ Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

O MEV é um aparelho que pode fornecer rapidamente informações sobre a morfologia e identificação de elementos químicos de uma amostra sólida. Também permite o exame em pequenos aumentos e com grande profundidade de foco, o que é extremamente útil, pois a imagem complementa a informação dada pela imagem óptica (DEDAVID et al. 2007).

As amostras de compósitos e do PEUAPM puro foram analisados por microscopia eletrônica, sua superfície foi metalizada com ouro com corrente de 20 MA e uma tensão de 10 KN em um SPUTTER da Emitech, modelo K550X e analisadas no equipamento microscópio eletrônico de varredura modelo Leo 1430 Zeiss.

### 3.2.5 Análise superficial através da molhabilidade

A molhabilidade se refere a manifestação macroscópica da interação molecular entre líquidos e sólidos (Adamson, 1991).

A molhabilidade resulta do balanço energético entre forças coesivas do líquido  $W_c$  (equação) e as forças adesivas sólido/líquido  $W_a$  (Equação Y).

$$W_c L = 2\gamma_L \quad \text{Eq. (2)}$$

$$W_a L = \gamma_L(1 + \cos \theta) \quad \text{Eq.(3)}$$

Segundo Tomas Young, (Youn, 1805), com a resultante deste balanço definindo o ângulo de contato, trata-se de um equilíbrio de forças, na direção horizontal, das tensões interfaciais envolvidas (sólido, líquido e vapor).

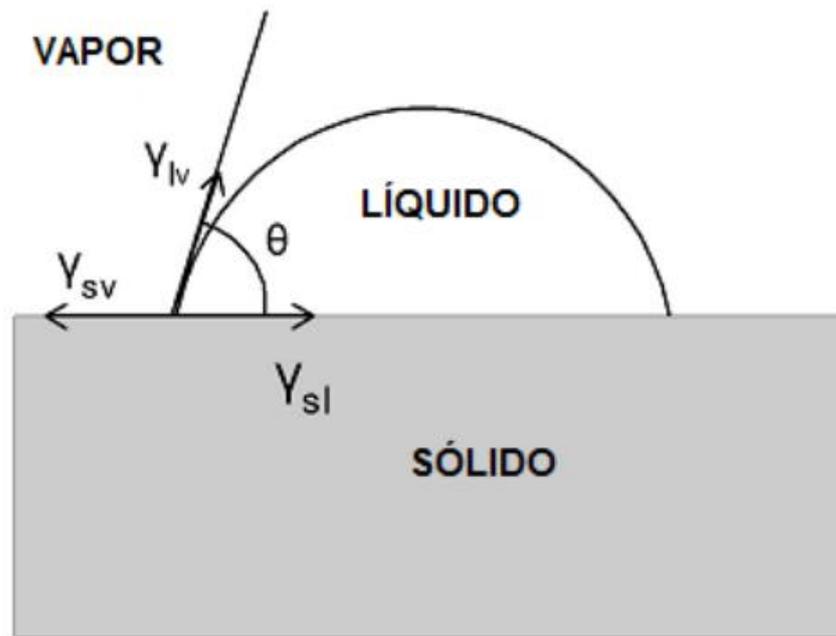


Figura 10 – Representação do equilíbrio de forças de uma gota de líquido sobre uma superfície sólida (SAMPAIO, 2017).

Tabela 3 – Molhabilidade de um sólido

<b>Ângulo de contato</b>	<b>Molhabilidade</b>
<b><math>\theta = 0^\circ</math></b>	<b>Totalmente molhante</b>
<b><math>0 &lt; \theta &lt; 90^\circ</math></b>	<b>molhante</b>
<b><math>\theta &gt; 90^\circ</math></b>	<b>não-molhante</b>

Fonte: SAMPAIO, 2017.

São chamadas de superfícies super-hidrofílicas e super oleofílicas, as superfícies que apresentam molhamento total com o líquido água e óleo por exemplo, essas superfícies apresentam um ângulo de contato de  $\theta \approx 0^\circ$ . Em

situações inversas as superfícies são chamadas de super hidrofóbicas e super-oleofóbicas, são as que apresentam ângulo de conato entre  $150^\circ$  e  $180^\circ$ .

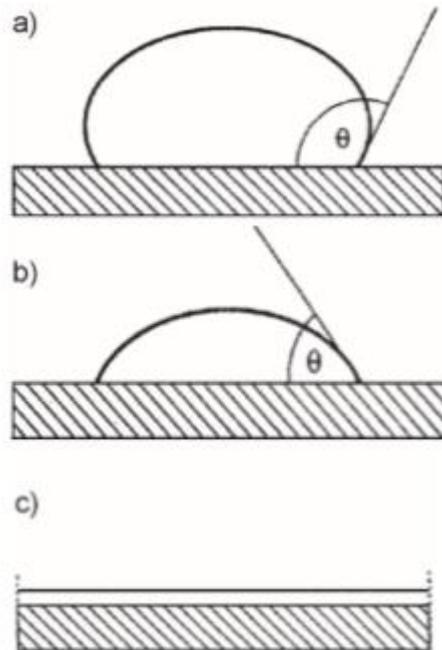


Figura 11 – Representação do ângulo de contato. a) Maior que  $90^\circ$  b) menos que  $90^\circ$  c) Espalhamento total (LUZ, RIBEIRO et al, 2008)

Neste ensaio os compósitos foram submetidos a diferentes fluídos, foram utilizados água destilada, água salina e óleo de motor.

Foram colocadas 3 gotas do líquido transversalmente no corpo de prova dos compósitos e PEUAPM puro, esse ensaio foi feito em duplicata logo, foram 6 gotas para cada composição. Após 5 segundos do toque da gota na superfície do material foram tiradas fotos em uma câmera devidamente posicionada.

Após retirada das fotos das gotas nas amostras, as mesmas foram analisadas pelo Software Sutfens versão 4.5, onde pode-se medir o ângulo de contato da gota com a superfície da amostra.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.1 Difractometria de raios X (DRX)

A análise de difratometria foi feita para o PEUAPM, e para os compósitos PEUAPM/QC com 1%, 2%, 5% e 10%. Na Figura 12, podemos observar e comparar os resultados do DRX.

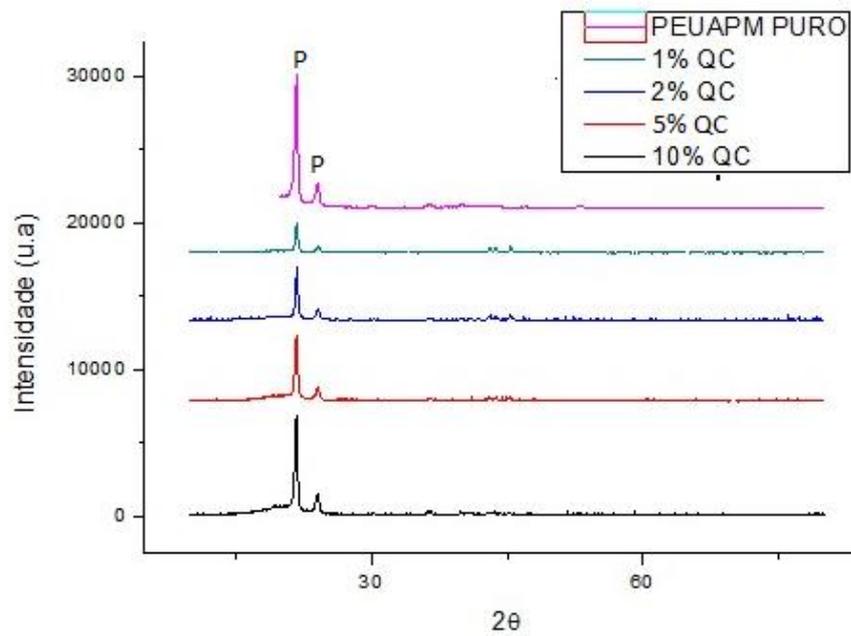


Figura 12 – DRX das composições 1,2,5 e 10% de QC dos compósitos e o PEUAPM puro.

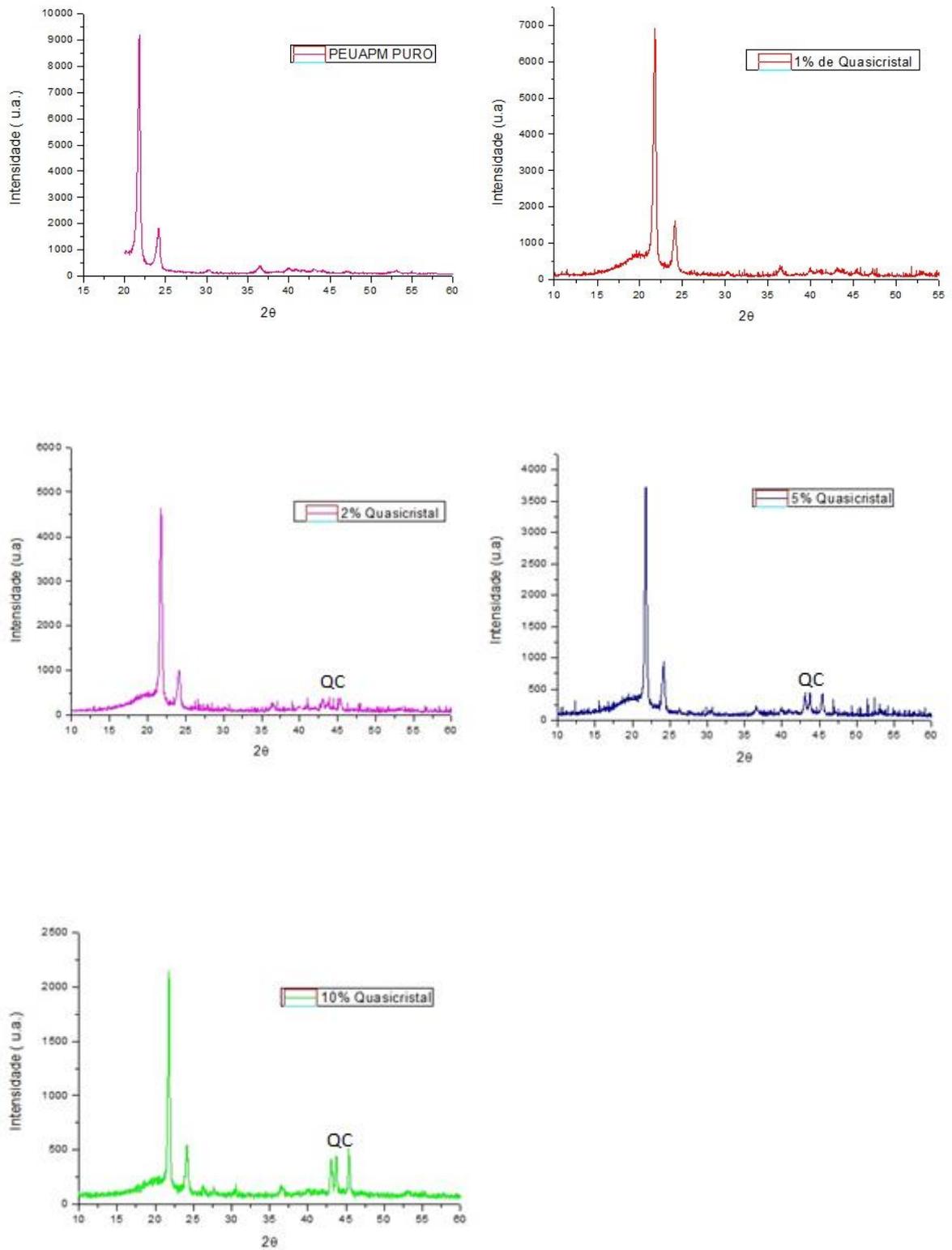


Figura 13 – Análises de DRX para o PEUAPM e os compósitos de PEUAPM/Quasicristal com os teores de 1%, 2%, 5% e 10%.

A análise difratométrica foi feita no intuito de investigarmos as fases presentes depois de todo o processo, observando as mudanças dos picos de intensidade com as diferenças de composições. Os dois primeiros picos se referem a cristalinidade do PEUAPM, que apresenta uma alta intensidade quando puro, mas diminuem ao aumentar os teores de cargas metálicas de quasicristal. As fases dos quasicristais estão presentes, porém suas intensidades comparadas ao do polímero são bem menores. Na Figura 13 temos os gráficos de DRX dos compósitos isolados por teor e do PEUAPM, podendo assim enxergarmos melhor os picos que correspondem as fases quasicristalinas presentes no compósito.

#### 4.2 Molhabilidade

Tabela 3 – Ângulos de contato com os líquidos: água destilada, água salina e óleo de motor.

COMPOSIÇÃO	Água destilada (°)	Água salina (°)	Óleo de motor (°)
<b>PEUAPM Puro</b>	62,4° ± 5,106	61,7° ± 16,05	28,1° ± 2,598
<b>Compósito PEUAPM/QC 1%</b>	71,7° ± 15,41	62,4° ± 10,88	27,2° ± 2,722
<b>Compósito PEUAPM/QC 2%</b>	52,3° ± 0,1154	75,2° ± 20,18	25,2° ± 2,585
<b>Compósito PEUAPM/QC 5%</b>	74,4° ± 18,80	78,2 ± 3,035	25,3° ± 1,806
<b>Compósito PEUAPM/QC 10%</b>	83,7° ± 13,03	74,0° ± 6,151	26,5° ± 2,351

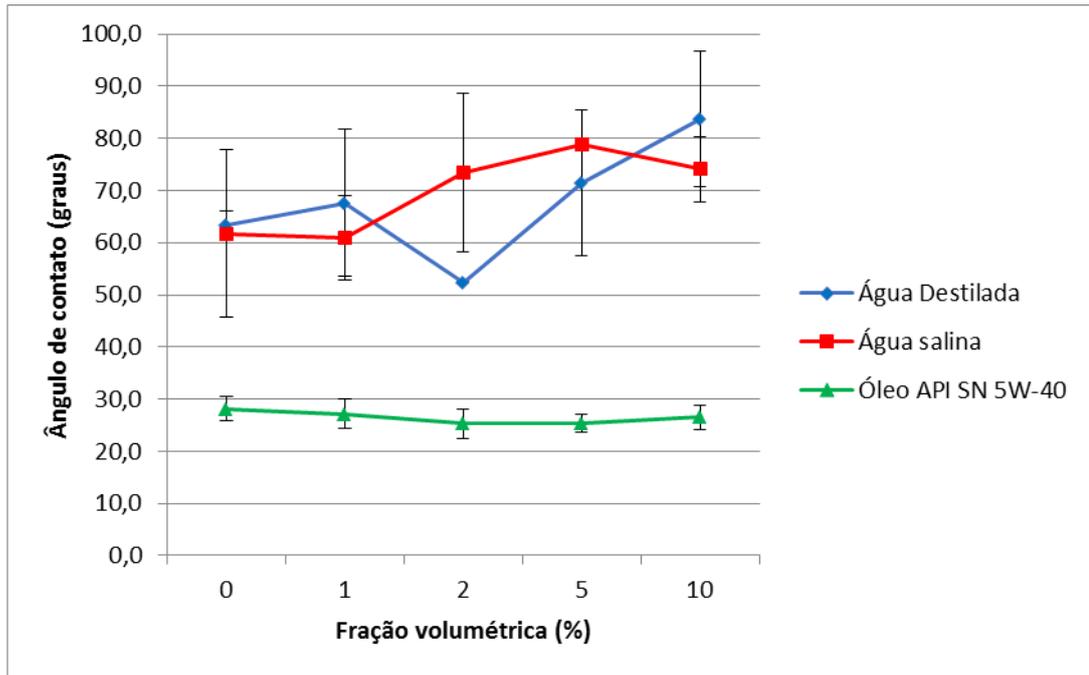


Figura 14 – Gráfico dos ângulos de contato x fração volumétrica.

Tabela 4- Imagens das gotas dos líquidos, água destilada, óleo de motor e água salina sob a superfície do PEUAPM e os compósitos com 1%, 2%, 5% e 10% em volume de quasicristal.

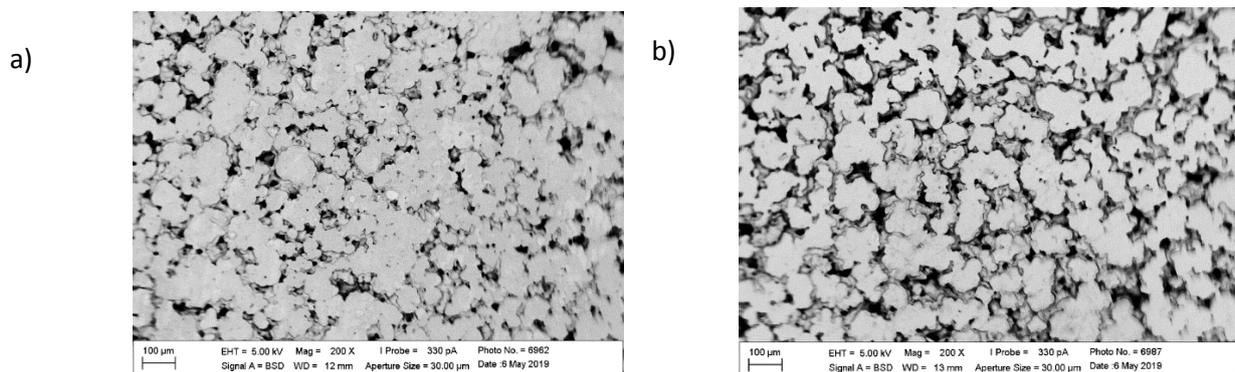
	PEUAPM	1%	2%	5%	10%
Água destilada					
Óleo de motor					
Água salina					

Os ângulos foram medidos através do software Surftens 4.5, foram feitas duplicatas de amostras, e foram pingados 3 gotas de cada líquido em cada corpo de prova dos compósitos e do PEUAPM puro, sendo assim medidos 6 ângulos para cada composição e retirados as médias, os resultados estão dispostos acima na Tabela 3.

Os líquidos de água destilada, água salina e o óleo, apresentaram característica molhante na superfície do PEUAPM puro que apresentou um valor de ângulo de contato de  $62,4^\circ$ , que é menor que  $90^\circ$ , o que implica dizer que a superfície é considerada hidrofílica, isto é, há uma interação química entre o material da superfície e os líquidos aplicados. Seguindo a lógica de que os ângulos de contatos menores que  $90^\circ$ , apresentam essa característica de molhabilidade, vemos que os compósitos variam seus ângulos, mas todos se encaixam dentro dessas características. Os compósitos de PEUAPM/QC com 1% de teor e os demais compósitos de composição 5 e 10% apresentaram um ângulo de contato maior que o do PEUAPM, quando relacionado a água destilada com valores de  $71,7^\circ$ ,  $74,4^\circ$ ,  $83,7^\circ$  respectivamente, com exceção do compósito de PEUAPM/QC com teor de 2% que apresentou um ângulo de contato menor que o PEUAPM de  $52,3^\circ$ . Já para a água salina os compósitos de PEUAPM/QC com 1%, 2%, 5% e 10%, apresentaram um aumento no valor do ângulo de contato comparado ao PEUAPM puro a interação, neste caso é maior para o PEUAPM.

Já para o óleo de motor os ângulos de contato foram bem menores comparados aos outros líquidos, o que implica em uma maior interação dos mesmo com a superfície dos compósitos e do PEUAPM.

### 4.3 Microscopia Eletrônica de Varredura



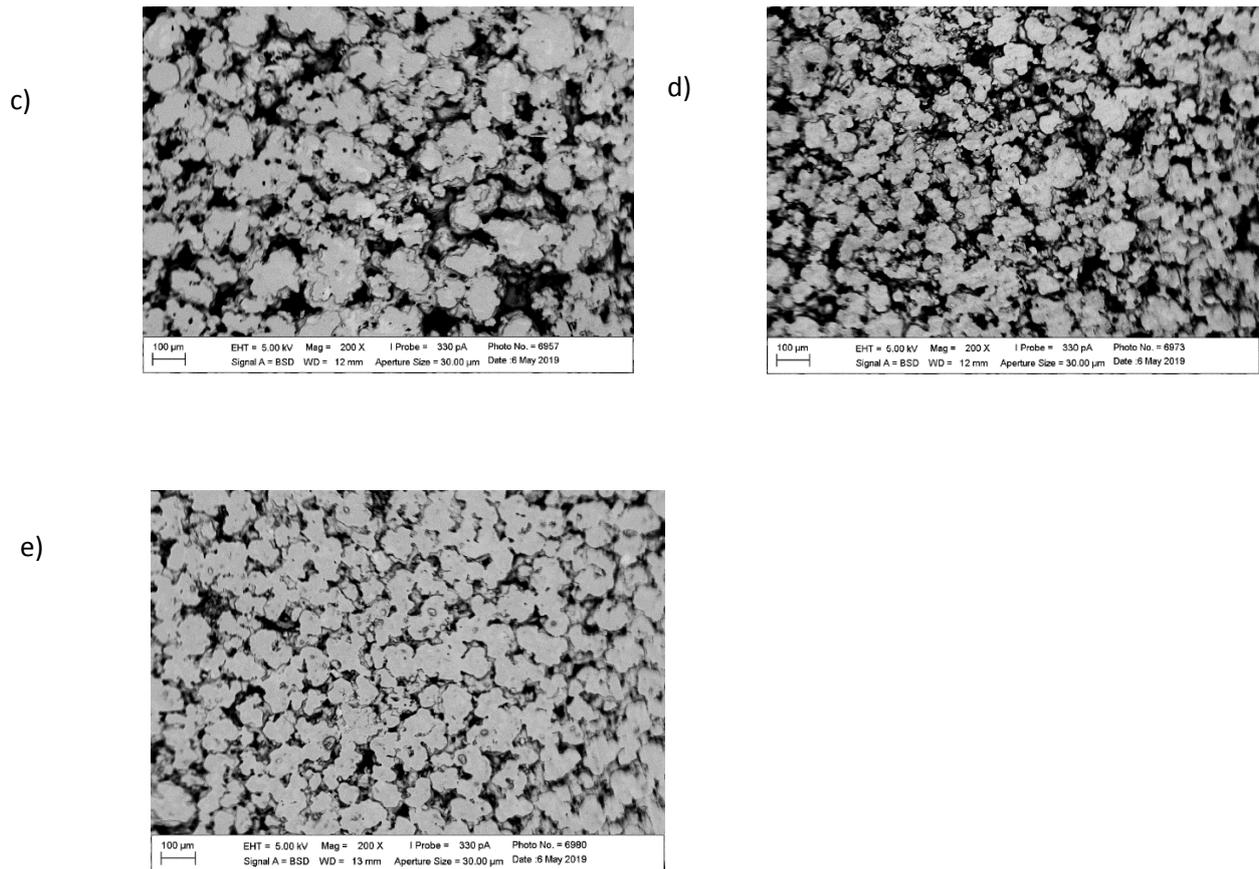


Figura 15 – a) PEUAPM puro, b) Compósito PEUAPM/QC com teor de 1% em quasicristal, c) Compósito de PEUAPM/QC com teor de 2% de quasicristal, d) Compósito de PEUAPM/QC com teor de 5% de quasicristal, e) Compósito de PEUAPM/QC com 10%.

Foi feito a microscopia eletrônica de varredura na superfície dos corpos de provas de PEUAPM e dos compósitos PEUAM/QC com 1%, PEUAPM/QC com 2%, PEUAPM/QC com 5%, PEUAPM/QC com 10% de teor em volume de quasicristal, como pode ser observado na Figura 15.

Podemos perceber o quanto o material moldado apresentou porosidade através das imagens, em a) temos o PEUAPM puro, que demonstrou uma melhor densidade e um menor número de poros aparentes quando relacionado aos compósitos. Em todas as composições dos compósitos os poros se fizeram presentes, e isto influencia nas respostas das propriedades superficiais dos mesmos. Estes poros podem ter sido influenciados pela temperatura no processo de moldagem por compressão, uma maior temperatura ou até mesmo uma maior pressão, poderiam dar respostas diferentes ao material. Uma má posição da matriz

contendo os pós também pode ter causado certa influência de uma má distribuição na temperatura.

## **5 CONCLUSÕES**

Foi feita uma matriz para moldagem dos corpos de provas nunca utilizada para o tipo de prensa de moldagem por compressão usada neste trabalho. A liga metálica de quasicristal foi obtida através de uma reciclagem, onde conseguimos recuperar a mesma através de uma técnica não usual.

Os resultados de superfície para análise de superfície de molhabilidade, foram consideravelmente bons, relacionando a superfície visualmente plana e lisa do corpo de prova após a prensagem, tornando possível o ensaio de molhabilidade.

Todos os compósitos e até o PEUAPM apresentaram uma característica hidrofílica, sendo mais acentuada para o líquido de óleo para motor, através das medidas dos ângulos de contato podemos definir características importantes do material, incluindo sua aplicação, e dependendo da aplicação essas características hidrofílicas e oleofílicas podem ser boas ou não.

A importância da distribuição homogênea da temperatura e até mesmo o aumento da mesma, se tornou visível nas imagens de MEV, onde a porosidade apresentou-se acentuadamente nos compósitos, e isto pode ter influenciado na resposta do ângulo de contato da gota, tendo em vista que superfícies porosas tendem a absorver o líquido.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ADAMSOM, A. W. Physical Chemistry of Surfaces, 5Th Edition, 1991.

ALMEIDA, J. R. M.; MONTEIRO, S. N. The resin/hardener ratio as a processing parameter for modifying the mechanical behavior of epoxy-matrix/glass microsphere composites. *Composites Science and Technology*, v. 58, n. 10, p. 1593–1598, 1998.

ANDERSON, B.C.; Bloom P.D.; Baikerikar K.G.; Sheares V.V.; Mallapragada S.K. AlCuFe quasicrystal/ultra-high molecular weight polyethylene composites as biomaterials for acetabular cup prosthetics. *Biomaterials*, 2002.

BARROSO, M.D.B., Desenvolvimento de compósitos com matriz de geopolímeros reforçados com partículas de quasicristais AlCuFe. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, p.64. 2009.

BECKER, M.R. Preparação e avaliação das propriedades de misturas de polietileno de baixa densidade com polietileno linear de baixa densidade. f.84. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2002.

BESSER, M.F., EISENHAMMER, T. “Deposition and Applications of Quasicrystalline Coatings”. *Mater. Res. Soc. Bull.* Ed.10, (1997),p. 59–63.

BLOOM, P.D., BAIKERIKAR, K.G., OTAIGBE, J.U. V.V.: Development of novel polymer/quasicristal composite materials. *Mater. Sci. Eng.* 294–296 (2000) 156–159.

BUROKOWSKI, L.; REZENDE, M. C. Modificação da Rugosidade de Fibras de Carbono por Método Químico para Aplicações em Compósitos Poliméricos. Vol 1, nº 2, p 51-57, 2001.

CALLISTER, Jr., W.D. *Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução* 7ª edição. LTC Editora, 2008, 704 pp.

CARACELLI, Igenes. “ Nobel em Química 2011: Descoberta dos Quasicristais, uma Nova Classe de Sólidos”, Química Nova na Escola, Vol. 33, N° 4, São Paulo, 2011).

CARRAHER, C. E. Jr. Polymer Chemistry - An Introduction. 4 ed, Editora: Marcel Dekker, New York, 1996.

CHATTOPADHYAY, K.; RAVISHANKAR, N. ; GOSWAMI, R. Prog. Crystal Growth Characterisation 34. p. 237–249, 1997.

COSTA, M. L. – “Efeito do conteúdo de vazios no comportamento mecânico de compósitos avançados carbono/epóxi e carbono/bismaleimida”.Tese de Doutorado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos,2002.

COUGHLAN, J.J.; HUG, D.P. Ultra High Molecular Weight Polyethylene. Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, v. 6, John Wiley & Sons, New York. p.490-494,1986.

COUTINHO, F. M. B.; MELLO, I. L.; SANTA MARIA, L. C. Polietileno: Principais Tipos e Aplicações. Polímeros: Ciência e Tecnologia, Vol 13, n°1, p 1-13, 2003.

DEDAVID, B.A.; GOMES, C.I.; MACHADO, G. Microscopia Eletrônica de Varredura: Aplicações e preparação de amostras. Editora: EDITPUCRS, 2007-Porto Alegre. P 60.

DMITRIENKO, V.E. ; ASTAF'EV, S.B.; KLÉMAN, M. Materials Science Engineering. A294–296 .p. 413–417, 2000.

DUBOIS, J. M., (2000), New prospects from potential applications of quasicrystalline materials, Materials Science and Engineering, 294-296, 4-9.

DUBOIS, J.M., FERRÉ, E.B., Feuerbacher, M., "Introduction to the Science of Complex Metallic Alloys". Basic of Thermodynamics and Phase Transition in Complex Intermetallics. Vol. 1. 2008, França: World Scientific.

FARIAS, J. X. N.; SANSON, F. K.; CALUMBY, R. B. Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular (peuapm): propriedades, processamento e aplicações. In: 9º Congresso Brasileiro de Polímeros, Campina Grande -PB, 2007. Anais. P 1-10.

FAUDOT, F., QUIVY, A., CAIVAYRAC, Y., GRATIAS, D., HARMELIN, M. About the Al-Cu-Fe icosahedral phase formation. Materials Science and Engineering : A, vol 113, 1991, p. 383-387.

FELDMAN, D.; BARBALATA, A. Synthetic Polymers – Technology, Properties, Applications, ed. Chapman &hall, London, 3 ed. 1996.

FERRANTE, M. "Seleção de materiais". 2.ed. São Carlos: EDUFSCAR, 2002. 286 p.

FIGUEIREDO, L.R.F. Compósitos de Polietileno de Ultra alto Peso Molecular (PEUAPM) e Quasicristal (AlCuFe): comportamento térmico e mecânico. (Tese de mestrado em Engenharia de Materiais)- Universidade Federal da Paraíba, João pessoa, 2013.

GAY, D.; HOA, S.V.; TSAI, S.W. Composite Materials Design and Applications: 1 ed. Editora CRC Press, 2002, 552p.

GIACOVAZZO, C., MONACO, H.L., VITERBO, D., SCORDARI, F., GILLI, G. ZANOTTI, G. CATTI, M. Fundamentals of Crystallography, University Press, Oxford, 1992. 3 ed. P.654.

GOMES, J. W. Obtenção e caracterização de um compósito de matriz polimérica com carga de resíduos gerados pela manufatura do MDF (medium density fiberboard) para a fabricação de um forno

solar. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN, 2015.

HUTTUNEN-SAARIVIRTA, E., (2004), Microstructure, fabrication and properties of quasicrystalline Al-Cu-Fe alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, vol.363, 150 - 174).

JANOT, C., DUBOIS, J.M., (1998), “Les Quasicristaux Matière à Paradoxes”. EDP Science, France.

JOSEPH, D.; ELSER, V. *Materials Science Engineering*. A294–296. p 254–257, 2000.

KAW, Autar K. *Mechanics of Composite Materials*. United States of America: CRC Press, 1997. 329p.

KIM, J-K.; MAI, Y-W. *Engineered Interfaces in Fiber Reinforced Composites*. 1 ed. Elsevier Science, Oxford, 1994. 146p.

LIMA, B. A. G. S., “Propriedades Mecânicas da liga AlCuFeB com estrutura icosaedral através da técnica de indentação instrumentação”, *Dissertação de Mestrado – UFPB, João Pessoa, Brasil, 2011*).

LION, C. A. P. *Desenvolvimento e caracterização de um compósito a partir da borra da piaçava para construção da parábola de um fogão solar a concentração*. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN, 2013.

LUZ, A.P., RIBEIRO, V.C. *Uso da molhabilidade na investigação do comportamento de corrosão de materiais refratários*. *Cerâmica*. São Paulo p. 54 (174-183).

MANO, E. B.; MENDES, L. C. Introdução a Polímeros. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1999. 191 p.

MARK, H.F., BIKALES, N. M., OVERBERGER, C. G., MENGES, G., KROSCWITZ, J. I. Encyclopedia of Polymer Science and Engineering. 2nd ed., v. 15. New York: John Wiley, 1989.

MARSHALL, A C. - "Composite structures in home built sport aircraft", in: Proceedings of International Sampe Symposium, 32nd, p.1510, 1987.

MARTINS, G. A. S. Informações sobre Manuseio e Estocagem de Polietilenos e Polipropilenos. Boletim Técnico nº14 – OPP Petroquímica S.A., 1999.

MATHIAS, I. Funcionalização de PEUAMM com anidrido maleico via moagem de alta energia – f. 56, Dissertação de Mestrado- Universidade Estadual de Ponta Grossa: Ponta Grossa, 2010.

MIRAVETE, A. Materials Compueston. 1 ed. Editora: Reverté, 2003, 953p.

MUNARO, M. Desenvolvimento de Blendas do Polietileno com desempenho Aperfeiçoado Para utilização no Setor Elétrico. f.80, Tese de Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

NOGUEIRA, Clara Leal. Obtenção e caracterização de compósitos termoplásticos avançados à base de matrizes de poli(propileno) reforçadas com fibra de carbono, 2004. 227f. Tese (Doutorado em Ciências). Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2004.

PARDAL, A.C. Conceito de Materiais Compósitos. Know.netenciclopédiatemática. 2009. Disponível em <<http://know.net/cienciasexactas/quimica/materiais-compositos/>>. Acesso em 03/02/2019.

PEACOCK, A.J. Handbook of Polyethylene: Structures, Properties and Applications. Editora: Marcel Dekker, p.537. 2000.

QUENTAL, A. C.; HANAMOTO. L. S.; FELISBERT, M. I. Caracterização de Polietilenos Lineares de Baixa Densidade: Determinação do teor de Ramificação Por Métodos espectroscópicos. Polímeros, p. 274-280, 2005.

ROSÁRIO,S. C. SILVA, L.G.A. Estudo do Efeito da Radiação Ionizante sobre o Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular Reciclado de Uso Industrial. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, nº 17, 2006, Foz do Iguaçu, PR. Anais Foz do Iguaçu: 2006.

SAMPAIO, G.Z. Influência da temperatura sobre a energia livre superficial de Shales e Tight Gas Sands.F.101. Dissertação de mestrado- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

SCHULTZ, M.E.R. Modificação química de polietileno linear de baixa densidade e aplicação em blendas com poli(tereftalato de etileno). F.189. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2004.

SHACKELFORD, J.F. Introduction to Materials Science for to Engineers. 4ª ed. MacMillan Publishing Company, USA, 1996.

SHECHTMAN, D., et al., Metallic Phase with Long-Range Orientational Order and No Translational Symmetry. Physical Review Letters, 1984. p. 1951-1953.

SILVA, A. L. N., “Preparação e Avaliação de Propriedades Térmicas, Morfológicas, Mecânicas e Reológicas de Misturas à Base de Polipropileno e Poli(etileno-co-1-octeno)”, f. 276, Tese de Doutorado-Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1999.

SILVA, Rosana Vilarim da. Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais. São Carlos, 2003. 157f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

VEKILOV Y. K., CHERNIKOV M. A. Quasicrystals Reviews of Topical Problems, Uspekhi Fizicheskikh Nauk, Russian Academy of Sciences, Physics - Uspekhi 53.p. 537 - 560 (2010).

VENTURA, A.M.F.M. Os compósitos e a sua aplicação na reabilitação de estruturas metálicas. Ciência e Tecnologia dos Materiais, Vol 21, nº ¾, 2009.

VIANA, S.G. Produção da Liga Quasicristalina do Sistema AlCuFe Utilizando Moagem de Alta Energia. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, p.79.2009.

YOKOYAMA, Y., FUKAURA, K., SUNADA, H., NOTE, R., HIRAGA, K., INOUE, A., (2000), Production of single Al<sub>64</sub>Cu<sub>23</sub>Fe<sub>13</sub> icosahedral quasicrystal with the Czochralski method, Materials Science and Engineering 294–296, 68–73.