



Universidade Federal da Paraíba

Centro de Tecnologia

Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica

Mestrado – Doutorado

**Estudo das Propriedades Tribômecânicas de Compósitos de
Politetrafluoretileno com Quasicristal.**

Aline Karla Barbosa da Silva

Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal da Paraíba
para obtenção do grau de Mestre.

João Pessoa – Paraíba

Janeiro, 2018.

ALINE KARLA BARBOSA DA SILVA

**Estudo das Propriedades Tribômecânicas de Compósitos de
Politetrafluoretileno com Quasicristal.**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica – PPGEM – da Universidade Federal da Paraíba para obtenção do título de Mestre.

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica – PPGEM – da Universidade Federal da Paraíba para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof.^a. Dr. Danielle Guedes de Lima Cavalcante

João Pessoa – Paraíba


Janeiro, 2018.

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES TRIBOMECÂNICAS DE
COMPÓSITOS DE POLITETRAFLUORETILENO COM
QUASICRISTAL**
por

ALINE KARLA BARBOSA DA SILVA

Dissertação aprovada em 31 de janeiro de 2018

Danielle Guedes de Lima Cavalcante
Profa. Dra. DÂNIELLE GUEDES DE LIMA CAVALCANTE
Orientador – UFPB


Prof. Dr. DANNIEL FERREIRA DE OLIVEIRA
Examinador Interno - UFPB


Prof. Dr. ELITON SOUTO DE MEDEIROS
Examinador Externo – UFPB


Prof. Dr. TIBÉRIO ANDRADE DOS PASSOS
Examinador Externo – UFPB

Dedico este trabalho primeiramente a Deus e a Nossa Senhora da Penha, aos meus pais José Antônio da Silva e Maria de Lourdes Barbosa, aos meus irmãos Alysson de Kássio Barbosa da Silva, Alexandre Nascimento da Silva e Wellington Nascimento da Silva, pelo total apoio em todas as etapas da minha vida.

Não se pode criar experiência. É preciso passar por ela.

Albert Camus

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e a Nossa Senhora da Penha, por todo o meu amparo na fé. Sem eles nada seria possível.

Aos meus pais, José Antônio da Silva e Maria de Lourdes Barbosa, pelo total apoio e por acreditarem em mim, em todas essas etapas em que passamos juntos.

Aos meus irmãos Alysson, Alexandre e Leto, as cunhadas Fernanda, Jacilene e Moiseith e aos meus sobrinhos Bianca, Bruno, Saulo, Celina e Helena, família linda e que me apoia em tudo, obrigada pela força.

A minha orientadora Danielle Guedes de Lima Cavalcante, pelo o apoio e todos os ensinamentos, que sempre ficou no meu pé para que esse trabalho saísse perfeito.

Ao meu Coorientador Prof. Dr. Tibério por todos os ensinamentos ao decorrer deste estudo.

Às minhas PIBICS Angel Sousa e Antônia Pamela, pelas minhas perturbações a elas, e todos os ensinamentos que vocês me proporcionaram.

Ao GET - UFRN (Grupo de estudos Tribológicos) pela as análises realizadas e pela dúvidas solucionadas, em especial a Professora Juliana e aluno de mestrado Tony.

Aos técnicos do LSR (CT – UFPB) em especial a André, Meyson, Joelma e Breno, por toda parte experimental deste trabalho.

À Oficina de Engenharia Mecânica da UFPB e seu Coordenador Rodinei Medeiros, pelas as peças elaboradas.

Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Paraíba.

Aos amigos que fiz na graduação até aqui na pós-graduação, me apoiam em tudo Larissa Bagano, Aline Fernandes, Diego Ferreira, Rafael Inácio, Alfredo Albuquerque, Henrique Figueiredo, João Macedo, Ronaldo Marques, Kerolayne Leite, Fabiana Medeiros, Ithyara Machado, Robson Andrade, Philipe Araújo, Kaline Lucena, Vinicius Lucena, Raissa Porto, Regina de Moura, Andrezza Carla, Jennifer Barros, Marcelo

Lima, João Firmino, Alex Backer, Fernando Tadeu, Amanda Gomes, Rivaildo Miranda, Suellen Veloso e Fernando Túlio.

Em especial às minhas primas Taynná e Camila, por serem essas primas que me apoiam em tudo o que eu faço, sempre.

Aos Tios, Tias, primos e primas, pelo apoio e a torcida em todos esses anos.

À professora Dr.^a Helenice Duarte pelos ensinamentos da graduação até hoje em tudo que eu preciso de conselhos e orientações.

À CAPES, pela bolsa concedida, o que viabilizou a minha dedicação exclusiva nesta pesquisa;

Estudo das Propriedades Tribomecânicas de Compósitos de Politetrafluoretileno com Quasicristal.

RESUMO

O desenvolvimento de novos materiais que possam contribuir para melhoria dos sistemas tribológicos tais como, diminuição de atrito e diminuição do desgaste, tem despertado interesse dos pesquisadores do mundo inteiro. O uso do PTFE como termoplástico de alto desempenho já se consagrou no mercado dadas suas excelentes características superficiais, baixo coeficiente de atrito, alta lubrificidade, associadas à alto desempenho sob impacto. Dentre as desvantagens no uso deste material cita-se a baixa resistência ao desgaste, bem como resistência mecânica limitada. Logo, o objetivo deste trabalho trata-se do desenvolvimento de compósito PTFE com carga de pó de ligas quasicristalina de maneira a obter um material com características superficiais de excelência, em decorrência das características da matriz bem como do pó metálico, associado a elevada resistência ao desgaste e mecânica do reforço quasicristalino. As ligas quasicristalinas foram obtidas via fusão dos elementos precursores, tratados termicamente e cominuídos em moinhos planetários de alta energia. Os compósitos foram desenvolvidos via sinterização a quente de PTFE com adição de carga de pó de ligas icosaedral quasicristalina AlCuFe. À matriz de PTFE foram adicionados pós de reforço metálico em frações volumétricas variáveis de 1%-20% Vol. Foram realizados os ensaios de Pino sobre disco, Molhabilidade, Rugosidade, Dureza Shore D, Ultramicrodureza e análises morfológicas. Dentre os resultados mais importantes que os compósitos apresentaram pode-se citar a melhoria na resistência ao desgaste e ganho significativo em sua dureza, mantendo o baixo coeficiente de atrito, ganho de hidrofobicidade em relação à água salina. Os compósitos apresentaram boa densidade após sinterização além de pouca porosidade, atestando assim a viabilidade no desenvolvimento de compósitos PTFE/QC, com características de melhor desempenho mecânico/tribológico/superficiais, quando comparado aos elementos precursores e ao PTFE puro.

Palavras-chaves: PTFE, quasicristais, tribológicas, desgaste.

Study of the tribomechanical properties of Polytetrafluoroethylene composites with Quasicristal.

ABSTRACT

The development of new materials that may contribute to the improvement of tribological systems such as reduced friction and decreased wear has been of interest to researchers worldwide. The use of PTFE as a high performance thermoplastic has already been established in the market due to its excellent surface characteristics, low coefficient of friction, and high lubricity, associated to the high performance under impact. Among the disadvantages in the use of this material is the low wear resistance as well as limited mechanical resistance. The objective of this work was the development of PTFE composite with powder loading of quasicrystalline alloys in order to obtain a material with excellent surface characteristics, due to the characteristics of the matrix as well as the metallic powder, associated with high wear resistance and mechanical properties. quasicrystalline reinforcement. The quasicrystalline alloys were obtained by melting the precursor elements; heat treated and comminuted in high energy planetary mills. The composites were developed by hot sintering of PTFE with added powder loading of icosahedral quasicrystalline AlCuFe alloys. To the PTFE matrix were added metallic reinforcement powders in variable volumetric fractions (1% -20% Vol.). The tests of Pin on disk, Wettability, Roughness, Shore D Hardness, Ultramicrodureza and Morphological analysis were carried out. Obtaining as positive results in relation to the wear where the polymer matrix had an increase of its resistance to wear with the increase of the loads of quasicristais. The hardness had a significant increase where the composition of 20% obtained a hardness of 51.4 Shore D, attesting the feasibility in the development of composite PTFE / QC, of high technological performance.

Key-words: PTFE, quasicristais, tribological, wear.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	15
INTRODUÇÃO	15
1.1 Abordagem geral.....	15
1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO	17
1.2.1 Objetivo geral.....	17
1.2.2 Objetivos específicos.....	18
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	18
CAPÍTULO II	19
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1 Estado da Arte	19
2.2 Obtenções dos Compósitos de PTFE/QC	21
2.2.1 Compósitos.....	21
2.2.2 Politetrafluoretileno.....	22
2.2.3 Quasicristais	24
2.3 Propriedades dos compósitos de PTFE/QC	27
2.3.1 Propriedades Tribológicas.....	27
2.3.2 Propriedades Mecânicas	33
CAPÍTULO III	35
MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1 MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1.1 Obtenção do pó – AlCuFe(B) Atomizado.....	36
3.1.2 Obtenção do pó de Politetrafluoretileno (PTFE).....	36
3.1.3 Obtenção dos Compósitos.....	37
3.2 Caracterização dos Compósitos.....	38
3.2.1 Propriedades Tribológicas dos Compósitos	39
3.2.2. Propriedades Mecânicas dos Compósitos	41
3.2.3 Caracterização dos compósitos	42

CAPITULO IV	43
4.1 RESULTADOS	43
4.1.1 Caracterização dos pós	43
Produção dos compósitos	46
4.1.2 Tribologia dos compósitos.....	46
4.1.3 Análises das propriedades mecânicas	66
Ultramicrodureza	67
CAPÍTULO V	69
CONCLUSÕES	69
REFERÊNCIAS	70
APENDICE I	74
APENDICE II	79

LISTAS DE FIGURAS

Figura 2.1: A importância relativa dos materiais	22
Figura 2.2: Plásticos, suas utilizações e temperaturas de trabalhos.	23
Figura 2.3: Diagrama de fases ternário da liga AlCuFe em alumínio.	26
Figura 2.4: Os parâmetros da rugosidade superficial	28
Figura 2.5: Desenho esquemático dos quatro tipos de desgastes	31
Figura 2.6: Diagrama esquemático do ensaio pino sobre disco	32
Figura 2.7: Ângulo de contato de uma gota em uma superfície sólida	33
Figura 2.8: Indentadores utilizados no durômetro Shore	34
Figura 3.1: Sinterização e caracterização do compósito.	35
Figura 3.2: Bancada para moldagem por compressão à quente.	38
Figura 3.3: Equipamento Tribômetro com configuração pino sobre disco.	39
Figura 3.4: Marcações nas amostras para o ensaio de Dureza Shore D.	41
Figura 4.1: Difrátograma – (a) pó atomizado de composição nominal Al ₅₉ Cu _{25,5} Fe _{12,5} B ₃ contendo as fases icosaedrais e fase β -Al(Cu,Fe); (b) Pó tratado termicamente com fase icosaedral quasicristalina.....	44
Figura 4.2: Difrátograma de Raios X do polímero PTFE.	45
Figura 4.3 – Amostras Sinterizadas.....	46
Figura 4.4: Largura das pistas do ensaio de pino sobre disco a) 0% b) 1% c) 5% d) 10% e) 15% f) 20%	47
Figura 4.5: Gráficos de coeficiente de atritos (a) composições 0% e 1% (b) Composições 0% e 5% (c) composições 0 e 10% (d) Composições 0% e 15% (e) Composições 0% e 20%.....	50
Figura 4.6: Gráfico dos coeficientes de atritos na distância percorrida de 568,8 metros.	53
Figura 4.7: Gráfico dos coeficientes de atritos na distância percorrida de 10 a 40 metros.	54
Figura 4.8: Gráfico dos coeficientes de atritos na distância percorrida de 10 a 40 metros.	54
Figura 4.9 : Imagens do MEV da composição de 5%	55
Figura 4.10: Gráfico da Profundidade de Desgaste em relação ao ensaio	58
Figura 4.11: Gráfico do afundamento da pista em função do percentual de cargas e com os seus desvios padrões	59
Figura 4.12: Gráfico de redução de massa nos compósitos.....	60
Figura 4.14: Gráfico dos ângulos da molhabilidade com a água destilada nos compósitos.....	63
Figura 4.15: Gráfico dos ângulos da molhabilidade com a água destilada nos compósitos.....	65
Figura 4.16: Gráfico da Dureza Shore D e suas respectivas formulações.....	66
Figura 4.17: Gráficos do resultado do ensaio de ultramicrodureza.....	67
Figura 4.18: Gráfico do Modulo de Elasticidade de Todas as Composições	68

LISTA DE TABELA

Tabela 1: Formulação dos Compósitos.....	37
Tabela 2: Largura da pista após o ensaio de pino sobre disco.....	47
Tabela 3: Coeficientes de atritos dos compósitos na distância total percorrida de 568,8 metros.....	49
Tabela 4: Coeficientes de atritos dos compósitos na distância de 10 a 40 metros.....	53
Tabela 5: Amostras pesadas antes e depois dos ensaios.....	60
Tabela 6: Ângulos de contato.....	62
Tabela 7: Resultados obtidos do ensaio de Dureza Shore D.....	67

LISTA DE SIGLAS

PTFE – Politetrafluoretileno

QC – Quasicristal

ETFE – Etileno-tetrafluoretileno

FEP - Hexafluorpropileno

PFA - Perfluoroalcóxido

PVDF - Polivinilidene de flúor

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.1 Abordagem geral

Recentemente várias conquistas tecnológicas encontradas em inúmeras aplicações em relevantes áreas tais como bioengenharia, automobilística, construção civil, petroquímica, naval, aeroespacial, petroquímica, somente se tornaram viáveis após desenvolvimento de compósitos estruturais. A classe de materiais compósitos é muito ampla e abrangente, sendo, na maioria das vezes, estes materiais reforçados tem como objetivo aprimorar suas características originais. Os reforços contínuos apresentam excelentes desempenhos estruturais para esses compósitos, considerando as características na rigidez e resistência específica. Tornando esses materiais ainda mais resistentes aos mais diversos tipos de ambientes corrosivos e, se comparados a ligas metálicas, são consideravelmente mais leves (NETO e PARDINI, 2006).

Dentre os materiais compósitos em ascensão de aplicação, cita-se os polímeros de engenharia reforçados com pós metálicos ou cerâmicos, aliando a leveza dos materiais poliméricos com a elevada resistência das cerâmicas e dos metais. Um dos polímeros de alto desempenho que já detém uso consagrado em diversas aplicações, podendo ser citado o politetrafluoretileno (PTFE). Dentre as suas peculiaridades que tornam este material especial é possível citar suas propriedades superficiais de baixa aderência, baixo coeficiente de atrito, estabilidade química e térmica. As características limitantes no uso desses polímeros são a baixa resistência mecânica e a baixa resistência ao desgaste.

Ao passar dos anos ocorreu uma grande evolução tecnológica em relação aos novos materiais, devido a isto, a tribologia conquistou novas áreas de atuação, devido a isso grandes avanços tecnológicos, evitando futuramente danos às máquinas e aos equipamentos, juntamente resultando numa grande redução de prejuízos, não afetando a produção (STACHOWIAK, 2014).

Para solucionar o inconveniente de baixa resistência mecânica dos polímeros, como PTFE, algumas soluções podem ser sugeridas, como, o desenvolvimento de compósitos com reforços cerâmicos e metálicos. Algumas fibras e pós de reforço, no entanto vem sendo pesquisado e utilizado, tais como carbetos, fibras de vidro, carbono, pós de titânio, alumina, dentre outros.

Uma nova classe de materiais dúcteis e de alto desempenho tribológico e com características superficiais próximas ao teflon vem sendo pesquisado de maneira a substituir alguns reforços, anteriormente citados, com características inferiores e de preços mais elevados. São as ligas quasicristalinas que despontam como um novo viés de aplicação no desenvolvimento de compósitos reforçando plásticos de alto desempenho e de baixa resistência.

E com a necessidade de manufatura por meio do processamento do pó desse polímero, revolve a produção de compósitos com fibras contínuas que utilizam o PTFE como matriz, um procedimento relativamente complicado quando comparado ao processamento dos habituais compósitos de matrizes termofixas, no entanto, podem ser usados para facilitar o processo de fabricação de laminados (SOUZA, J. R. et al. 2013).

Os quasicristais são estruturas ordenadas à longa distância sem periodicidade de translação, compostas por unidades estruturais icosaedrais, octogonais, decagonais ou dodecaedrais de células unitárias comuns aos cristais. Como anteriormente citado, esses materiais quasicristalinos oferecem excelentes propriedades mecânicas e superficiais como podemos citar a elevada dureza, baixo coeficiente de atrito, boa resistência de oxidação e corrosão, elevada resistência ao desgaste, e ainda baixa condutividade térmica e elétrica. A elevada dureza dos quasicristais vem acompanhada de alta fragilidade, sendo este o motivo pelo qual é utilizado em forma de pó como reforço para compósitos ou para aplicação em revestimentos (SOUZA, 2009).

O PTFE com sua baixa resistência ao desgaste pode ser melhorado com a adição de aditivos ou reforços a este polímero, formando compósitos poliméricos (STANKOVIĆ, 2013). O mesmo possui características que se destacam dos outros polímeros que são as mecânicas, as elétricas, as térmicas e sua aderência. Além disso, é quimicamente inerte, ou seja, para que ocorra a sua adesão, deve ser feito um tratamento químico (COLLIN e FAKE, 1995).

Os materiais quasicristalinos quando utilizados como reforços em polímeros ainda são pouco explorados, porém, tem atraído grande atenção por mostrar-se bastantes promissores (BLOOM et. al, 2000). Esses polímeros termoplásticos de alto desempenho junto com o reforço comparados ao polímero puro indicaram um ganho de resistência ao desgaste. Este resultado tem como ser justificado pela combinação da alta dureza, baixo coeficiente de atrito e baixo coeficiente de condutividade térmica, inerente ao quasicristal. Mesmo com o reforço ao PTFE as propriedades termoquímicas dos polímeros, o ponto de fusão e a cristalização, que são características desses materiais, não foram alteradas, isto indica que os quasicristais não catalisaram reações indesejáveis dos polímeros.

Nos biomateriais vêm sendo estudados estes compósitos poliméricos Polímero/QC utilizando como matriz de polímeros de altas massas molares (BRUNNER e TERVOORT, 2006; SCHWARTZ e BAHADUR, 2007; PLUMBEE, SCHWARTZ, 2009). O mesmo vem apresentando melhores características tribológicas quando comparadas aos polímeros puros (ANDERSON et. al, 2002).

O desenvolvimento dos compósitos PTFE/QC, para este trabalho, teve como principal intento melhorar a resistência da matriz polimérica ao desgaste e com isso agregar valores às suas características mecânicas através de diferentes formulações volumétricas de quasicristais em uma matriz polimérica. Para tanto, foram feitas análises morfológicas, mecânicas, tribológicas e superficiais deste compósito.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

1.2.1 Objetivo geral

Desenvolver um compósito de PTFE+QC, em diferentes proporções e avaliar as características mecânicas, tribológicas e microestruturais.

1.2.2 Objetivos específicos

- ✓ Produzir pó de ligas quasicristalinas de AlCuFe, atomizados;
- ✓ Produzir compósitos PTFE/ QC;
- ✓ Analisar características de desgaste (afundamento de pista e coeficiente de atrito) em relação ao incremento no teor de quasicristais à matriz polimérica;
- ✓ Avaliar a dureza do compósito com a adição de quasicristais;
- ✓ Caracterizar a Molhabilidade deste compósito;
- ✓ Avaliar a presença de variação no módulo de elasticidade do compósito.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Esta dissertação está estruturada da seguinte forma:

O capítulo I é uma introdução na qual foi abordada a importância do trabalho e de seus objetivos.

No capítulo II, é a parte do estado da arte e da revisão bibliográfica onde foi abordado todo o embasamento teórico para embasar as possíveis discussões dos resultados.

No capítulo III, são descritos os materiais e métodos que foram utilizados para a confecção do compósito e sua caracterização, analisando suas propriedades tribológicas e mecânicas.

O capítulo IV apresenta os resultados das análises nos quais os compósitos foram submetidos para a sua caracterização tribológicas, microestrutural e mecânicas, comparados a estudos similares em relação aos compósitos que estão disponíveis na literatura.

No capítulo V são apresentadas as conclusões.

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Estado da Arte

Os compósitos a cada ano vêm ganhando espaço no mercado por serem bastante utilizados, uma vez que é um material mais completo de propriedades mecânicas, tribológicas e microestruturais. Estudos vêm sendo realizados para que aconteça a melhoria de propriedades, quando comparados aos elementos precursores. O PTFE, por ter baixa resistência mecânica e ao desgaste, vem sendo estudado com objetivo de ganhos não só através do seu processamento, mas também na adição de elementos que gerem melhoria destas características.

Compósitos poliméricos QC/polímero de ultra alto peso molecular vem sendo estudado em uso em biomateriais (BRUNNER e TERVOORT, 2006; SCHWARTZ e BAHADUR, 2007; PLUMBEE, SCHWARTZ, 2009). Este tipo de compósito apresentou melhores qualidades tribológicas quando comparadas ao polímero puro (ANDERSON et. al, 2002). Para esta aplicação, não existe dúvida quanto aos benefícios dos quasicristais relativos ao seu desempenho superficial.

Em estudos utilizando QC como reforço em polímeros, Bloom (2002) afirma que utilizando este reforço na matriz polimérica, já diminuiu simultaneamente o desgaste de polímero epóxi reticuladas, ao mesmo tempo em que proporcionava baixos desgastes em materiais de superfície de aço. A baixa dureza das cargas de metal dúctil resultou em maiores coeficientes de desgaste em comparação com a polímero epóxi reticulada não preenchida. Além disso, o QC tem boa resistência à corrosão e pode ser explorado como um enchimento resistente ao desgaste para polímeros em ambientes de serviço adversos.

Como pode ser confirmado por Souza (2015), que no seu trabalho foi utilizado como reforço ao PTFE o rejeito de Scheelita em frações volumétricas na qual esses compósitos foram submetidos a ensaios tribológicos e mecânicos, obtendo como resultados em suas formulações um bom desempenho tribológico que aumentou a resistência ao desgaste e sua resistência mecânica, aumentando a sua dureza Shore D que foi influenciada pelo aumento da carga mineral.

Um estudo (CONTE, 2012) comparativo baseado na análise de energia de fricção dos compósitos de PTFE foi aqui apresentado, levando em consideração vários aspectos do comportamento tribológico dos materiais em análise. Ao usar cargas de partículas rígidas para resistir ao desgaste severo de PTFE, tais enchimentos comprometem as propriedades de baixa fricção de PTFE atrativas, mas o desgaste do compósito em comparação com o PTFE virgem é ainda menor porque a capacidade de carga dos compósitos é muito maior que a da matriz e, portanto, qualquer fratura sub-superficial e rendimento da matriz aumenta as fases auto-lubrificantes e duras. O uso de fases suaves e duras em uma matriz polimérica aumenta as propriedades auto-lubrificantes e de carga da matriz, melhorando as propriedades tribológicas do PTFE.

Assim como Tsetlin (2017) em seus compósitos, do qual foi utilizado um copolímero (ETFE) como matriz polimérica e o reforço de QC. Para estes compósitos foram preparadas as amostras de ETFE com adição de 0, 1, 2, 4 e 8% em volume de QC. Foram realizados testes mecânicos de tração e tribológicos nas amostras, no qual foi percebido que as partículas de quasicristais foram distribuídas uniformemente e não formaram conglomerados, o coeficiente de fricção após a adição de 1% diminuiu duas vezes e depois permaneceu em um nível quase constante (0,16 – 0,18). A perda de massa relativa nas mesmas condições do experimento diminuiu ao aumentar a fração do enchimento e, para as amostras com 8% em volume do enchimento, a diminuição em relação à amostra de ETFE sem o enchimento é de 40 vezes, com isso ocorre um aumento da resistência ao desgaste.

Para este trabalho foram utilizados PTFE reforçados com ligas quasicristalinas em até 20% de fração volumétrica de maneira a identificar até que ponto esses compósitos mantem sua integridade constitucional mantendo alta resistência ao desgaste, alta resistência mecânica, quando comparados ao PTFE puro, mantendo baixo coeficiente de atrito e boa resistência térmica.

2.2 Obtenções dos Compósitos de PTFE/QC

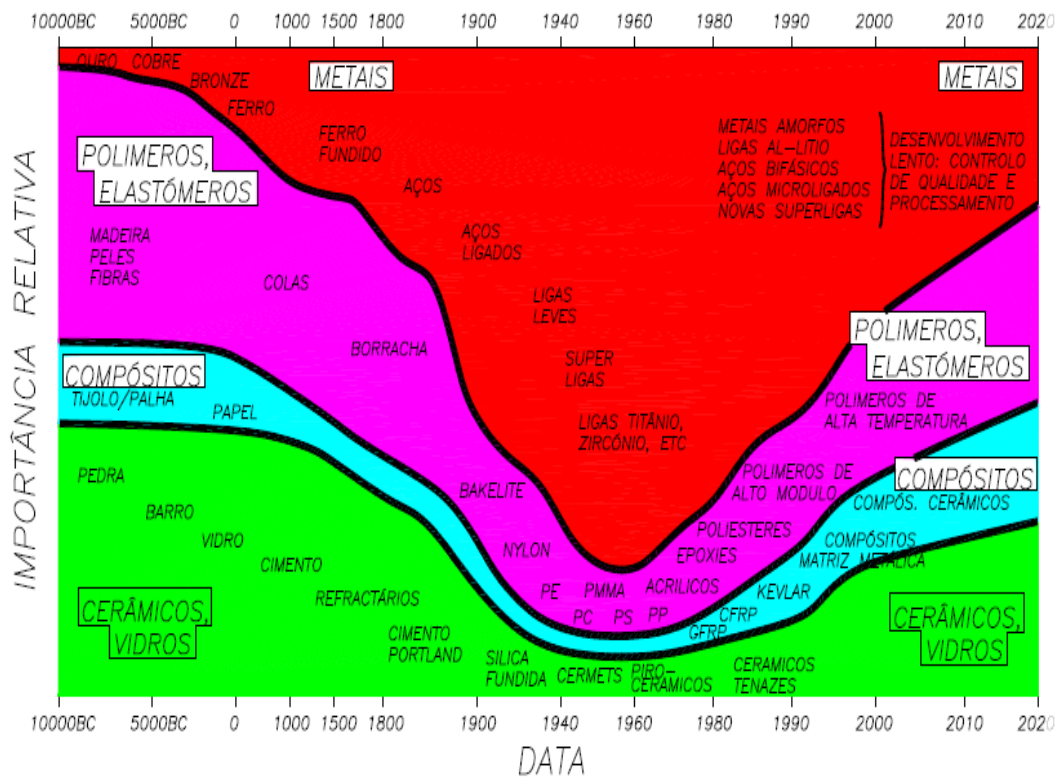
2.2.1 Compósitos

Devido à necessidade de materiais com propriedades mecânicas aprimoradas, as pesquisas de compósitos reforçados com o quasicristal têm crescido visando ser inserido em aplicações nos setores aeroespacial, automobilístico, biomédico e civil. Com isso, verifica-se a urgência em buscar meios de confeccionar esse compósito de maneira eficiente, eficaz e efetiva (NETO, 2006).

O atrito e o desgaste destacam-se em questões de alta relevância atribuindo diversas aplicações técnicas devido as suas características. Por conta destes atributos, os compósitos poliméricos com diferentes formulações de carga/reforço são utilizados para esses fins. Estudos que estão sendo realizados descobriram outros campos de aplicação destes tipos de materiais e colocam essas propriedades sob cargas extremas e condições de temperatura elevada (KLAUS FRIEDRICH et al., 2005).

Através da análise da figura 2.1 observa-se o desenvolvimento de compósitos com características superiores aos seus elementos formadores, atestando assim a importância no desenvolvimento destes novos materiais.

Figura 2.1: A importância relativa dos materiais



Fonte: ITA

Por isso essas aplicações tribológicas em compósitos poliméricos têm que ser adequadas por normalmente apresentarem uma boa resistência mecânica, leveza, versatilidade, baixo custo, facilidade de processamento, onde devem apresentar uma boa resistência à abrasão, ao desgaste, térmica e ambiental. Existem dificuldades para alcançar este objetivo uma vez que a viscoelasticidade dos materiais poliméricos, com isto é muito complexo esses processos envolvendo estas características tribológicas (MALUCELLI; MARINO, 2012).

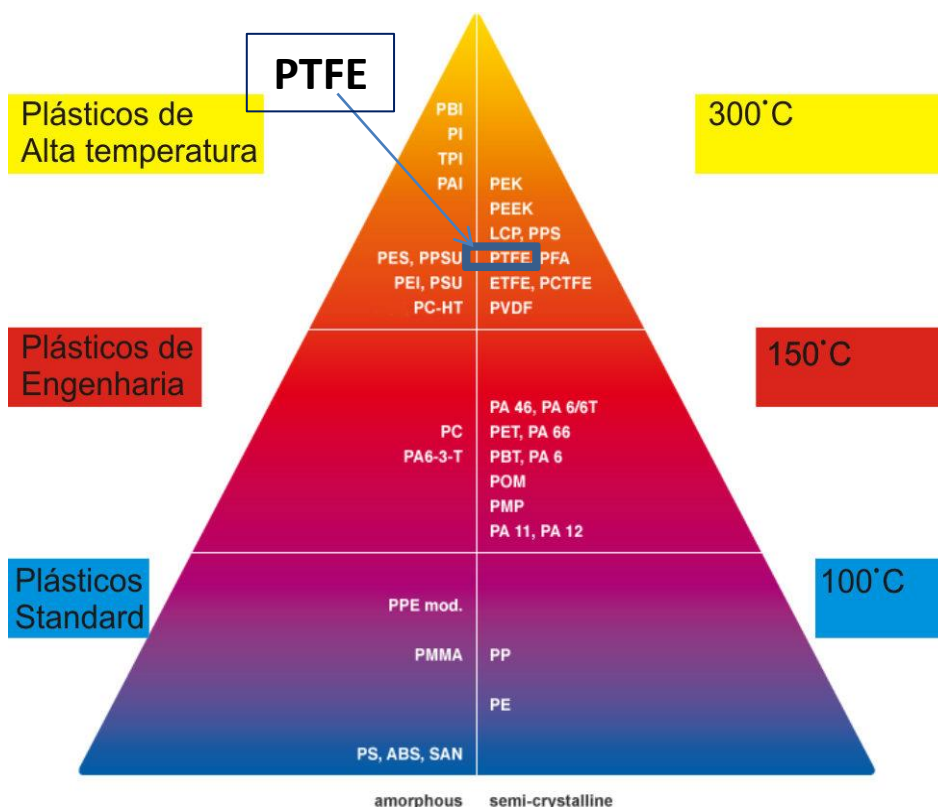
2.2.2 Politetrafluoretileno

O polímero PTFE faz parte da grande família dos fluoroplásticos (PTFE, FEP, PFA, CTFE, ECTFE, ETFE, PVDF) por ter propriedades dielétricas e boa resistência química, baixo coeficiente de atrito e excepcional estabilidade em elevadas temperaturas, com uma resistência mecânica baixa ou moderada e um custo relativamente elevado. Este polímero não pode ser processado por métodos de extrusão

e moldagem, por causa de sua alta viscosidade no estado de fusão, sendo necessário o uso de métodos de prensagem ou sinterização, ou ainda por extrusão lubrificada/sinterização.

Durante a sinterização deste polímero ocorre um complexo mecanismo de deformação com isso surgem dificuldades durante o processo de fabricação (CANTO, 2007). Para minimizar esses inconvenientes, durante a produção de compósitos faz-se uso com reforços com dimensões da mesma ordem de grandeza dos cristais dos polímeros, onde podem ser utilizados pós-metálicos, pós-minerais e fibras curtas (BONNET, 2004). Estudos realizados visam analisar as propriedades dos compósitos de PTFE reforçados com fibras contínuas.

Figura 2.2: Plásticos, suas utilizações e temperaturas de trabalhos.



Fonte: Khaster

Os polímeros de PTFE junto com os seus reforços são utilizadas em aplicações nas quais se aproveitam suas propriedades elétricas, químicas e mecânicas, essas

aplicações podem ser classificadas em cinco categorias: componentes de sistemas de transporte de fluídos, portadores de cargas estáticas e dinâmicas, condicionamentos de superfícies, na parte elétrica e eletrônica como isolantes e para componentes para sistemas térmicos.

No momento da escolha do reforço para os compósitos de PTFE é necessário ter atenção para que estes não diminuam as suas características, originais, de excelência, e já citadas, como baixo coeficiente de atrito, baixa aderência, estabilidade térmica e química. Neste sentido, para este trabalho usou-se reforço de pó quasicristalino por este apresentar, além de excelentes propriedades mecânicas e resistência ao desgaste, também características superficiais próximas do teflon (baixo coeficiente de atrito, baixa aderência, estabilidade térmica e química) o que os torna materiais especiais neste sentido.

2.2.3 Quasicristais

Os quasicristais são caracterizados por apresentar estrutura ordenada à longa distância sem periodicidade de translação. Frequentemente as simetrias de ordem 5 ou 10, interditas pela cristalografia clássica. Estas ordens de proporção podem ser nomeadas como “falsas simetrias”, visto que, as operações de translação num espaço tridimensional, que são características imprescindíveis em corpos proporcionados, não são aplicadas aos materiais quasicristalinos. Os quasicristais são arranjados por unidades estruturais icosaedrais, octogonais, decagonais, ou dodecaedrais ao invés de células unitárias comuns aos cristais (SAAVIRTA, 2004).

A importância pelos quasicristais acontece pelas suas principais “paradoxais” que são suas propriedades físico-químicas e propriedades eletrônicas, e com certeza de suas características microestruturais. As ligas quasicristalinas revelam-se essencialmente, quando comparadas às ligas metálicas cristalinas, mesmo tendo composições diferentes e muito próximas. Quasicristais ricos em alumínio, por exemplo, tem condutividade elétrica muito baixa, quando comparada as ligas de base de alumínio cristalinas ou amorfas a baixas temperaturas. Além do mais, essa condutividade diminui com a elevação da temperatura, contestando o comportamento

dos metais comuns. Sua condutividade térmica é muito baixa (OUXEL, PIGEAT, 2006).

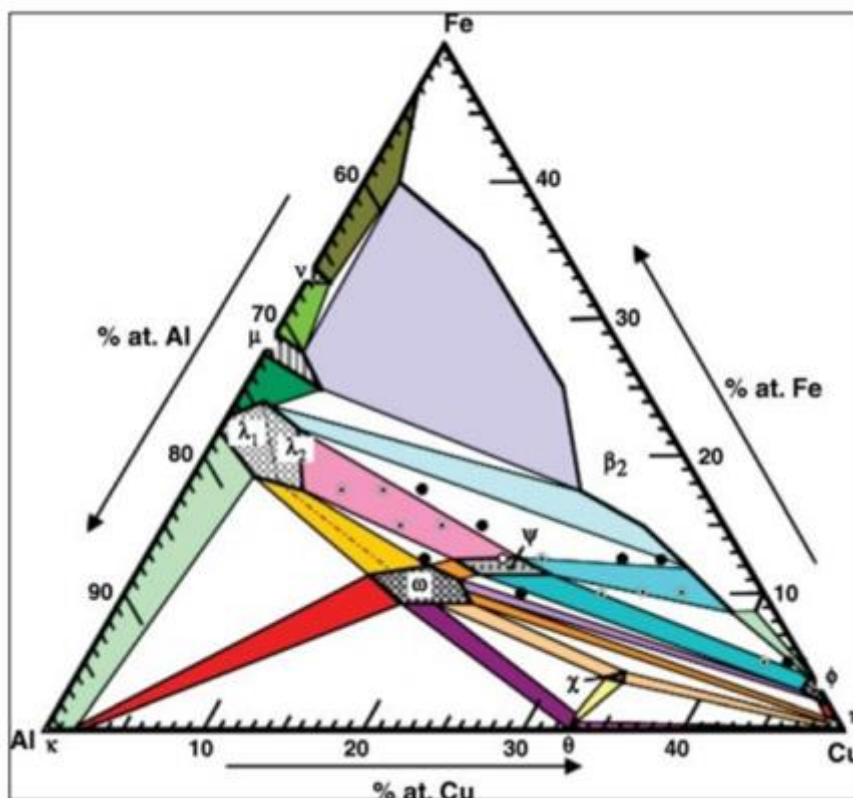
As ligas quasicristalinas de AlCuFe, tem sido mais estudadas por ter uma particular facilidade de sua construção e aplicação como revestimento, através da aspersão térmica, além da resistência a corrosão em variados meios corrosivos. No entanto, uma completa caracterização se faz indispensável para se alcançar qualitativamente sua resistência à corrosão como aos ambientes corrosivos mais comuns do setor de exploração e produção de petróleo (SOUZA, 2009).

Os quasicristais por possuírem baixa deformabilidade na temperatura ambiente e por serem bastante frágeis, ficando limitadas suas possíveis aplicações, a qual exclui alguma possibilidade como material estrutural, embora tenha um comportamento que pode se tornar dúctil o suficiente para acomodar altas temperaturas e deformações plásticas (DUBOIS, 2000).

Este inconveniente de fragilidade pode ser aproveitada pelos quasicristais como uma fase descontínua (reforço) para a fabricação de materiais compostos ou revestimentos. As ligas quasicristalinas a base de alumínio tais como o Al-Cu-Fe, são as mais atrativas para o uso comercial. Os elementos acionam a composição desta liga são relativamente baratos e não tóxicos o que tem favorecido sobremaneira a ampliação da escala de aplicação destes promissores materiais (BARROSO, 2009).

A liga quasicristalina do sistema Al-Cu-Fe é termodinamicamente estável e sua estrutura pode ser prevista utilizando o diagrama de fase de equilíbrios como representada na figura 2.3, no qual SORDELET, DUBOIS E CAVALCANTE identificaram uma fase ψ , que seria da decomposição AlCu₂Fe e estaria na região monofásica de composição Al₆₅Cu_{22,5}Fe_{12,5} formada pela reação peritética da fase β_2 AlFe₃ com o líquido remanescente.

Figura 2.3: Diagrama de fases ternário da liga AlCuFe em alumínio.



Fonte: (BRADLEY, 1939)

As ligas quasicristalinas têm comportamentos essencialmente diferentes para a utilização da mesma, quando colacionadas às ligas metálicas cristalinas, mesmo apresentando composições muito próximas. Quasicristais quando apresentam bastante alumínio, por exemplo, tem condutividade elétrica muito baixa, quando comparada com ligas de base alumínio cristalinas ou amorfas a baixas temperaturas. Além do mais, essa condutividade diminui com o aumento da temperatura, contradizendo o desempenho dos metais comuns. Sua condutividade térmica é muito baixa (ROUXEL, PIGEAT, 2006).

Uma das suas propriedades dos materiais quasicristalinos, talvez a mais eficiente seja possuir uma baixa energia superficial (molhabilidade de líquidos) e baixo coeficiente de atrito. Estes dois atributos estão diretamente relacionadas com a estrutura eletrônica dos quasicristais. As ligas icosaedrais Al-Cu-Fe são de amplo empenho comercial por proporcionarem baixo coeficiente de atrito, elevada dureza e boa resistência à corrosão (KIM et al., 2001).

2.3 Propriedades dos compósitos de PTFE/QC

2.3.1 Propriedades Tribológicas

Conceito de Tribologia

Tribologia vem da palavra grega “TRIBOS” o qual significa atrito e a palavra “LOGOS” que significa estudo, onde sua junção significa "Estudo do atrito". Outra definição que pode ser utilizada para a palavra tribologia é “A ciência e a tecnologia da interação entre superfícies com movimento relativo e práticas relacionadas”. Em sua atual conotação a palavra tribologia surgiu pela primeira vez na Inglaterra em 1966 (STOETERAU, 2004). Onde essas interações superficiais definem e domina-se esse funcionamento de praticamente de todos os dispositivos mecânicos erguidos pelo homem, no qual para obter esse desenvolvimento tecnológico observa-se a importância do estudo da tribologia (DOWSON, 1997).

Pode-se desejar em muitos casos uma baixa fricção, mas com isso para obter e compreender o fenômeno do desgaste tem que considerar dois aspectos: a fricção e a lubrificação. Pode-se exemplificar a necessidade de baixa fricção em relação as articulações como o do quadril humano. Já em outras situações pode-se promover um alto coeficiente de atrito, como os freios e embreagens, o pneu de um veículo e a superfície de pavimento, como também é essencial entre o calçado e o piso durante a marcha (SOUZA, 2015).

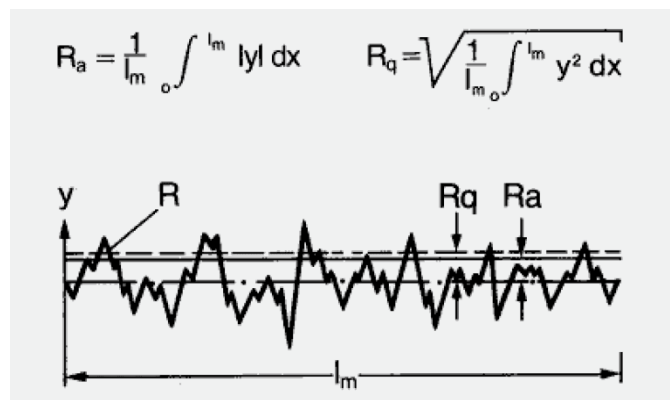
Movimento relativo de duas superfícies pode gerar uma perda progressiva ao material, alto desgaste, gerando grande prejuízo. Podendo gerar folga pelo movimento contínuo e consequente alvedrio de movimento e uma perda de precisão. Com essas perdas decorrentes do desgaste mesmo em pequenas quantidades pode haver falha em máquinas grandes e/ou complexas. Por outro lado o atrito e altas taxas de desgaste são necessários, por exemplo, nas operações de lixamento e polimento (CZICHOS, 1978). Neste sentido, compreender o comportamento de pares tribológicos e suas características de desgaste é fundamental para o bom funcionamento não só dos sistemas mecânicos, mas para prevenir perdas. Entender variáveis e parâmetros de superfície são essenciais no desenvolvimento de materiais tribologicamente eficazes.

Rugosidade Superficial

As superfícies dos componentes mecânicos devem ser adaptadas ao tipo de função que exercem. A rugosidade (erros microgeométricos) é o conjunto de irregularidades, isto é, pequenas saliências (picos) e reentrâncias (vales) que diferenciam uma superfície. A rugosidade exerce um papel importante no comportamento dos elementos mecânicos. Ela influi na qualidade de deslizamento, resistência ao desgaste, qualidade de aderência oferecida pela superfície ao escoamento de fluidos e lubrificantes, característica da aderência, resistência a corrosão e a fadiga, vedação e aparência (FONSECA, 2014).

A rugosidade média é o parâmetro mais utilizado. Matematicamente é a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas de afastamento (y_i), dos pontos do perfil de rugosidade em relação à linha média, dentro do percurso de medição (l_m). Essa grandeza pode corresponder à altura de um retângulo, cuja área é igual à soma absoluta das áreas delimitadas pelo perfil de rugosidade e pela linha média (Figura 2.4), tendo por comprimento o percurso de medição (l_m) (FONSECA, 2014).

Figura 2.4: Os parâmetros da rugosidade superficial



Fonte: Vinco

Um modo de calcular e referenciar a rugosidade de uma superfície é através da Rugosidade média (R_a), onde esta grandeza é definida como sendo a média aritmética do desvio da altura da superfície através de uma linha média através do perfil.

Coefficiente de Atrito

As asperezas são denominadas pelo contato de duas superfícies planas e paralelas, onde estas estabelecem inicialmente entre essas áreas altas da superfície. Através deste contato pode promover uma formação de junções de asperezas sendo possível a determinação da intensidade da força de fricção produzida. Esta força pode ser definida como a resistência encontrada por um corpo que experimenta movimento em relação a outro corpo. O coeficiente de atrito (μ) mede a magnitude da força de fricção (F) desenvolvida entre duas superfícies em contato, sob um determinado carregamento (W) e em movimento relativo (CZICHOS, 1978).

O coeficiente de atrito é definido como a soma de dois coeficientes, denominados de coeficiente de atrito estático μ_s , ao qual está relacionado à aderência e à força necessária para romper as ligações criadas entre o corpo (o ‘atritor’) que está em conjunto com a amostra, ou melhor, o conjunto tribológico. Pode-se ainda dizer que o coeficiente de atrito estático é a relação entre a máxima força de atrito que age na interfase das duas superfícies e a força normal. O coeficiente de atrito dinâmico μ_d está relacionado à força necessária para que ocorra o deslocamento (RABINOWICZ, 1995). Coulomb que em (1781) diferenciou o atrito estático do dinâmico, ressaltando que a força para manter um corpo em movimento era menor do que aquela necessária para iniciá-lo (STOETERAU, 2004). Outra definição pode ainda ser citada: o atrito é um acontecimento que sucede na superfície de um corpo impedindo o seu deslizamento sobre outro corpo (atrito estático) ou que dissipa energia mecânica no caso do corpo já em movimento (atrito dinâmico).

Os fragmentos que podem surgir de um material é conhecido como “terceiro corpo” onde observa-se a transferência do mesmo, que é devido ao desgaste desempenha um papel fundamental na determinação do coeficiente de atrito por deslizamento, desde que se trate de materiais distintos, obviamente (MAHDAVIAN et. Al, 1982). Estas etapas dependem dos materiais testados, das condições experimentais, da contaminação da superfície e das condições ambientais.

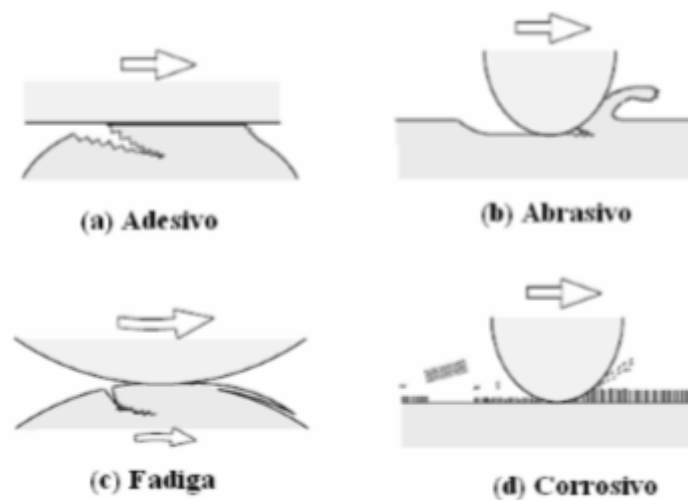
Desgaste

Muitos estudos são dedicados só a resistência, ao desgaste, pois os materiais poliméricos em seu volume ou em filmes são aplicados onde ocorre deslizamentos (BRISCOE e LANCASTER, 1990). Quando são comparados aos metais e cerâmicas, os polímeros têm menores coeficientes de atrito entre 0,1 e 0,5, com isso são utilizados em aplicações tribológicas para serem utilizadas deslizando contra corpos mais duros (HUTCHINGS, 1992).

As aplicações que envolvem tribologia têm importância na seleção de materiais. Para tanto, novos estudos para esta área, testes em laboratório e/ou desenvolvimento de pesquisas com vários tipos de materiais com intuito de verificar a resistência ao desgaste sob condições controladas são necessárias, tendo em vista a classificação dos materiais de acordo com as aplicações (BRESSAN, 2011).

O desgaste por partículas duras pode envolver outros tipos de desgaste abrasivo e erosivo. No desgaste abrasivo, faz-se uma distinção entre o desgaste abrasivo por dois corpos e por três corpos. A abrasão por dois corpos é causada por duras protuberâncias na superfície oposta de contato ou simplesmente pela diferença de dureza e/ou rugosidade das duas superfícies em contato. Já para a abrasão por três corpos, partículas duras se posicionam e rolam entre superfícies em contato. Estas partículas rígidas podem estar presentes na forma de contaminantes (partículas exógenas) ou podem ser geradas localmente por algum dos mecanismos envolvidos no desgaste por deslizamento puro (partículas endógenas). Podemos verificar na figura 2.5 a seguir, esses tipos de desgastes (CZICHOS, 1978)

Figura 2.5: Desenho esquemático dos quatro tipos de desgastes



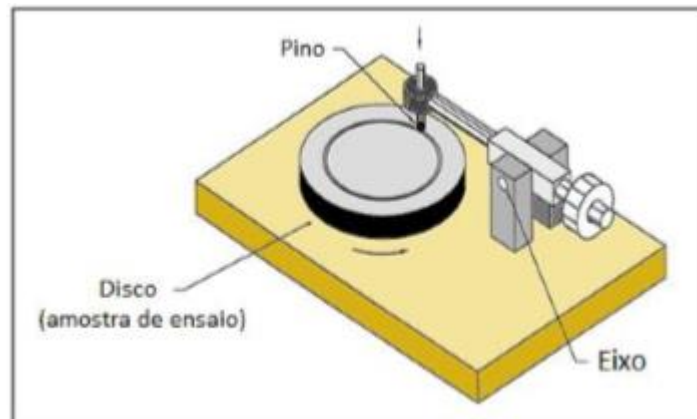
Ensaio de pino sobre disco

Nos ensaios tribológicos são utilizados equipamentos para medição do atrito e/ou desgaste em condições controladas e são empregadas para as mais diversas verificações realizadas na área tribológica. Deve haver uma seleção minuciosa a este equipamento de forma que todas as características críticas permitam ser recriadas de atrito e desgaste, sem a complicação associada ao emprego destes ensaios nos processos reais de fabricação, bem quanto a simulação das condições de uso de determinados objetos e materiais. Existe uma vasta opção de equipamentos tribológicos para caracterização, no qual é necessário identificar quais os adequados interesses (variação de velocidade, carga, etc) na verificação de circunstâncias. Determinar estes parâmetros é crucial para a escolha do equipamento ideal (STACHOWIAK, BATCHELOR, 2004).

Este ensaio pode ser usado para determinar o atrito não apenas nos materiais poliméricos, e sim em outros materiais também como o diamante revestimento de carbono, filmes finos ou materiais diversos. A maioria dos tribômetros pino-disco é controlada por computador e armazenam esses dados medidos em função do tempo ou parcelas de distâncias para referência futura. A Figura 2.6 mostra um diagrama esquemático de um aparato Pino-Disco. Este ensaio é geralmente rápido e os parâmetros operacionais são determinados em média duas horas. Outra possibilidade do ensaio, que

é uma vantagem, é a medição o efeito do atrito local, o qual é de total interesse quando existem medições relativas às simulações. Além disso, pode ser controlados parâmetros, tais como a temperatura, os gases do ambiente (ar, nitrogênio, oxigênio, etc.) (SOUZA, 2015).

Figura 2.6: Diagrama esquemático do ensaio pino sobre disco

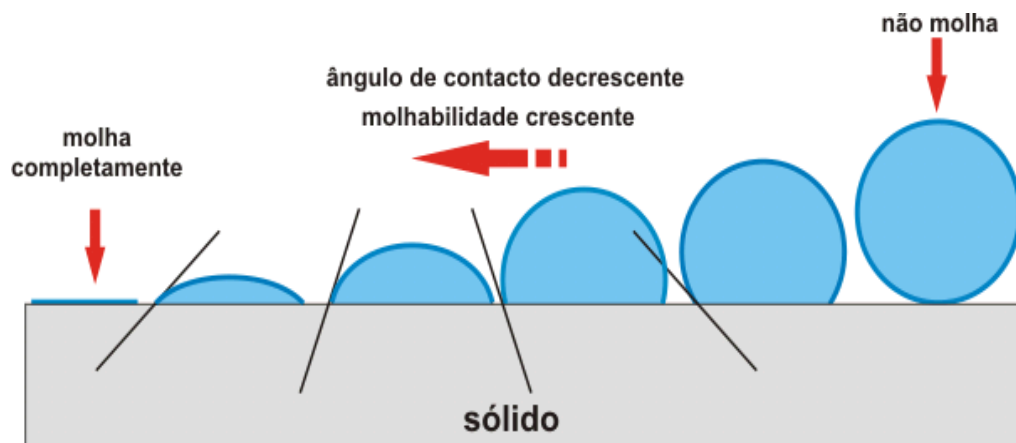


Fonte: (SOUZA, 2015)

Molhabilidade

A Molhabilidade é determinada como sendo a tendência de um fluido revestir-se à superfície, contendo a presença de outros fluidos imiscíveis um exemplo bem simples é o ar atmosférico. A molhabilidade da superfície pode ser avaliada pelo ângulo de contato (Figura 2.7) de um líquido em relação ao substrato sólido. O ângulo de contato é verificado entre uma gota de um líquido selecionado, que pode ser água destilada, água salina, óleo parafínico, etc., e uma superfície sólida a ser analisada, que depende da relação entre as forças adesivas e as forças coesivas. A tensão superficial, a hidrofobicidade de superfície após a deposição das partículas sobre uma superfície sólida e a pressão de dissociação, são três fatores importantes pois influencia o ângulo de contato final dos fluidos sobre uma superfície sólida (CHAUDHURI & GHOSH, 2014).

Figura 2.7: Ângulo de contato de uma gota em uma superfície sólida



Fonte: Alfa Conexction

As características de molhabilidade da interface sólido-líquido influenciam expressivamente na sinterização de sistemas de vários elementos. A mais importante dessas qualidades é a molhabilidade, que está intimamente relacionada com a energia livre interfacial (γ) entre as fases sólidas e vapor. Se o ângulo de contato do líquido consistir em ser superior a 90° a estrutura não sintetiza e o líquido tende a ser expulso do compósito. No entanto, se o ângulo de contato for menor que 90° ocorre sinterização. O ângulo de contato é o fator que origina o grau de densificação ou a molhabilidade da estrutura (MANUEL, 2008).

2.3.2 Propriedades Mecânicas

Dureza

A dureza de uma material fornece, informações da resistência que um corpo impõe para impedir a penetração de outro. Essencialmente para os ensaios de Dureza, é aferida a resistência à penetração de outro material mais duro, chamado de indentador ou penetrador (RODON, 2010). Estes indentadores podem ter vários tamanhos e formas específicas, na qual a dureza pode ser verificada com base nas características da impressão deixada pelo indentador ou pela carga aplicada.

O penetrador é composto pelo um material que deve ser mais duro do que o testado. Com isso, para o material cerâmico é comum penetradores de diamante (YOUNT, 2006). Já se for analisar a macrodureza o método utilizado requer as amostras de tamanhos grandes de modo que possa apresentar uma repetitividade. Os ensaios de dureza macro não podem ser realizados em amostras pequenas e os mais utilizados são: Brinell, Rockwell e Vickers.

O durômetro, equipamento para medição de dureza, é uma evolução do antigo escleroscópio, no qual no começo do teste de queda de peso foi trocado por um sistema de medição por mola. O durômetro é um instrumento popular para medir a dureza de indentação de borrachas, plásticas e materiais com comportamentos similares. Os tipos mais comuns de instrumentos são Modelo A para materiais mais moles e o modelo D para materiais mais duros, ver os modelos na figura 2.8 (SENAI, 2012).

Figura 2.8: Indentadores utilizados no durômetro Shore



Fonte: (SENAI, 2012)

Ultramicrodureza

Quando a tensão e a deformação são proporcionais, ocorre um processo de deformação que é chamado de deformação elástica, este gráfico que é gerado da tensão em função da deformação é uma linha reta. Quando ocorre uma inclinação neste segmento linear corresponde ao módulo de elasticidade, o módulo encontrado pode ser considerada a rigidez ou a resistência do material a deformação elástica (LIMA, 2011).

Numa escala atômica quando ocorrem pequenas alterações no espaçamento interatômica é a manifestação desta deformação elástica macroscópica. Devido a isto tem a consequência da magnitude do módulo de elasticidade representa uma medida da resistência à separação de átomos adjacentes, isto é, a força de ligações interatômicas (LIMA, 2011).

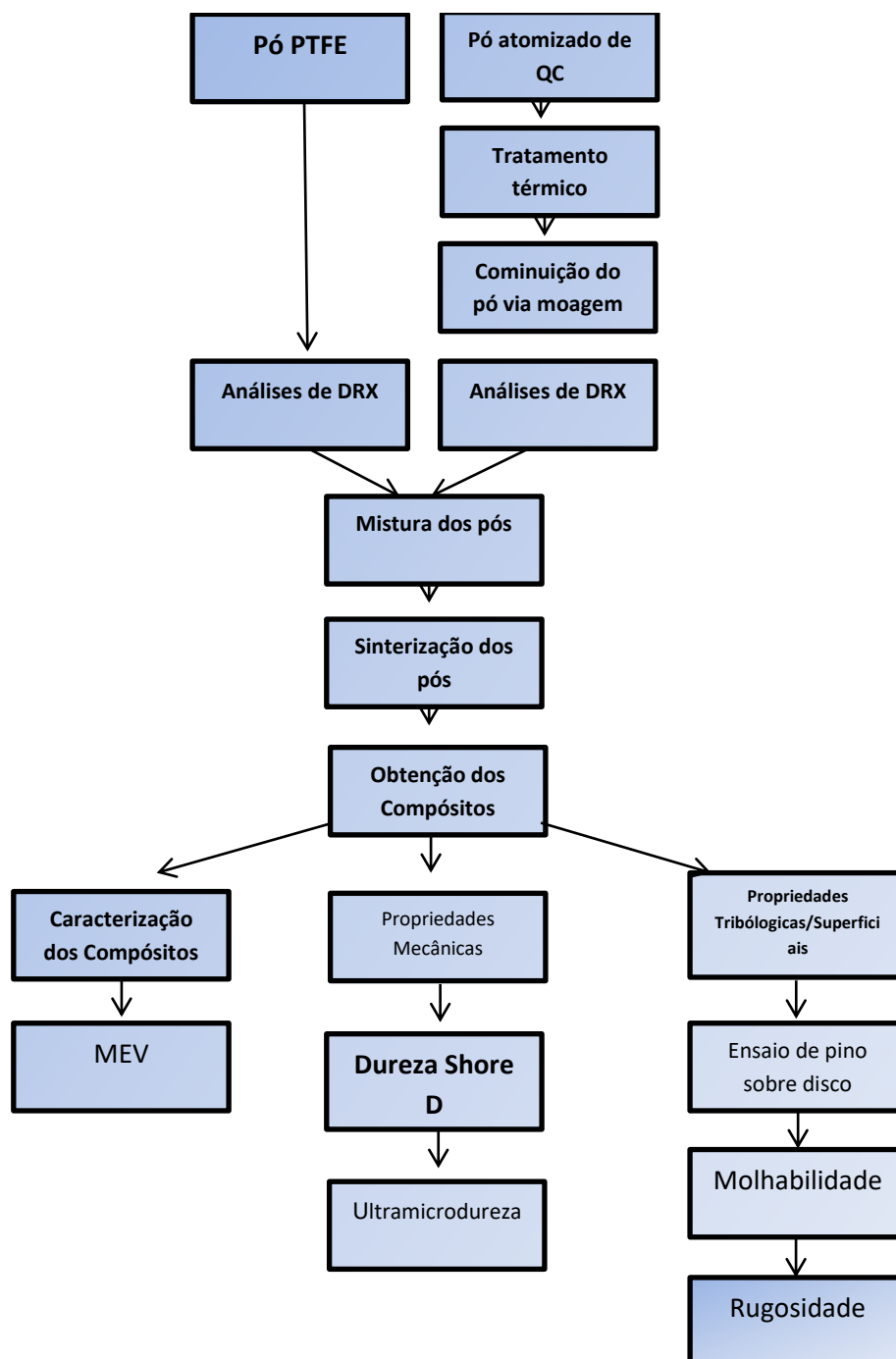
CAPÍTULO III

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS E MÉTODOS

O compósito de PTFE com reforço de quasicristais foi analisado mecanicamente, tribologicamente e foi realizada caracterização microestrutural. Como pode ser visto no Fluxograma 1.

Figura 3.1: Sinterização e caracterização do compósito.



3.1.1 Obtenção do pó – AlCuFe(B) Atomizado

Elaboração das Ligas AlCuFe(B) em pó

Os pós de AlCuFe(B) utilizados como matriz do compósito foram elaboradas por atomização a gás. O princípio básico desta técnica consiste em dividir um metal ou liga líquida em finíssimas gotículas que se solidificam, sob forma de pó. O pó atomizado, utilizado neste trabalho e cuja granulometria está na faixa de 170-190 μm , foi cedido pela Companhia SAINT-GOBAIN – Fr.

Tratamento Térmico

O pó quasicristalino, previamente atomizado, foi submetido a tratamento térmico de homogeneização de modo a reduzir a heterogeneidade de fases cristalinas remanescentes do processo de atomização, tornando a liga 100% quasicristalino. Com isso a amostra se manteve por 3 horas á temperatura de 750°C, antes de iniciar o tratamento térmico a amostra ficou 1 hora no vácuo. Por tanto foi utilizado o forno da marca Naberthem para tanto foi utilizado uma taxa de aquecimento de 30°C/min.

3.1.2 Obtenção do pó de Politetrafluoretileno (PTFE)

O Politetrafluoretileno (PTFE) foi adquirido em forma de pó, de cor branca, fabricado pela empresa alemã FLUORSELLE e com tamanho de partícula aproximadamente 10 μm , que foi cedido pelo Grupo de Estudos de Tribologia e Integridade Estrutural – GET/UFRN.

Difração de raio X (DRX) dos materiais de partida

Para avaliação e controle das fases presentes nos pós quasicristalinos bem como no pós do PTFE, foram realizadas difrações de raios X, antes e após tratamento térmico. Para tanto, foi utilizado no Difratômetro D2 Phaser Bruker, operando com radiação $K\alpha$

de cobre, 30 kv e 10 mA, com varredura de 2θ entre 20 e 100 com passo de $0,02^\circ/s$ e fenda de 1 mm. O

3.1.3 Obtenção dos Compósitos

Formulações

Foram selecionadas seis formulações (Tabela 1) para as prováveis sinterizações dos pós. Uma formulação de PTFE puro e outras cinco com formulações adições diferentes de pós de reforço quasicristalino ao PTFE. Foram utilizadas as seguintes formulações, em frações volumétricas. As adições foram realizadas em frações de volume devido à diferença entre as densidades dos componentes dos compósitos.

Tabela 1: Formulação dos Compósitos

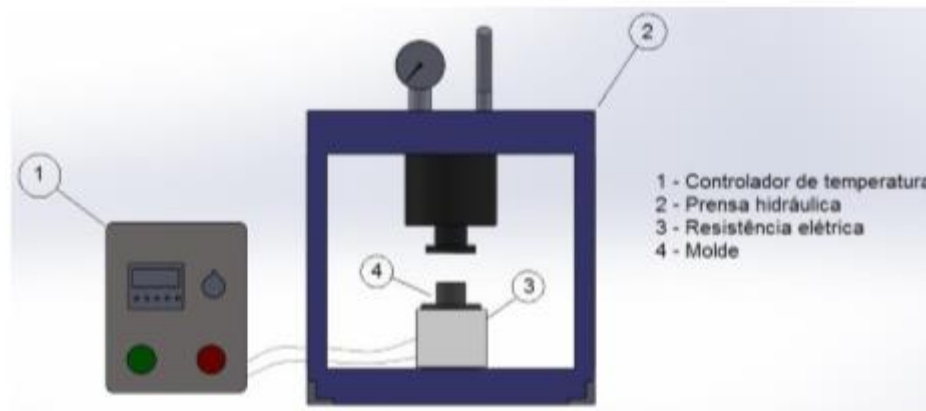
Formulação dos compósitos	PTFE (% Vol.)	QC (% Vl.)
1	100	
2	99	1
3	95	5
4	90	10
5	85	15
6	80	20

Mistura dos pós de partida

Depois de calculada às formulações, os pós de PTFE e QC foram pesados em balança analítica (Shimadzu AY220 Máx 220g d=0,1mg) e misturados em um Miniprocessador, onde essa mistura foi realizada no tempo de 60 segundos.

Sinterização dos pós

Figura 3.2: Bancada para moldagem por compressão à quente.



Fonte: (SOUZA, 2015)

Depois de pesado e misturado, os pós foram colocados no molde, revestido por um papel alumínio, para facilitar quando for a desmoldagem da amostra após sinterização. As amostras foram aquecidas numa prensa térmica, para começar o processo de sinterização (Figura 3.2). O processo de sinterização seguiu o seguinte protocolo: Aquecimento por 20 minutos na prensa, até atingir a temperatura de 220°C, numa taxa de aquecimento de 10°C/min, em seguida aplicou-se uma pressão de 3 toneladas por 3 minutos, finalizando o processo.

3.2 Caracterização dos Compósitos

Procedimento Experimental

Os compósitos (PTFE/QC) depois de sinterizados, foram obtidos e caracterizados, com isso foram submetidos aos ensaios de propriedades mecânicas e tribológicas.

3.2.1 Propriedades Tribológicas dos Compósitos

Ensaio de pino sobre disco

O compósito foi submetido ao ensaio de pino sobre disco para identificar a taxa do desgaste e o coeficiente de atrito dinâmico dos compósitos. Uma esfera de aço AISI 52100, com diâmetro de 10 mm foi usada como pino. A velocidade de rotação do disco foi de 300 rpm e o raio da trilha de desgaste foi de 10mm. A amostra foi posta e o pino foi carregado contra a mesma com carga de 16N. O ensaio foi realizado numa duração de 30 minutos e foram realizados 9000 revoluções em temperatura ambiente, onde durante esse ensaio a distância percorrida foi de 568,8 m simultaneamente. O tribômetro utilizado foi com configuração pino contra disco da empresa Magnum Engineer (Figura 3.3).

Figura 3.3: Equipamento Tribômetro com configuração pino sobre disco.



Fonte: (SILVA, 2017)

Este equipamento contém sensores eletrônicos nos quais esses dados são recebidos, expostos e armazenados no computador que tem um software nativo do tribômetro, com isso é monitorado o afundamento da pista de desgaste e o coeficiente de atrito dinâmico.

A medida do coeficiente de atrito dinâmico está diretamente relacionada com a estrutura molecular do polímero PTFE, que é composto por moléculas semelhante à haste rígida com uma suave molecular, mostra um baixo coeficiente de fricção por causa de um deslizamento fácil entre as cadeias moleculares alinhada na interface.

Molhabilidade

No ensaio de Molhabilidade os compósitos foram submetidos a diferentes fluidos, sendo eles: Água destilada e Água salina. Em cada compósito foi realizado sete medidas (gotas) com intuito de ter uma precisão nos resultados.

A gota que é utilizada no ensaio tem aproximadamente 3 ml, pesos médios de 0,017 g para água destilada e salina, onde essas gotas são despejadas na superfície do compósito, esperando por um tempo de 5 segundos para que ocorresse uma estabilização na superfície do composto, com isso, começou a registrar com uma câmera fotográfica.

Depois dos registros fotográficos, de cada análise, as imagens foram analisadas pelo software SurfTens versão 4.5 e medidos os ângulos de contato. Para cada gota pipetada foi medido o ângulo de contato sete vezes e considerou-se a média, entre as medidas.

Rugosidade

A análise foi realizada no Laboratório Integrado de Biomateriais que fica localizado no Centro de Ciências da Saúde da UFPB, em um aparelho de perfilometria óptica sem contato (CCI MP, Taylor Hobson, Inglaterra). Conectado a uma unidade computadorizada, contendo o software Talysurf CCI Taylor Hobson Inglaterra para a obtenção dos dados.

3.2.2. Propriedades Mecânicas dos Compósitos

Dureza Shore D

O compósito foi submetido à análise de dureza para saber a resistência do material, onde foi utilizado o equipamento da marca Kori Seiki MFG.CO.LTD o Durômetro Shore, no qual é utilizado para medição da dureza dos polímeros, borrachas, elastômeros e os compósitos.

Foi utilizada a escala de dureza Shore D que é direcionada para materiais mais duros a amostra foi submetido a cinco medidas, como pode ser visto na figura 3.4, para poder obter precisão no resultado em lugares escolhidos e marcados, iguais para todas as formulações.

Figura 3.4: Marcações nas amostras para o ensaio de Dureza Shore D.



Fonte: (SILVA, 2017)

Ultramicrodureza

O ensaio de ultramicrodureza foi realizado com o ultramicrodurômetro, com carga de 50 mN usando um indentador Berkovich (pirâmide triangular) no corpo de prova foi realizadas 7 indentações durante 10 segundos, para a obtenção dos resultados.

3.2.3 Caracterização dos compósitos

Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Os compósitos de PTFE com reforço de quasicristais foram analisados em duas etapas: a primeira para verificar a pista de desgaste após o ensaio de pino sobre disco para analisar a superfície de desgaste na amostra e a segunda para verificar a estrutura interna do material.

As amostras foram metalizadas com ouro, para que as amostras não acumulem cargas elétricas do feixe primário e não gerem artefatos na imagem, com isso, todas as amostras foram metalizadas, antes de cada análise, foi analisada através de Microscopia Eletrônica de Varredura Ambiental modelo Quanta 450 da FEI.

CAPITULO IV

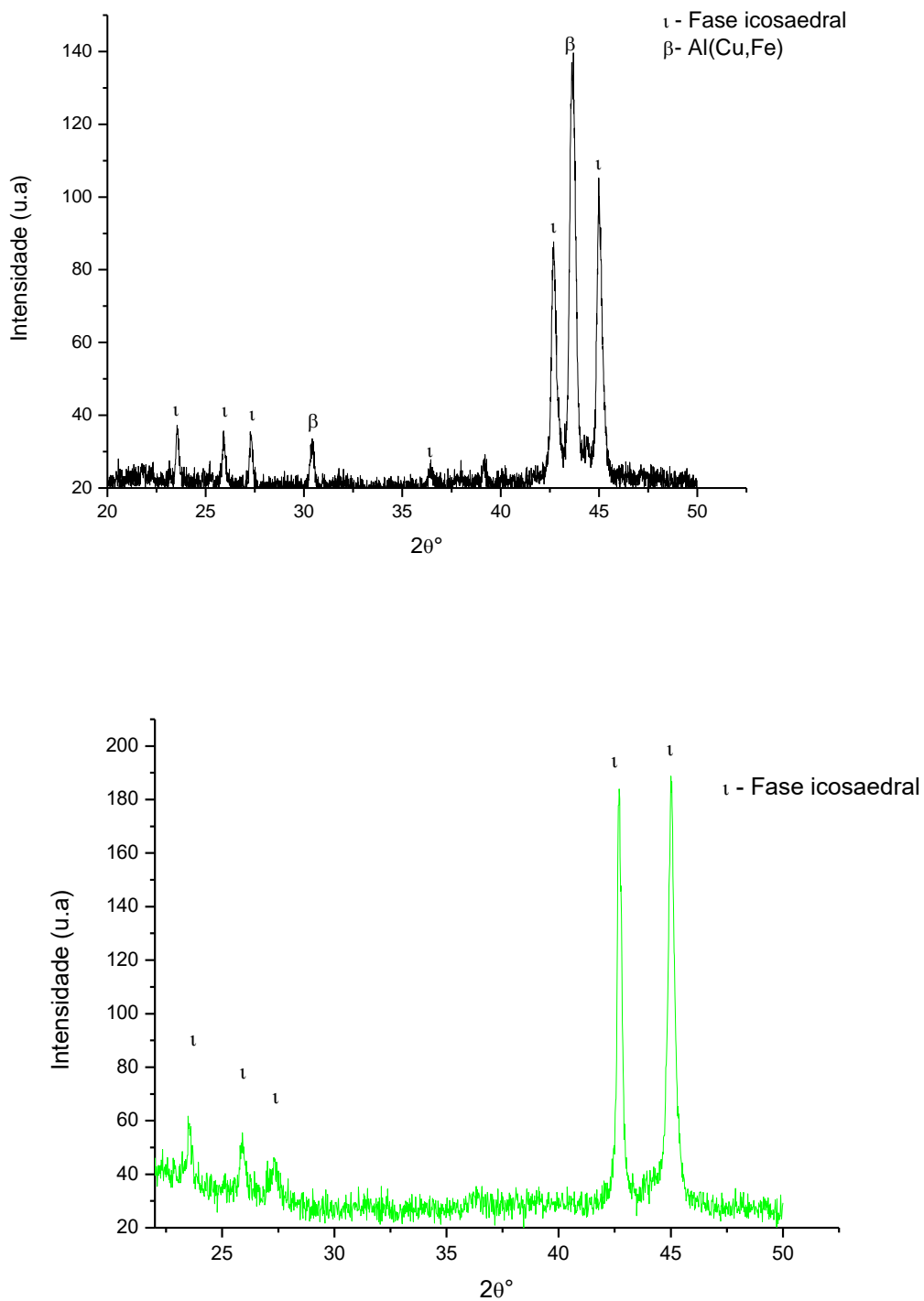
4.1 RESULTADOS

4.1.1 Caracterização dos pós

O pó atomizados AlCuFeB contém pelo menos duas fases dos sistema AlCuFe detectadas via DRX. O difratograma apresentado na Fig.(4.1) permitiu distinguir a fase icosaedral ι -AlCuFeB, isoestrutural da fase ι -AlCuFe, e a fase cúbica (solução sólida) β -Al_{50-x}(Cu,Fe)_{50+x}. A estrutura da fase β pertence ao grupo espacial Pm_3m (estrutura tipo CsCl) e seu parâmetro de rede é de aproximadamente 2,9Å. Esta fase β coexiste com a fase quasicristalina, quando o processo de obtenção não fornece as condições termodinâmicas necessárias para a liga tornar-se completamente quasicristalina (BONHOMME *et al.*, 2005). Esta fase participa de uma reação peritética, que origina a formação da fase icosaedral, conforme citado anteriormente no texto (CAPÍTULO II).

Observa-se ainda na Figura 4.1 os difratogramas dos pós, antes e após o tratamento térmico. Vê-se que, neste DRX apresentado, a fase icosaedral esta quase pura, podendo apresentar uma fração inferior a 0,5% da fase β .

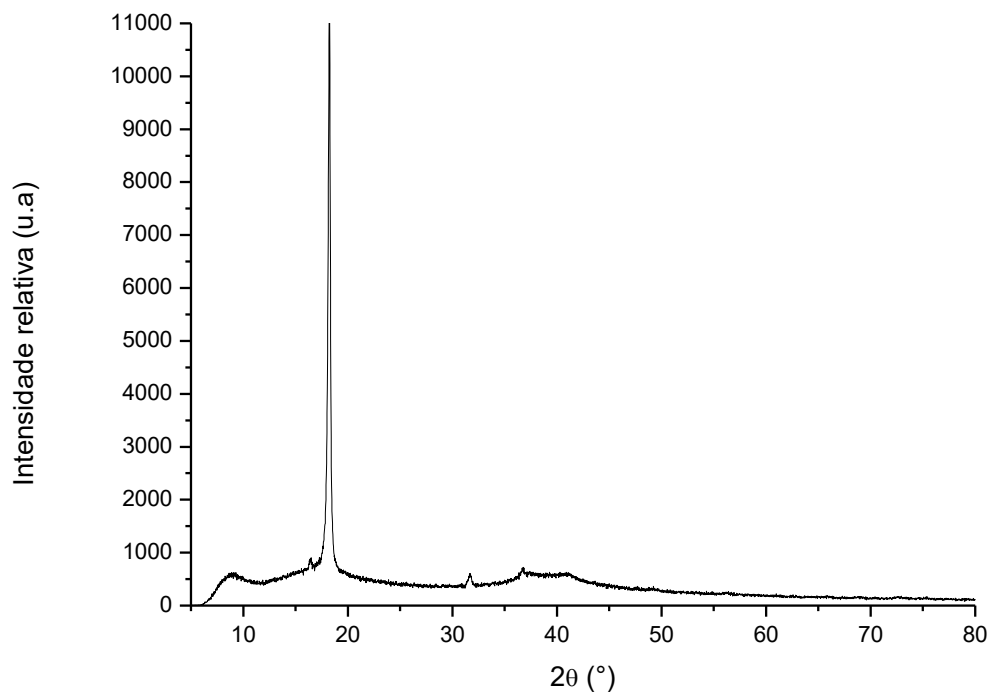
Figura 4.1: Difratoograma – (a) pó atomizado de composição nominal Al59Cu25,5Fe12,5B3 contendo as fases icosaedrais e fase β -Al(Cu,Fe); (b) Pó tratado termicamente com fase icosaedral quasicristalina.



DRX PTFE

Como podemos visualizar na Figura 4.2 apresenta os difratogramas de Raios-X (DRX) do PTFE. Pode-se verificar a presença de estrutura semicristalina, com o PTFE apresentando picos mais estreitos e menor região amorfa, caracterizando uma estrutura cristalina regular e quanto mais estreita o pico, maior é a cristalinidade do material. Já o pico maior que é verificado na figura 4.2, pode ser de uma impureza encontrada durante a análise.

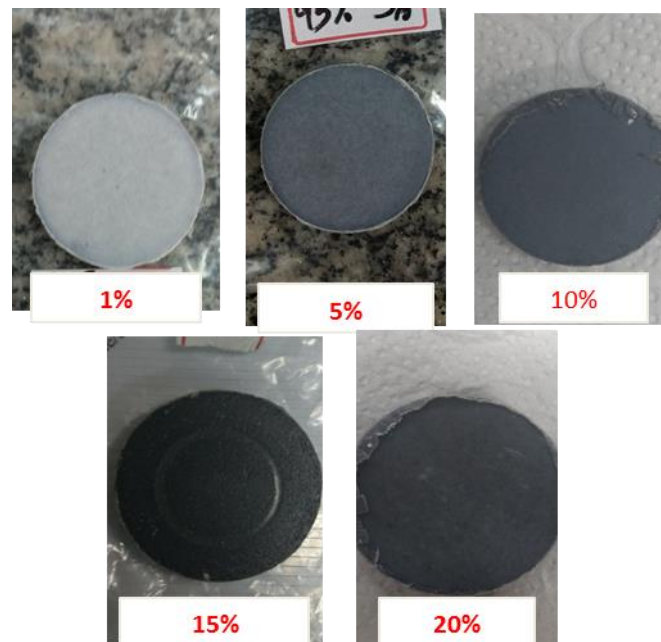
Figura 4.2: Difratoograma de Raios X do polímero PTFE.



Produção dos compósitos

Depois das escolhas das formulações onde podemos verificar na Tabela 3, os pós depois de misturados e sinterizados os corpos de provas (figura 4.3),

Figura 4.3 – Amostras Sinterizadas



4.1.2 Tribologia dos compósitos

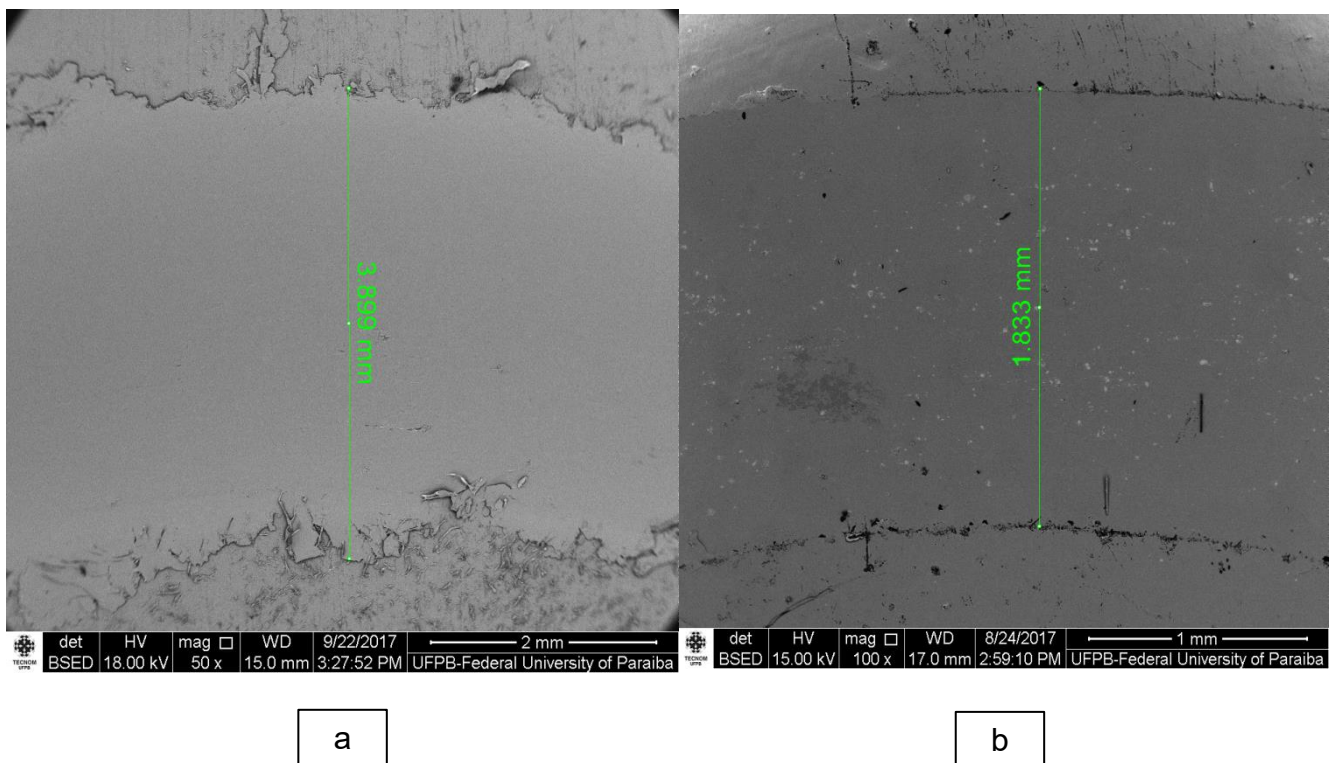
Ensaio de pino sobre disco

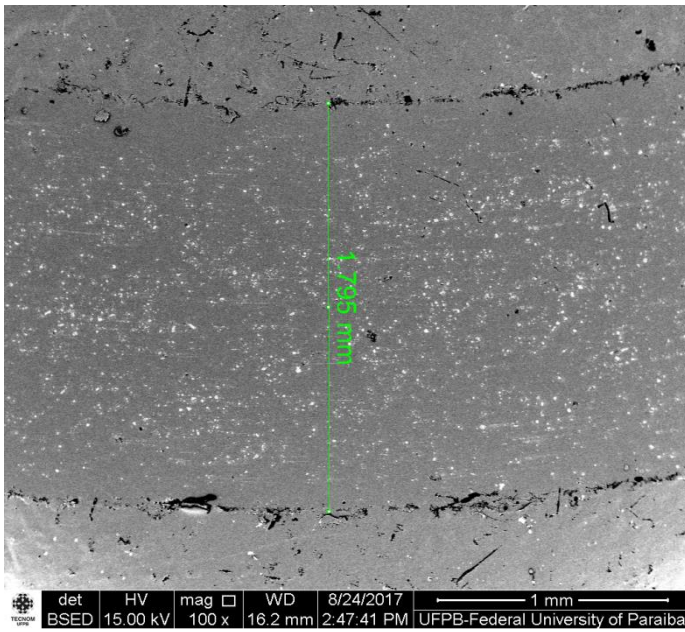
Para verificar o aumento da resistência ao desgaste, analisou-se a largura da pista através do MEV (microscópio eletrônico de varredura)

Tabela 2: Largura da pista após o ensaio de pino sobre disco

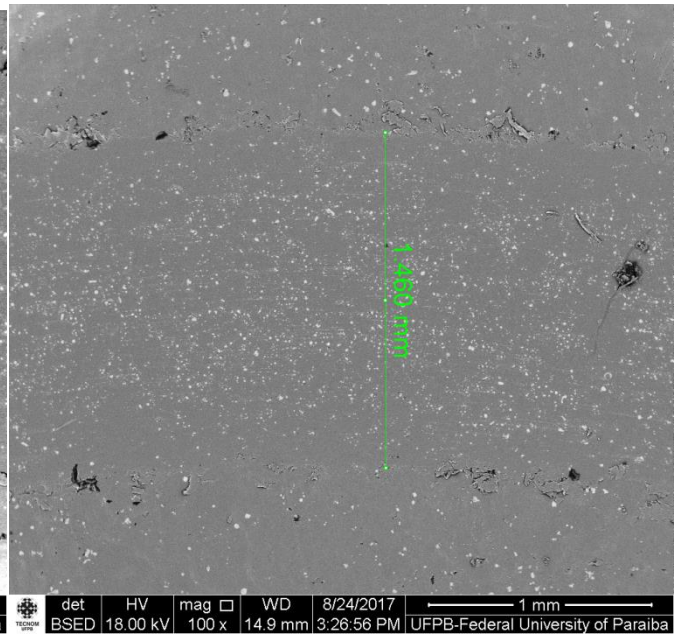
Compósitos	Tamanho (mm)
0%	3,899 (a)
1%	1,833 (b)
5%	1,795 (c)
10%	1,460 (d)
15%	1,349 (e)
20%	1,316 (f)

Figura 4.4: Largura das pistas do ensaio de pino sobre disco a) 0% b) 1% c) 5% d) 10% e) 15% f) 20%

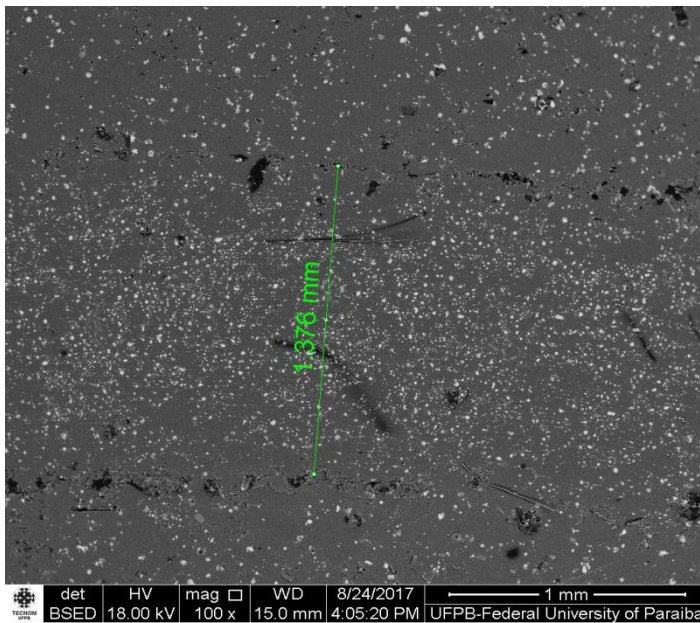




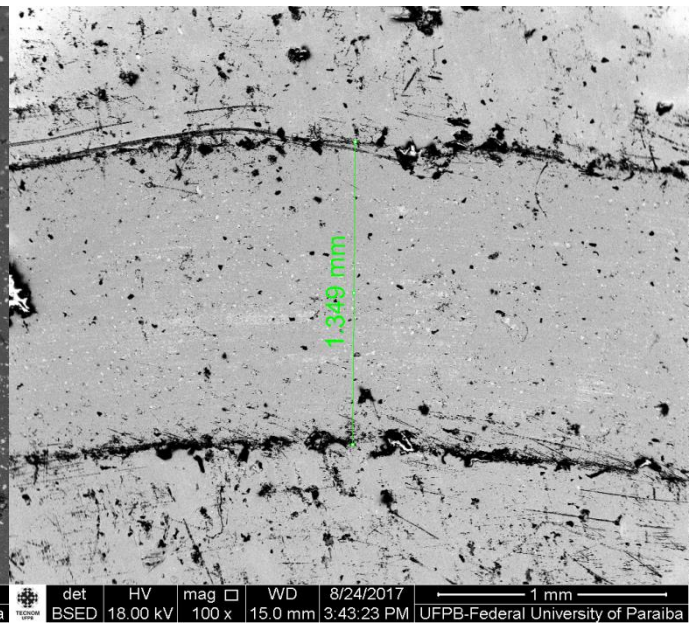
c



d



e



f

Analisando os dados da tabela 2 e figura 4.4 observa-se redução na largura da pista de desgaste, com aumento da fração volumétrica quasicristal no compósito. Ou seja, a medida que se aumentou a quantidade de pó de segunda fase aumentou a resistência ao desgaste.

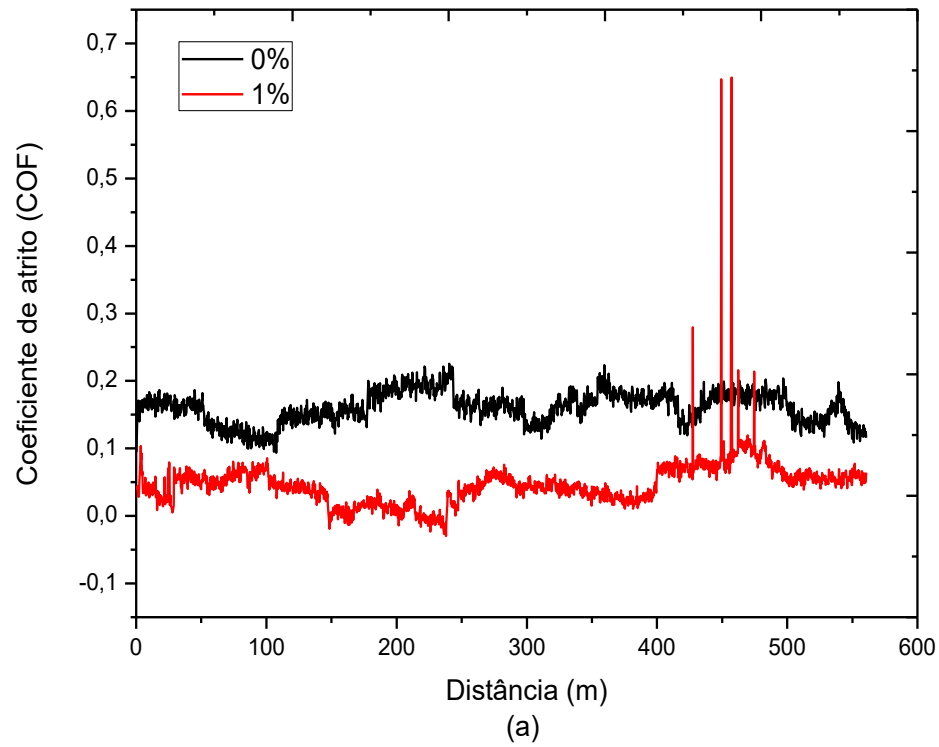
Coefficientes de Atritos

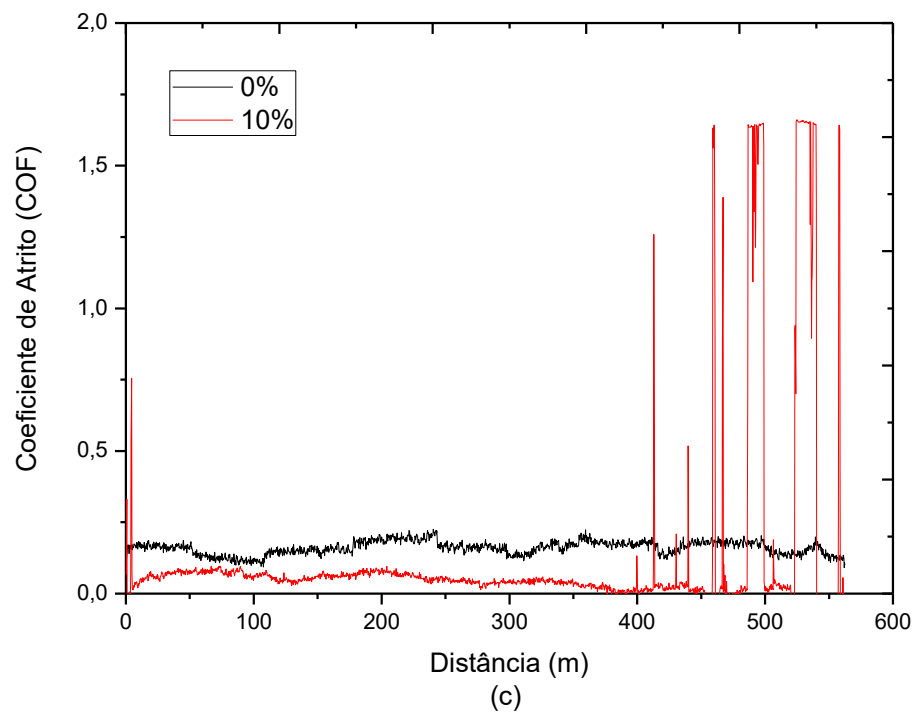
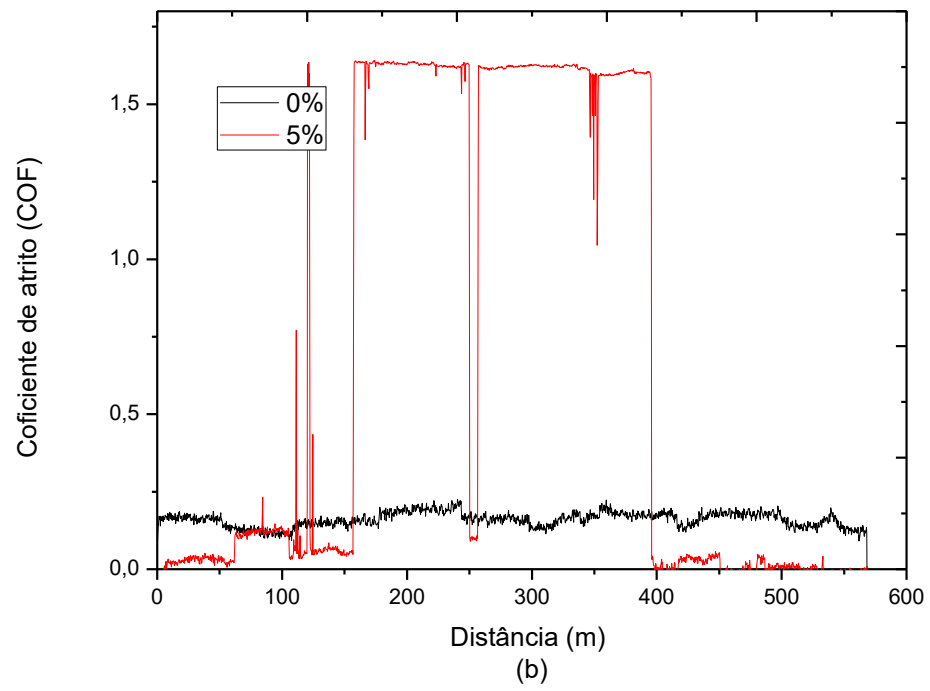
A seguir, na tabela 3 e as figuras 4.5 e 4.6, são apresentados os dados dos coeficientes de atrito em relação a adição da fração volumétrica de pó quasicristalino.

Tabela 3: Coeficientes de atritos dos compósitos na distância total percorrida de 568,8 metros.

Composição	0%	1%	5%	10%	15%	20%
Coeficiente de Atrito	0,16	0,05	0,69	0,15	0,11	0,01

Figura 4.5: Gráficos de coeficiente de atritos (a) composições 0% e 1% (b) Composições 0% e 5% (c) composições 0 e 10% (d) Composições 0% e 15% (e) Composições 0% e 20%.





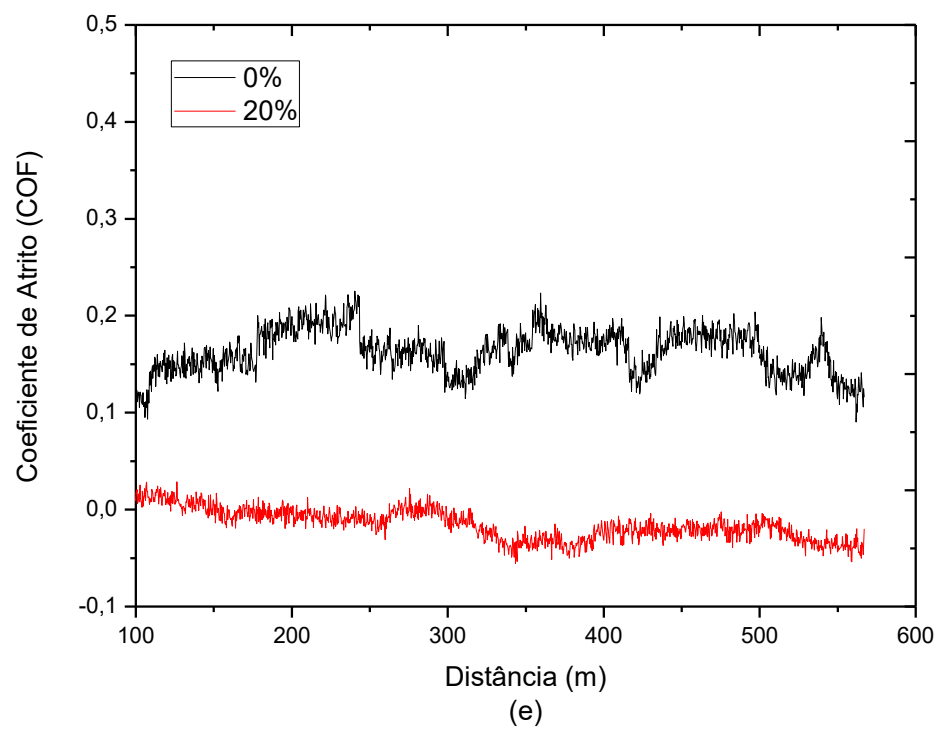
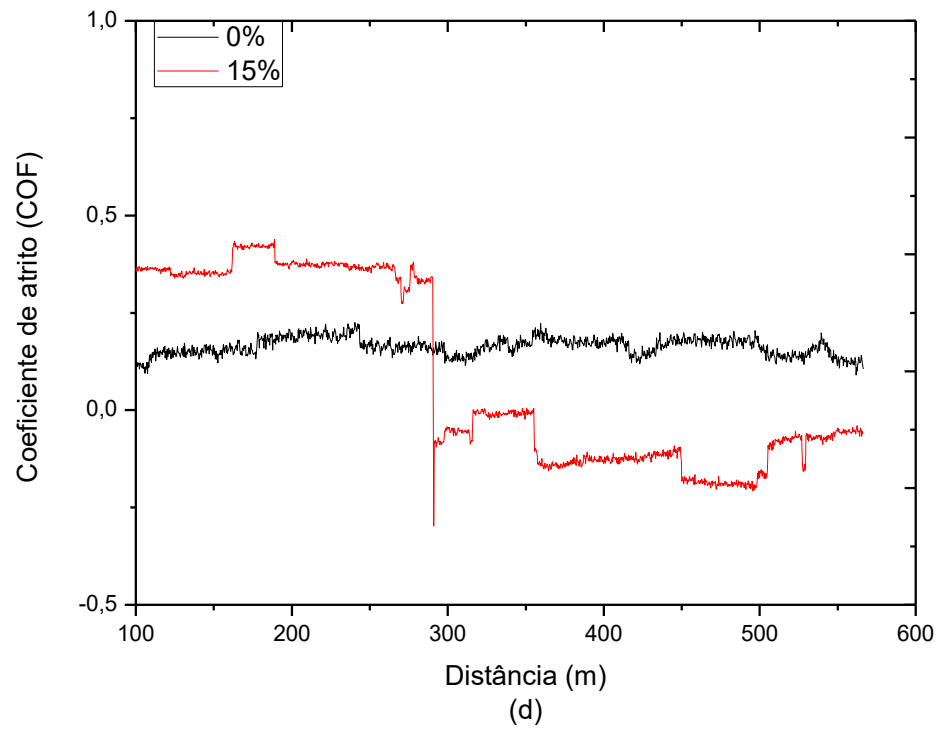
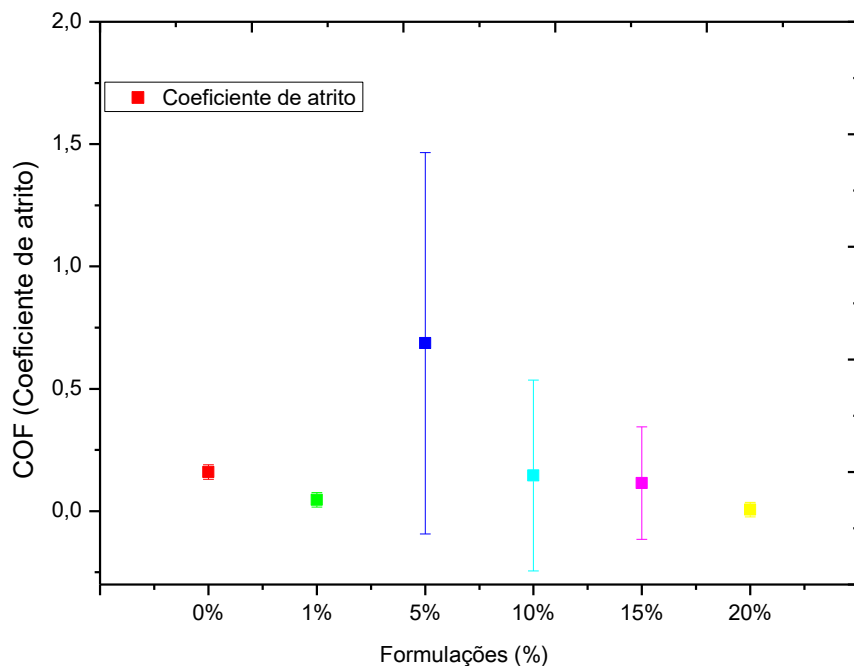


Figura 4.6: Gráfico dos coeficientes de atritos na distância percorrida de 568,8 metros.



Observa-se que os coeficientes de atritos na distância percorrida de 10 à 40 metros tem um comportamento em todas as formulações que ocorre a diminuição do coeficiente de atrito, onde pode-se verificar na Tabela 4 e na Figura 4.7, o comportamento durante o ensaio de pino sobre disco. A partir da distância de 40 metros, começa ocorrer oscilações nas medições dos coeficientes de atritos nas composições de 5% e 10%.

Tabela 4: Coeficientes de atritos dos compósitos na distância de 10 a 40 metros.

Composição	0%	1%	5%	10%	15%	20%
Coeficiente de Atrito	0,16	0,04	0,05	0,06	0,08	0,03

Figura 4.7: Gráfico dos coeficientes de atritos na distância percorrida de 10 a 40 metros.

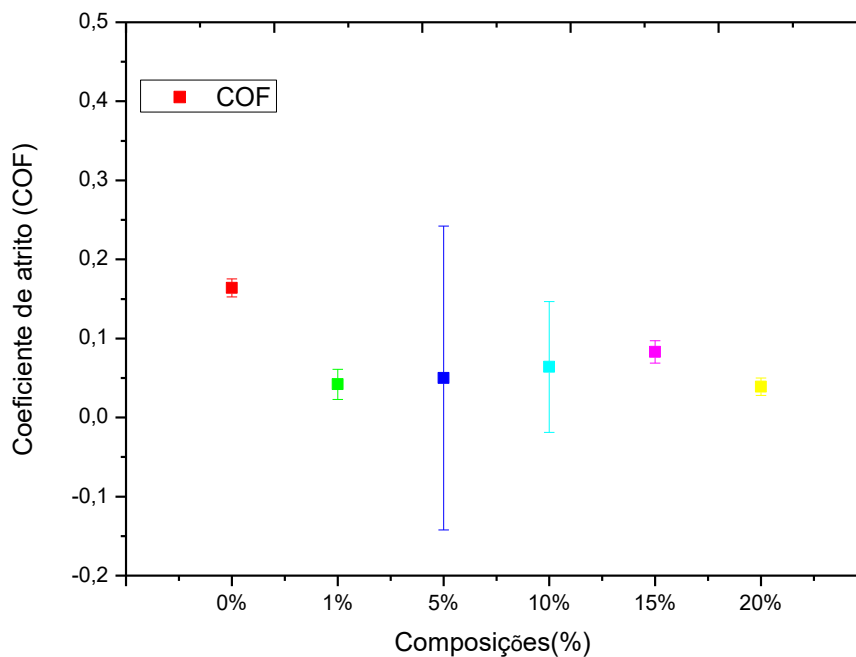
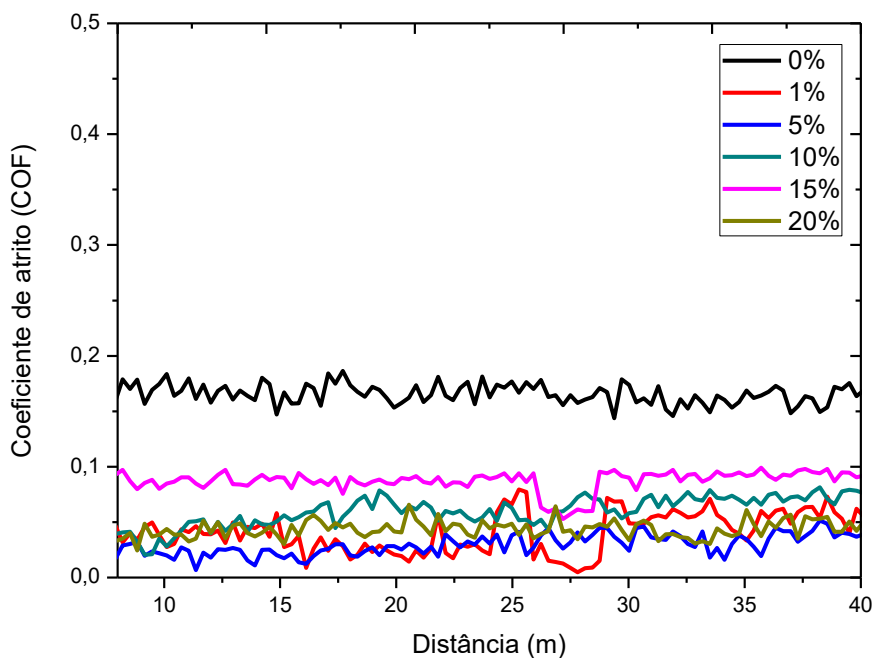


Figura 4.8: Gráfico dos coeficientes de atritos na distância percorrida de 10 a 40 metros.

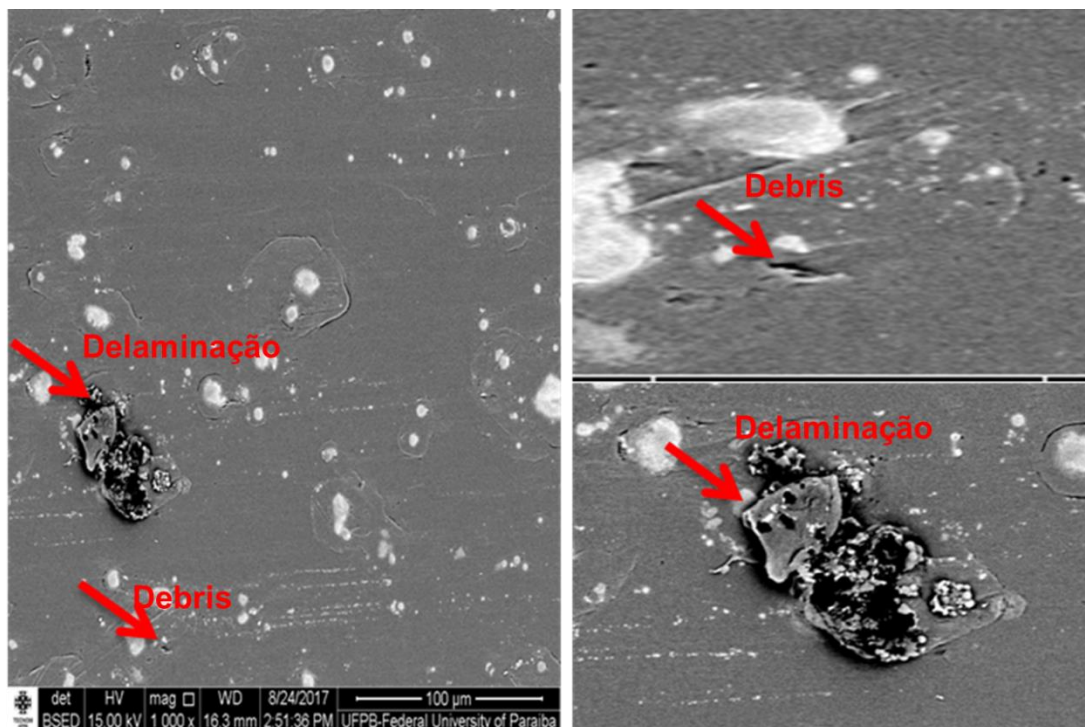


Analisando os coeficientes de atrito que estão presentes na Tabela 4 e na figura 4.7 observa-se que ocorre uma diminuição do coeficiente de atrito estático em relação ao PTFE puro, para todas as composições. Houve exceção, porém, na composição com

5% de QC (COF 0.69) comportamento relativamente diferente aos outros compósitos. Sugere-se que pode ter havido problemas durante o processamento deste compósito, especificamente, durante o processo de sinterização. A má sinterização pode ter gerado uma quantidade excessiva de partículas soltas, que pode ter contribuído para intensa delaminação inicial durante o processo de desgaste. De acordo com CONTE (2012), as regiões que ocorre aumento acentuado no coeficiente de fricção como observado para o compósito de 5%, pode ser explicado pelo desmoronamento de partículas quasicristalinas e sua ação abrasiva, devido aos debris e às delaminações presentes na pista de desgaste do compósito. Justificando o comportamento destoante para a composição específica.

Na figura 4.9 é possível observar a intensa formação de debris, partículas abrasivas que podem ter contribuído para o intenso desgaste inicial, na composição de 5% Vol. De pó de QC.

Figura 4.9 : Imagens do MEV da composição de 5%



A análise das outras composições (0, 10, 15, 20% Vol. QC), apresentaram um comportamento uniforme e coerente, de diminuição de coeficiente de atrito com aumento de carga, como visto na figura 4.5. Conforme KAWAKAME e BRESSAN (2005), a taxa de desgaste e o tamanho dos debris de PTFE diminuem com o prolongamento do deslizamento, mas somente a exposição do PTFE com desgaste apontou a degradação na interface, estas modificações químicas levam a maior dureza e maior fragilidade, provavelmente destas ligações cruzadas e conjugação e superfícies poliméricas mais resistentes ao desgaste.

De acordo com os autores Wang (2003), Bahabur (1992), Sirong (2007), UNAL (2006) (2004), Mimaroglu (2007) e Feyzullahoglu (1989), a influência da velocidade de deslizamento no atrito e desgaste do polímero e seu compósito é maior que a da carga aplicada, embora alguns outros pesquisadores tenham pontos de vista diferentes, no qual eles informam que a carga aplicada exerce maior influência no desgaste deslizante do polímero e seus compósitos do que a velocidade de deslizamento. O filme de transferência tem efeitos importantes sobre o desempenho tribológico do polímero e seu reforço. Se a película de transferência é fina, uniforme e contínua, a perda de desgaste e o coeficiente de atrito são baixos. Os resultados dos estudos deles mostraram que o desempenho tribológico do material polimérico pode ser melhorado significativamente por reforço.

De acordo com H Li et al 2014, em estudos tribológicos concretizados em compósitos de PTFE/kevlar, ao estudar o procedimento tribológico de compósitos fabricados com PTFE/kevlar, garantem que os debris são produtos de experimento de atrito e analisa-los ajuda no entendimento do mecanismo tribológico, pois os mesmos podem agir, por exemplo, em forma de fita ou lâmina indicando delaminação.

Segundo Conte (2012), o coeficiente de fricção, medido está diretamente relacionado a estrutura molecular do polímero. PTFE que é composto de moléculas de haste rígidas com um perfil molecular suave, mostra um baixo coeficiente de fricção devido das correntes de deslizamento nas interfaces das cadeias. Considera-se que a adição da carga proporciona uma camada de transferência fina coerente e seguramente anexada aos corpos de provas de polímeros na contra faces adjacentes. Uma camada de transferência estável promove baixa fricção e baixo desgaste. Durante o deslizamento do desgaste, o desgaste adesivo é gerado conseqüentemente da reorientação do PTFE na direção do deslizamento.

Em associação às teorias apresentadas por CONTE e IGARTUA, 2012 e H Li et al 2014 pode-se associar a diminuição do coeficiente de atrito dos compósitos às características das ligas quasicristalinas que apresentam, também um baixo coeficiente de atrito inerente à este material, conforme comprovado (CAVALCANTE, 2016)

Segundo Franceschini (2014), essas alterações de picos no gráfico, que ocorreu durante o percurso do ensaio que é possível verificar essas curvas são sigmóidais decorrentes do fenômeno de *stick-slip*, sendo na ascendente da curva o *stick* e na descendente o *slip*. Se a força de atrito (ou velocidade de deslizamento) não permanece constante em função da distância e produz um tipo de oscilação, sendo assim chamado de fenômeno *stick-slip*.

De acordo com Bhushan (2002) o deslizamento de um corpo sobre outro, sob uma força de tração constante segue às vezes, a uma velocidade constante ou aproximadamente constante, e em algumas ocasiões, as velocidades variam significativamente. Se a força de atrito (ou velocidade de deslizamento) não permanecer constante em função do tempo e produz um tipo de oscilação isto é chamado de fenômeno de *stick-slip*. É um típico exemplo de oscilação induzida por atrito observada em baixas velocidades de deslizamento e geralmente resulta em vibrações que geram ruídos graves e rangidos que isso pode ser verificado na figura 4.7(b).

Profundidade de Desgaste

A seguir observar-se os resultados da profundidade das pistas de desgaste em função do aumento da carga, conforme apresentados no gráfico da figura 4.10:

Figura 4.10: Gráfico da Profundidade de Desgaste em relação ao ensaio

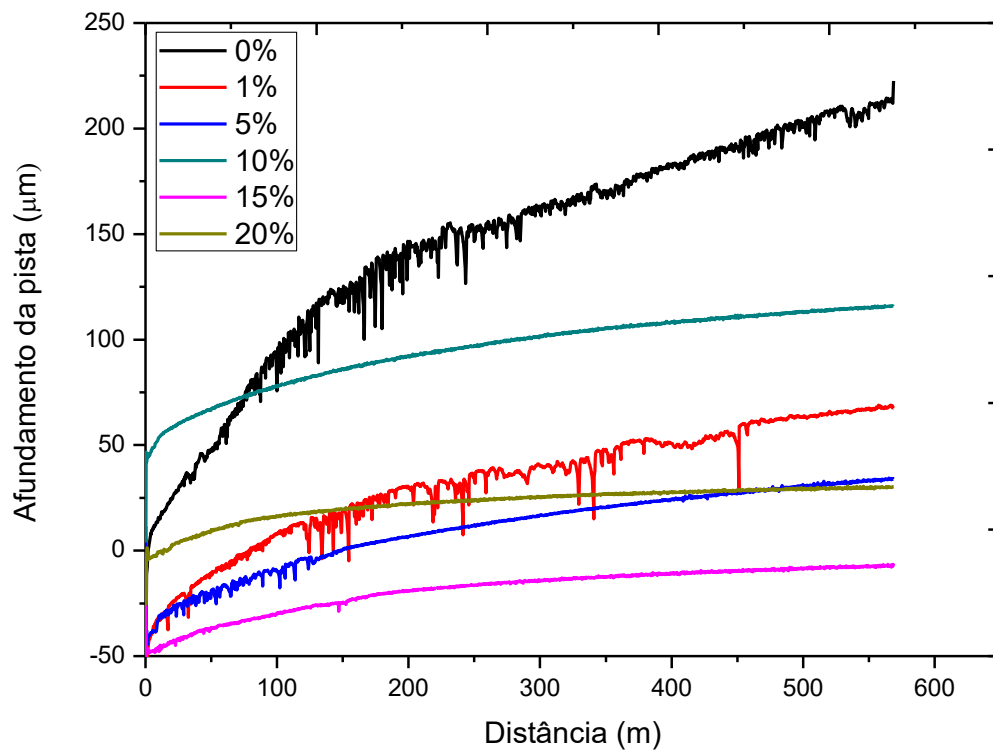
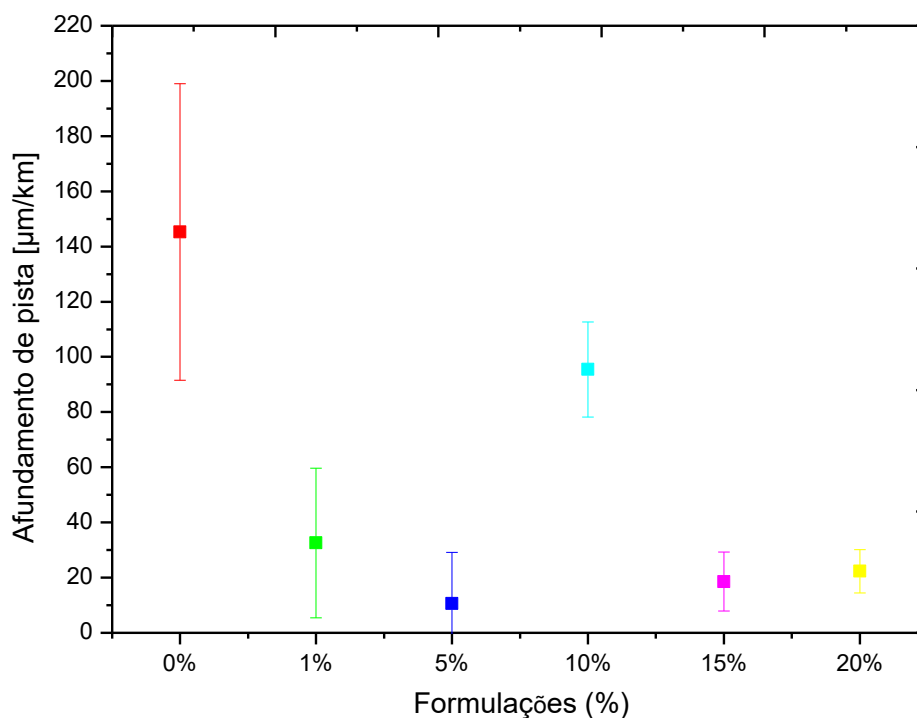
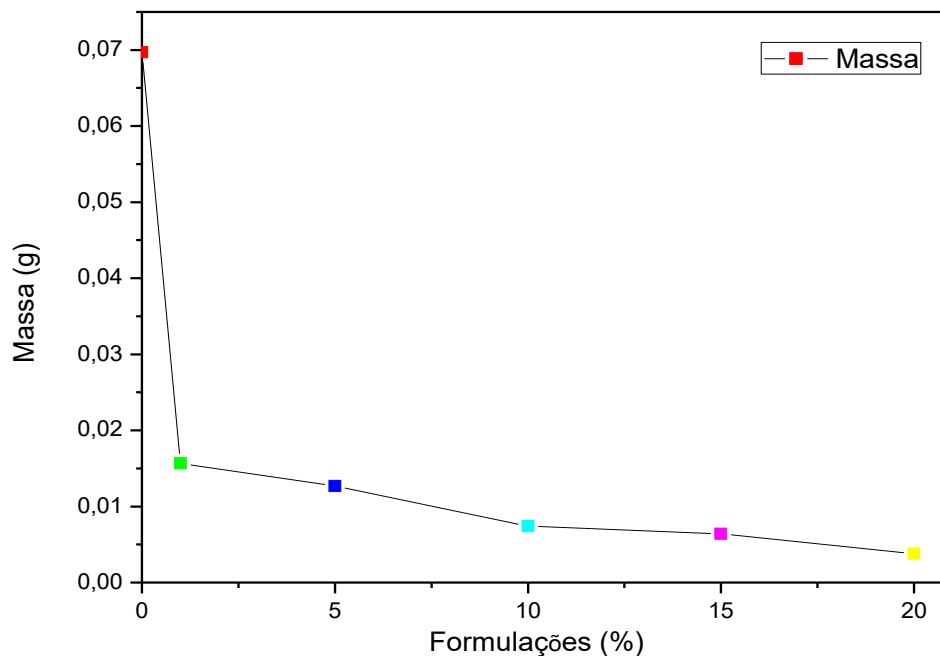


Figura 4.11: Gráfico do afundamento da pista em função do percentual de cargas e com os seus desvios padrões



De acordo com estudos uma das características do PTFE é baixa resistência ao desgaste como é possível observar na tabela e gráfico referentes ao fundamento da pista no corpo de prova de PTFE puro, ao se adicionar percentuais de quasicristais há obtenção de aumento de resistência. É possível observar que o composto com percentual de 20% de quasicristal teve um menor afundamento de pista. Isso implica maior resistência ao desgaste, se comparado com o PTFE puro.

Figura 4.12: Gráfico de redução de massa nos compósitos



Na tabela 6 é possível observar os dados de redução de massa em função do acréscimo da quantidade de pós de reforço na matriz, que fornece mais um dado de resistência ao desgaste.

Tabela 6 Amostras pesadas antes e depois dos ensaios

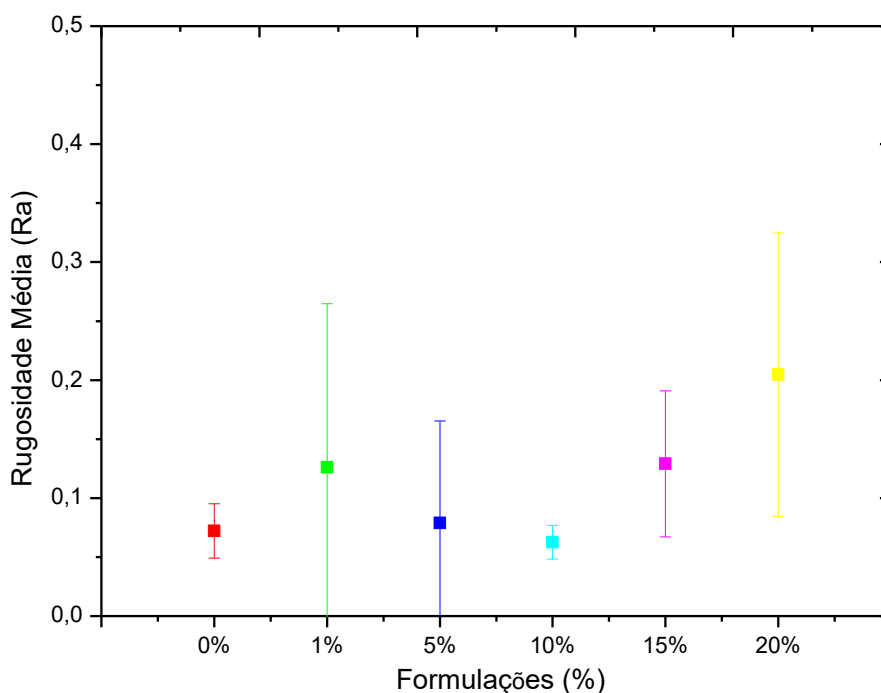
Percentuais QC	Peso Antes	Peso Depois	Redução em	
			massa	Redução em %
0%	14,9632	14,8953	0,0697	0,46%
1%	11,1234	11,1078	0,01568	0,15%
5%	12,872	12,8593	0,01267	0,10%
10%	13,4184	13,411	0,0074	0,06%
15%	13,9249	13,9185	0,0064	0,05%
20%	14,7591	14,7553	0,0038	0,03%

Podemos comparar a redução de massa entre os corpos de provas que foram pesados antes e depois do ensaio de pino sobre disco como podemos observar a figura 4.12 e a tabela 6, observa-se uma redução de massa ao adicionar a carga de quasicristais. Esses dados corroboram os resultados apresentados anteriormente, aumento de resistência ao desgaste com aumento da fração volumétrica de quasicristal.

Rugosidade

Com base na figura 4.13 verifica-se que com a adição da carga a rugosidade do compósito aumenta.

Figura 4.13: Gráfico da rugosidade e suas respectivas formulações



Como visto na Figura 4.13 após o ensaio de desgaste observa-se que a rugosidade aumentou, um único compósito que obteve um resultado de rugosidade em comparação ao PTFE puro foi o de 10%. De acordo com estudos, os compósitos

desenvolvidos a partir da mistura mecânica do PTFE em pó com a carga de quasicristal, exibem partículas presentes sobre a superfície aumentando de forma significativa a rugosidade, a qual também é afetada pela adesão do reforço na matriz. Essa adesão é influenciada pela presença de grupos funcionais, propriedades químicas do reforço, conformação e constituição da matriz, entre outros fatores. Como o PTFE e os quasicristais são considerados materiais inertes, acredita-se que a interface, que já é um local de instabilidade e descontinuidade, tornou-se ainda mais susceptível à falha, justificando o aumento da rugosidade dos compósitos quando comparados à rugosidade do PTFE puro, com exceção da amostra de 10% como foi supracitado (ver Apêndice II).

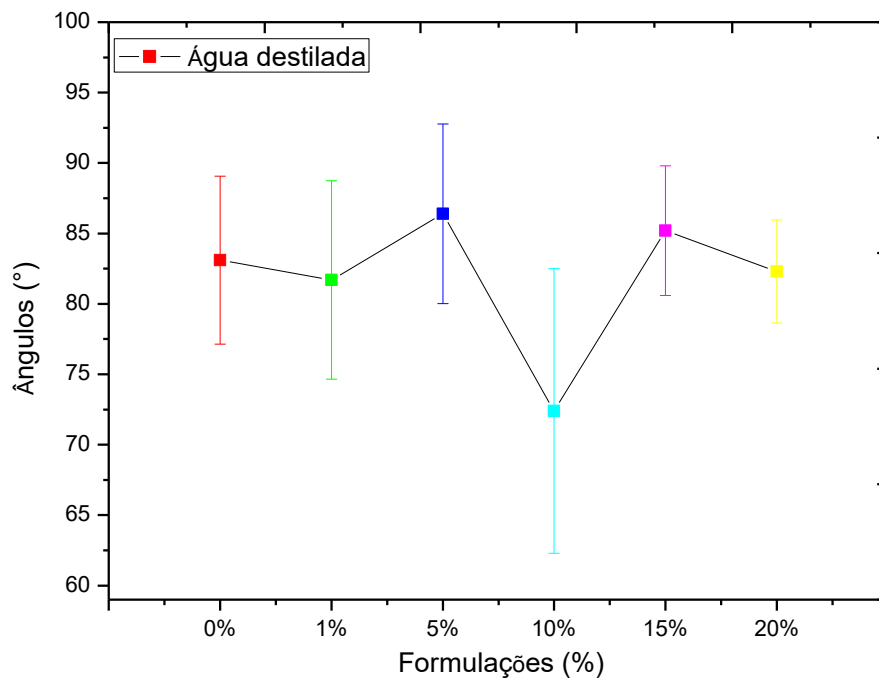
Molhabilidade

Analisando os resultados apresentados na tabela 7 e figura 4.12 pode-se observar o comportamento de molhabilidade dos compósitos PTFE/QC.

Tabela 6: Ângulos de contato

Composições	Água Destilada (°)	Água Salina (°)
0%	83,1°	71,2°
1%	81,7°	90,3°
5%	86,4°	80,9°
10%	72,4°	82,9°
15%	85,2°	83,7°
20%	82,3°	82,7°

Figura 4.14: Gráfico dos ângulos da molhabilidade com a água destilada nos compósitos.



O PTFE é um polímero perfluorado com fortes ligações carbono-flúor que contribui para a elevada resistência química do material. Pode-se observar na Figura x que o aumento na concentração de QC no compósito não influenciou a hidrofobicidade do material. Exceto para a composição com 10% de QC que teve uma diminuição significativa do ângulo de contato, fato que pode estar relacionado a uma provável região de menor rugosidade da amostra.

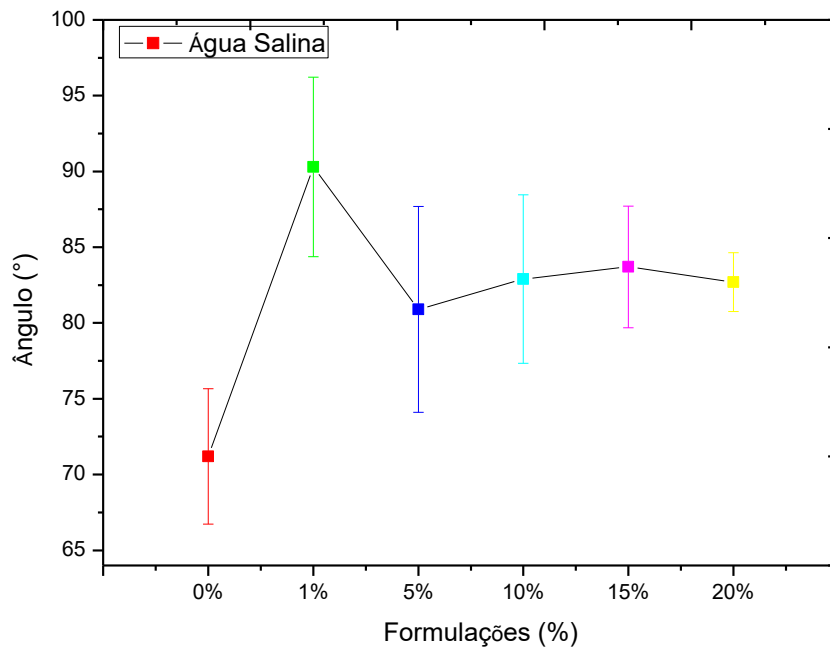
A capacidade molhante de um sólido por um líquido está diretamente relacionada entre as forças adesivas do líquido no sólido e as forças coesivas do líquido, ou seja, as forças adesivas fazem o líquido se espalhar no sólido enquanto as coesivas fazem com que ele se comprima. Autores como Vogler (1998) consideram o material hidrofóbico para ângulos $\Theta > 65^\circ$ e hidrofílicos $\Theta < 65^\circ$, desta maneira os compósitos analisados nesse trabalho apresentaram caráter hidrofóbico. De fato, o PTFE é conhecido por sua propriedade hidrofóbica, resultado das ligações químicas de seus componentes. Como podemos observar na Tabela 7 os ângulos de contato (ver Apêndice 1) e verificando que os compósitos são hidrofóbicos.

Segundo Rajib (2014) a molhabilidade de superfícies sólidas por soluções de líquidas está bem focada na literatura. Os fluidos também são capazes de reduzir a tensão superficial, bem como influenciar o ângulo de contato na interface sólida, líquida e gasosa. A redução da tensão superficial dos fluidos depende fortemente da propriedade do material, do tamanho das partículas e da concentração. Estes parâmetros também influenciam a mudança no ângulo de contato em superfícies hidrofílicas (de vidro) e hidrofóbicas (PTFE). Três fatores importantes, como a tensão superficial, a hidrofobia superficial após a deposição de partículas sobre uma superfície sólida, e a pressão disjuntiva influenciam o ângulo de contato final dos fluidos em uma superfície sólida. Os fluidos TiO_2 apresentam reduções máximas na tensão superficial (25,4 mN / m) e ângulo de contato na superfície de PTFE (17,7 °) em relação à água pura.

Outro fator de grande influencia na capacidade hidrofóbica ou hidrofílica de um material é a rugosidade. Como visto nos dados apresentados anteriormente, mesmo com aumento de segunda fase, não houve grande perda ou ganho na rugosidade da matriz (houve um aumento discreto), resultado de grande importância, visto que este é uma das características importantes do PTFE.

Por outro lado, a adição de uma gota de água salina (Figura 4.13) aumentou em aproximadamente 10° o ângulo de contato das amostras independentemente da concentração de QC adicionada a matriz.

Figura 4.15: Gráfico dos ângulos da molhabilidade com a água destilada nos compósitos.



A natureza das soluções explica a diminuição da molhabilidade. Visto que, soluções de água salina apresentam alto teor de minerais, em comparação a água destilada, além disso, a densidade dos líquidos interfere consideravelmente, na molhabilidade dos materiais com valores de 1,0 g/L para água destilada e 1,03 g/L para água salina.

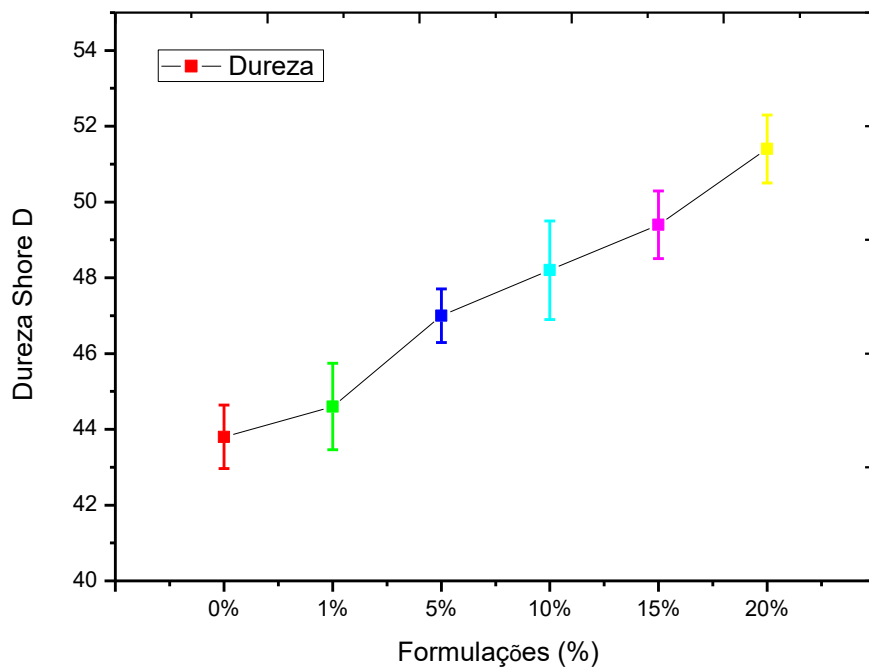
Como se pode ver, pelos resultados apresentado na figura anterior, houve um aumento médio de 10% na hidrofobicidade dos compósitos. Este resultado é especialmente importante, visto que a adição de pó quasicristalino ao PTFE, torna este compósito um bom candidato, por exemplo, à revestimentos de dutos em água salina, devido à diminuição da molhabilidade neste ambiente.

4.1.3 Análises das propriedades mecânicas

Dureza

Os ensaios de dureza foram realizados na escala Shore D, onde podemos observar os resultados a seguir na Figura 4.14 e na tabela 7

Figura 4.16: Gráfico da Dureza Shore D e suas respectivas formulações



Através do gráfico e da Tabela 8, podemos observar que a dureza medida para o PTFE puro é de 43,8 Shore D e à medida que aumenta o percentual de quasicristal adicionado, 1%, 5%, 10%, 15% e 20%, obtém-se o aumento da dureza. Aumentando a dureza com adição de carga de quasicristais. Estes resultados, já esperados, estão em concordância com aqueles apresentados por Souza (2015) com os estudos realizados com os compósitos do mesmo PTFE com a carga mineral com adição de carga mineral.

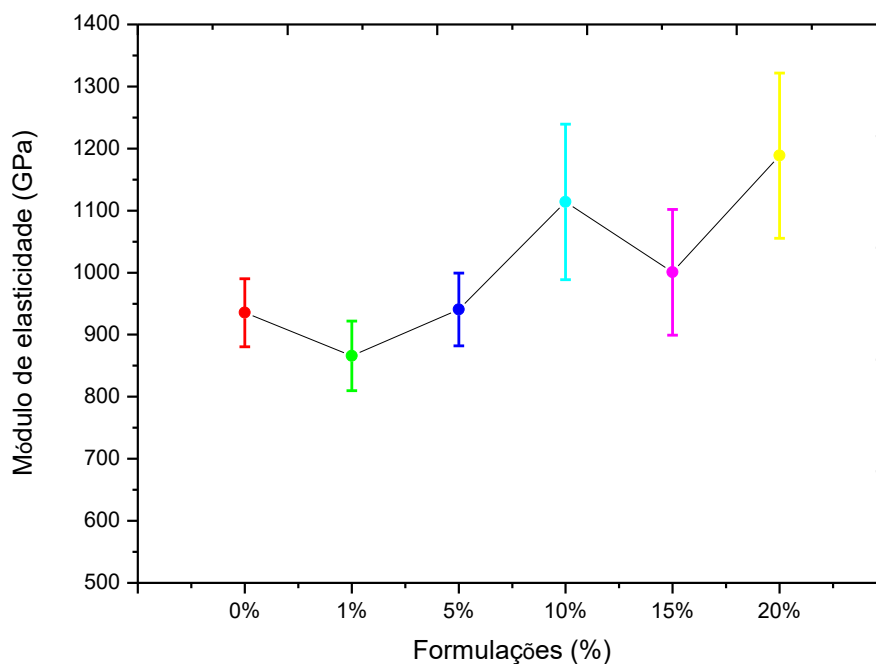
Tabela 7: Resultados obtidos do ensaio de Dureza Shore D

Formulações	0%	1%	5%	10%	15%	20%
Dureza Shore D	43,8	44,6	47;	48,2	49,4	51,4

Ultramicrodureza

A seguir, na figura 4.17, são apresentados os dados de módulo de elasticidade em função do aumento de carga de reforço à matriz PTFE.

Figura 4.17: Gráficos do resultado do ensaio de ultramicrodureza

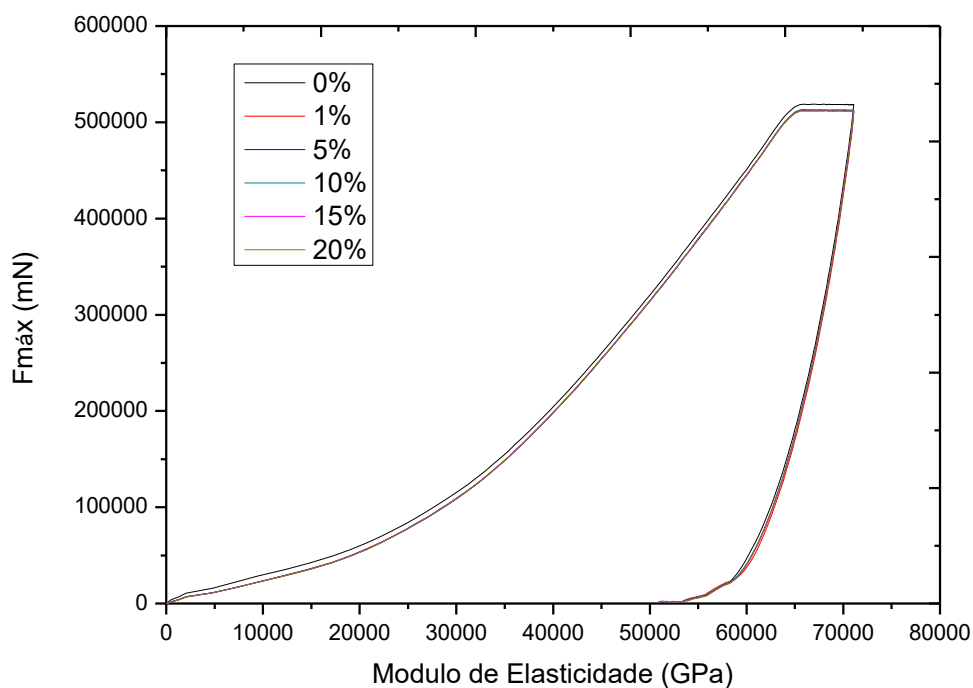


Como pode observar na figura 4.17 que, ao adicionar as cargas de quasicristais ao PTFE, o módulo de elasticidade começa a ocorrer um aumento do módulo de

elasticidade a partir da composição de 10%. Podemos observar na Figura 4.18 o comportamento de todos os ensaios realizados em todas as composições.

De acordo com CHEN et al., 2003 e JOYCE, 2004, essas cargas que são adicionadas aos polímeros, que um dos efeitos de incorporação desses agentes de enchimento aos polímeros, é uma das modificações das propriedades mecânicas. Devido aos estudos dos autores eles descobriram que ao utilizar esses agentes de enchimentos, o módulo de elasticidade dos polímeros pode ser aumentado, permitindo que os polímeros suportem cargas mais elevadas quando submetidos a menor deformação.

Figura 4.18: Gráfico do Módulo de Elasticidade de Todas as Composições



CAPÍTULO V

CONCLUSÕES

- Foi possível a obtenção de compósitos de PTFE com adição de até 20% em fração volumétrica de quasicristal através de sinterização por compressão a quente;
- Melhoria da resistência ao desgaste com adição de quasicristal à matriz de PTFE, fato comprovado pela diminuição das pistas de desgaste no ensaio de pino sobre disco, bem como diminuição da profundidade das pistas de desgastes e diminuição de perda de massa;
- Diminuição no coeficiente de atrito estático, mesmo com adição de quasicristal, provavelmente devido ao baixo coeficiente de atrito inerente, também, ao reforço. O que é um ótimo resultado visto que se manteve uma importante característica do PTFE puro;
- O Coeficiente de atrito do Compósito de 5%, teve um aumento em relação aos outros compósitos, devido à formação de Debris e Delaminações, formação de “terceiros corpos” dificultando o deslizamento do pino.
- Manutenção de hidrofobidade em relação a água destilada, mantendo as características da matriz, e ganho de 10% de hidrofobicidade em relação à água salina;
- Aumento da dureza e do módulo de elasticidade dos compósitos em relação à matriz;
- Sugestão para uso potencial dos compósitos em revestimento de dutos, incluindo em águas salinas; revestimentos em peças com movimentos relativos, substituindo compósitos já consagrados no mercado (PTFE/Carbetos, PTFE/Alumina, PTFE/TiO₂), porém, com preços mais competitivos, dadas características de excelência do reforço quasicristalino como baixa coeficiente de corrosão, baixa energia de superfície, resistência à fluência associados aos resultados obtidos neste trabalho dos compósitos.

REFERÊNCIAS

- BRADLEY, A. J., GOLDSMITH, H. J., 1939, J. Inst. Met., v. 65, pp. 403-418.
- BRESSAN, J, SHOPF, R. A.; Resistência ao Desgaste Abrasivo de Aços Ferramenta Avaliada por Meio do Ensaio Pino-Disco. 6º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO. Caxias do Sul. 2011.
- BRISCOE, B. J. - Materials aspects of polymer wear, ScriptaMetalurgicaet Material, 24, p.839-844, (1990).
- BAHABUR, S., KAPOOR, A. The effect of ZnF₂, ZnS and PbS fillers on the tribological behavior of nylon 11, Wear, Vol 155, n° 1, pg 44 – 61, 1992.
- CONTE, R. B., 2007, “Estudo teórico e experimental dos processos de compactação e sinterização do politetrafluoretileno (PTFE)”, tese de doutorado, Universidade de São Paulo – Brasil/École Normale Supérieure de Cachan – França
- CAVALCANTE, D. G. L., Desenvolvimento de Compósitos Auto-lubrificantes de ligas quasicristalinas/Bi, Sn 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – PPGEM UFPB, João Pessoa.
- CZICHOS, H., “TRIBOLOGY a systems approach to the science and technology of friction, lubrication and wear”, Elsevier Scientific Publishing Company Amsterdam - Oxford - New York 1978.
- DUBOIS, J. M., 2000, “New prospects from potential applications of quasicrystalline materials”, Materials Science and Engineering, v. 294-296, pp. 4-9.
- DUBOIS, J. M., Useful Quasicrystals, 2005, (World Scientific, Singapore, 2005).
- DUBOIS, J.M. JANOT, C.,, 1998, Les Quasicristaux Matière à Paradoxes, EDP Science.
- FEYZULLAHOGLU, SAFFAK, Z., Rolling contact war of polymers a preliminary study. Wera, vol 132, pg 83 – 91, 1989.

FRIEDRICH, K., ZHANG, Z., ALOIS K. SCHLARB. Effects of various fillers on the sliding wear of polymer composites, *Composites Science and Technology* 65 (2005) 2329–2343.

HUTCHINGS, I. M. - *Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials*, Edward Arnold, London, p.51, (1992).

KAWAKAME, M., BRESSAN, J. D., Estudo do desgastemcompósitosautolubrificantesparaaplicaçãoemvedação de motoreselétricos.COBEF – 2005.

KIM, K. B., KIM, S. K., KIM, W. T., KIM, H., HONG, K. T., 2001, “Structural evolution during heat treatment of mechanically alloyed Al–Cu–Fe–(Si) alloys”, *Materials Science and Engineering A*, v. 304-306, pp. 822-829.

LANCASTER, J. K. - *Wear*, 141, p.159-183, (1990).

LIMA, B. A. S. G., 2011, *Propriedades Mecânicas da liga Al-Cu-Fe_B, com estrutura icosaedral através da técnica de endentação instrumentada*, Dissertação Mestrado, PPGEM UFPB, João Pessoa - PB, Brasil.

MALUCELLI, G. & MARINO, F.. *Abrasion Resistance of Polymer Nanocomposites - A Review*, *Abrasion Resistance of Materials*, DrMarcinAdamiak (Ed.), ISBN: 978953-51-0300-4, InTech, Available from:<http://www.intechopen.com/books/abrasionresistance-of-materials/abrasion-resistance-of-polymernanocomposites>, (2012).

MIMAROGLU, A. UNAL, H. ARDA, T., Friction and wear performance of pure and glass fiber reinforced poly-ether-imide on polymer and steel counterface materials wear, vol 262, N° 11, pg 1407-1413, 2007.

NETO, F.L., PARDINI, L.C., *Compósitos estruturados*, Editora Edgard Blucher, 1° edição – 2006.

OSHIMA, A.; Udagawa, A.; Morita, Y. “Radiation processing for carbon fiber-reinforced polytetrafluoroethylene composite materials”.*Radiation Physics and Chemistry*, v.60, p. 95–100, 2001.

OSHIMA, A.; Udagawa, A.; Morita, Y. “Application of radiation-crosslinked polytetrafluoroethylene to fiber-reinforced composite materials”. *Radiation Physics and Chemistry*, v.60, p. 467–471, 2001.

OSHIMA, A.; Udagawa, A.; Tanaka, S. “Fabrication of polytetrafluoroethylene/ carbon fiber composites using radiation crosslinking”. *Radiation Physics and Chemistry*, v.62, p. 77–81, 2001.

Original Russian Text © M.B. Tsetlin, A.A. Teplov, S.I. Belousov, S.N. Chvalun, Ye.A. Golovkova, S.V. Krashennnikov, E.K. Golubev, A.L. Vasilyev, M.Yu. Presnyakov, P.V. Dmitryakov, 2017, published in *Poverkhnost'*, 2017, No. 3, pp. 39–46.

RABINOWICZ, E. *Friction and Wear of Materials*. John Wiley e Sons, 1995).

RIUL, C.; Canto, R. B.; Tita, V.; Carvalho, J. “Estudo da Influência de Parâmetros de Fabricação nas Propriedades Mecânicas de Compósitos Estruturais de Politetrafluoretileno com Fibras Contínuas”. A ser publicado no 18o Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais – CBECiMat, 2008.

RONDON, P. P. S. 2010, Estudo das propriedades mecânicas da interface Adesiva criada por sistemas adesivos convencional e Autocondicionante, associados ou não ao laser nd:yag utilizando a técnica da nanoindentação, Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de São Paulo, São José dos Campos, SP, Brasil.

ROUXEL, D., PIGEAT, P., 2006, “Surface oxidation and thin film preparation of AlCuFe quasicrystals”, *Progress in Surface Science*, v. 81, pp. 488-514.

SAARIVIRTA, E. H., 2004, “Microstructure, fabrication and properties of quasicrystalline Al-Cu-Fe alloys: a review”, *Journal of alloys Compounds*, v. 33, pp. 150-174.

SORDELET, D. J., DUBOIS, J. M., Quasicrystals perspectives and potential applications, *Materials Res. Soc. Bulletin*. V11, pg 34-37, 1997.

SOUZA, A. M. ESTUDO PARA CARACTERIZAÇÃO DE QUASICRISTAL (AlCuFe) VISANDO APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO ARACAJU, SE - BRASIL ABRIL DE 2009

SOUSA, A. M., 2009, Estudo de Caracterização de Quasicristal (AlCuFe) visando aplicação na Indústria de Petróleo, Dissertação Mestrado, UNTI, Aracaju – SE, Brasil.

SOUZA, J. R., 2015, Desenvolvimento de compósitos tribologicamente eficazes, Tese de Doutorado, PPGEM – UFRN, Natal – RN – Brasil.

SOUZA, J. R. et al., 2013, Tribological Performance of PTFE + Tailings of Scheelite Composites. Tribo Lyon 2013, Lyon.40th Leeds-Lyon Symposium on Tribology & Tribochemistry Forum. Desenvolver Compósitos e avaliar seu desempenho tribológico visando alternativas para a reutilização de Rejeitos, através da resistência ao risco.

STOETERAU, R.L., 2004, Apostila: Tribologia, UFSC, 2004.

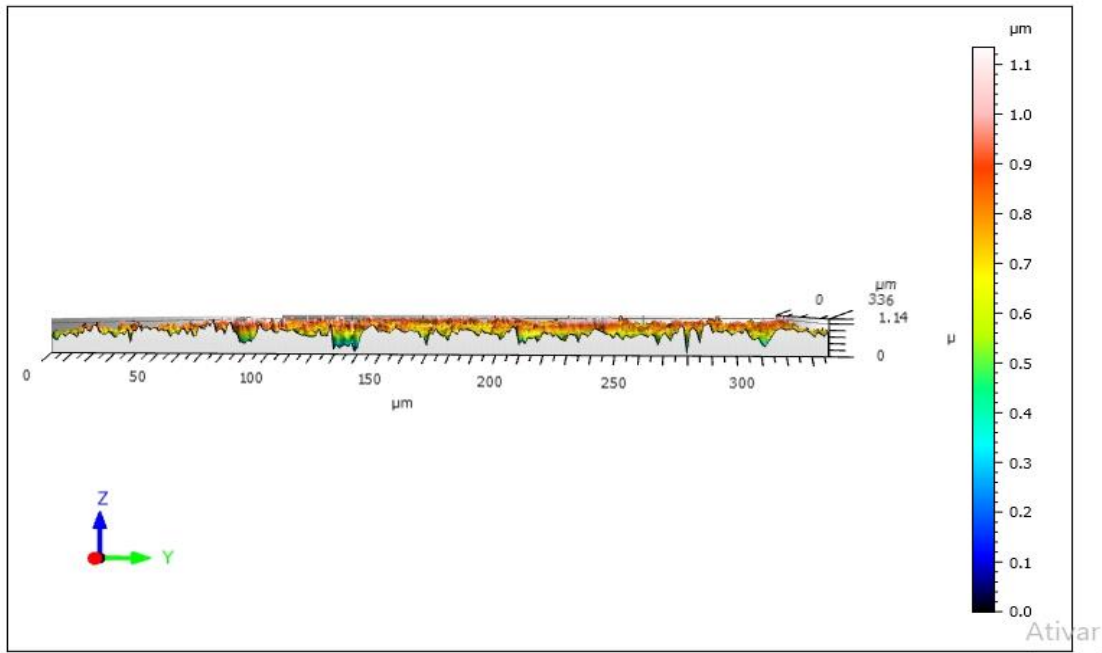
RAJIB G., 2014, The wettability of PTFE and glass surfaces by nanofluids. Author links open overlay panel, Journal of Colloid and Interface Science. Volume 434, 15 November 2014, Pages 141-151.

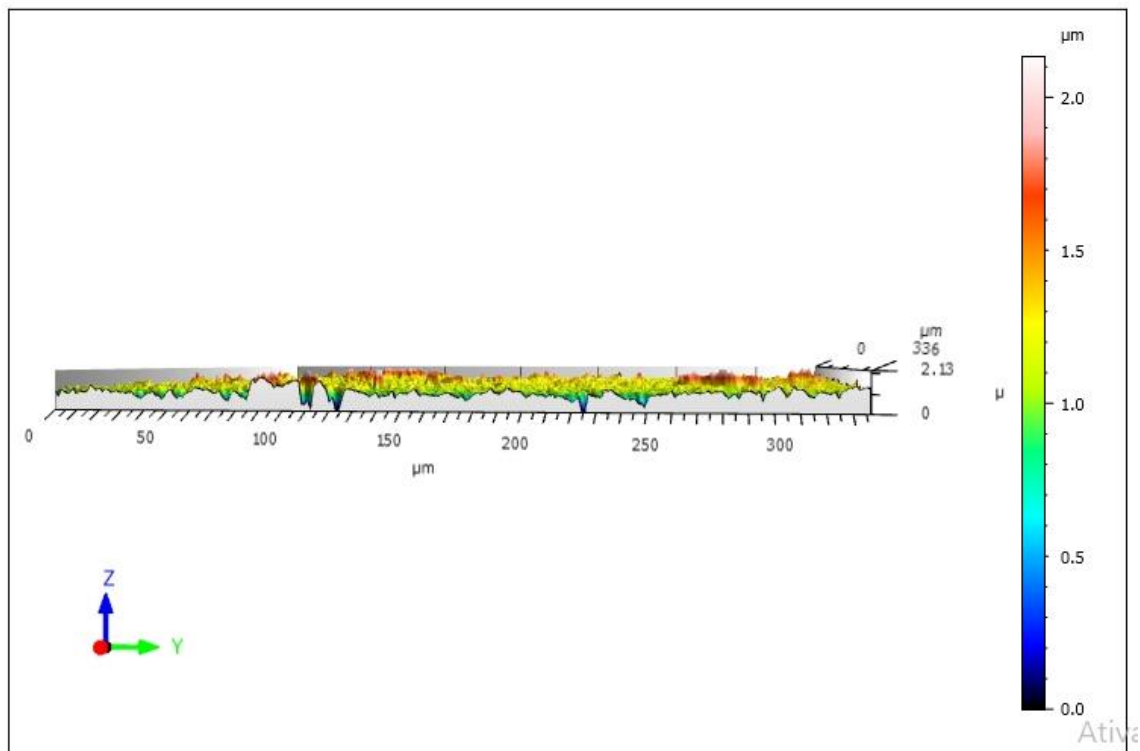
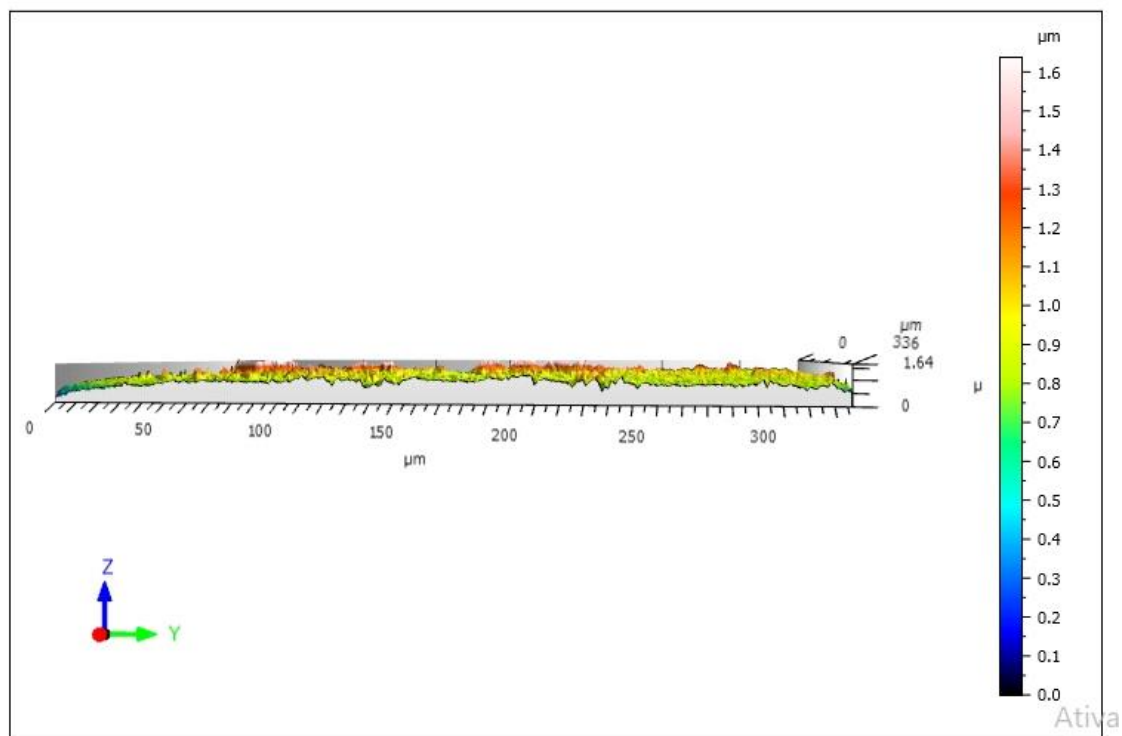
Tribological and Mechanical Properties of Composites Based on Ethylene-Tetrafluoroethylene and Quasicrystalline Al–Cu–Fe Filler - ISSN 1027-4510, Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques, 2017, Vol. 11, No. 2, pp. 315–321. © Pleiades Publishing, Ltd., 2017.

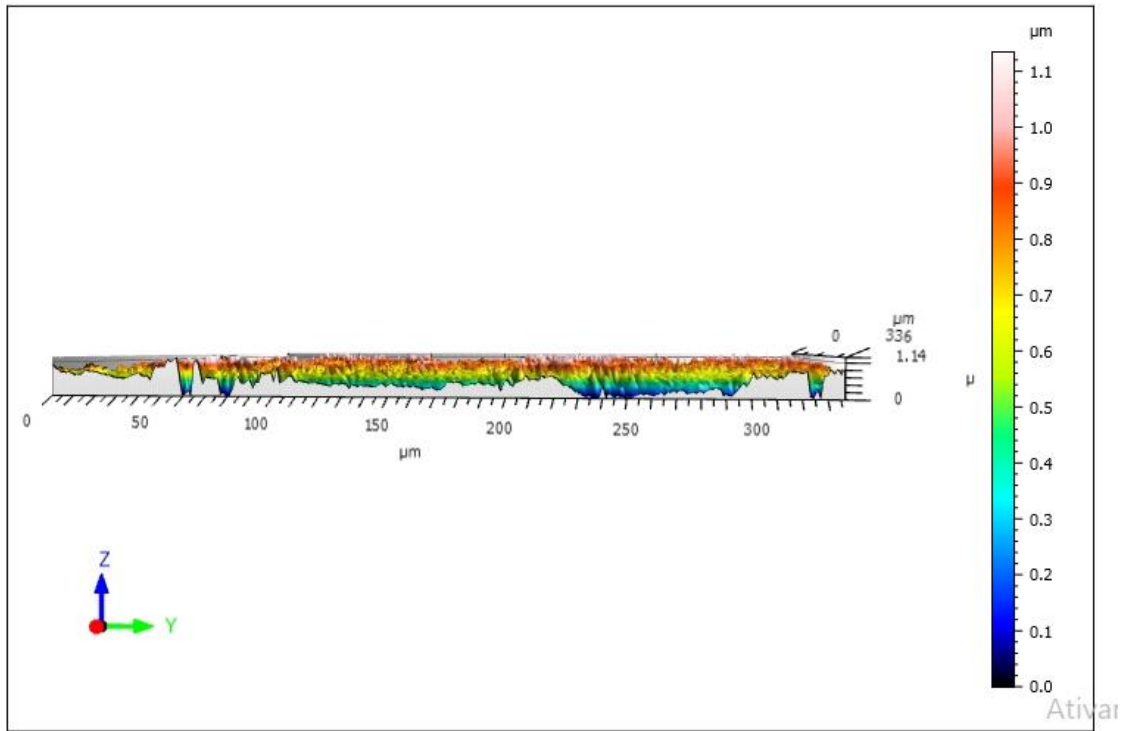
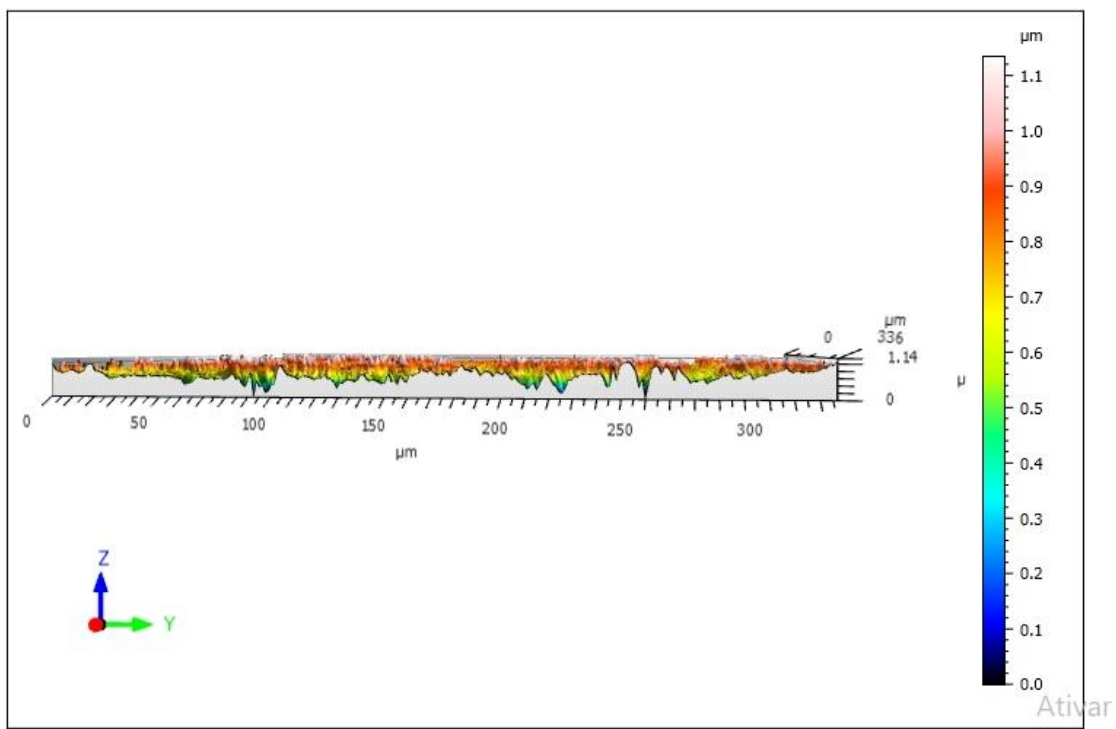
APÊNDICE I

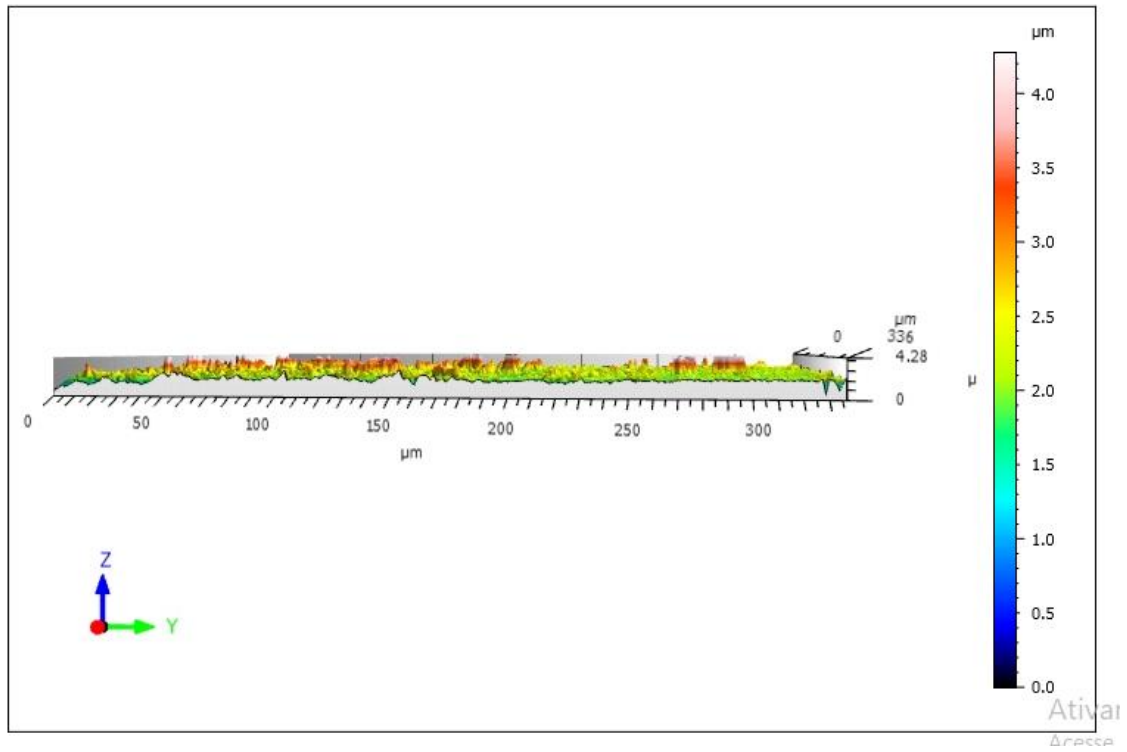
Rugosidade na pista após o ensaio de Pino sobre Disco.

0% de QC



1% de QC**5% de QC**

10% de QC**15% de QC**

20% de QC

APÊNDICE II

Conversão % peso para % Volume

$$\begin{aligned}
 m &= xm_a + (1-x)m_b \\
 V &= yV_a + (1-y)V_b + y'F \\
 &\quad y' = 0 \\
 &\quad V = m/d \\
 m &= \frac{V}{d} = y \frac{V_a}{d} + (1-y) \frac{V_b}{d} \\
 &= \frac{y}{d} d_a \frac{V_a}{d_a} + \frac{(1-y)}{d} d_b \frac{V_b}{d_b} \\
 m &= \frac{y}{d} d_a m_a + \frac{(1-y)}{d} d_b m_b \\
 &= xm_a + (1-x)m_b \\
 x &= y \frac{d_a}{d} \\
 (1-x) &= \frac{1-y}{d} d_b \\
 y \frac{d_a}{d} + (1-y) \frac{d_b}{d} &= 1 \\
 yd_a + (1-y)d_b &= d
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (1-x)(yd_a + (1-y)d_b) - (1-y)d_b \\
 yd_a + (1-y)d_b - xyd_a - x(1-y)d_b &= (1-y)d_b \\
 yd_a + d_b - yd_b - xyd_a - xd_b + xyd_b &= d_b(1-y) \\
 = yd_a - yd_b - xyd_a + xyd_b + yd_b &= d_b - d_b + xd_b
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y(d_a - d_b - xd_a + xd_b + d_b) &= xd_b \\
 y(d_a + x(d_b - d_a)) &= xd_b
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y &= \frac{xd_b}{d_a + x(d_b - d_a)} \\
 x(yd_a + (1-y)d_b) &= yd_a \\
 xyd_a + xd_b - xyd_b - yd_a &= yd_a \\
 y(d_a - d_b) - xyd_b &= xd_b \\
 y(d_a + x(d_b - d_a)) &= xd_b
 \end{aligned}$$

$$y = \frac{xd_b}{d_a + x(d_b - d_a)}$$