

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

BRUNA GIOVANA CUNHA DA SILVA

**ESTUDO DE MATERIAIS COMPÓSITOS HÍBRIDOS NA INDÚSTRIA
AERONÁUTICA E AEROESPACIAL E AVALIAÇÃO DE ARGILA
ORGANOFÍLICA E RESINA EPÓXI PARA APLICAÇÃO EM USINAGEM NO
TORNO CNC**

MANAUS

2019

BRUNA GIOVANA CUNHA DA SILVA

**ESTUDO DE MATERIAIS COMPÓSITOS HÍBRIDOS NA INDÚSTRIA
AERONÁUTICA E AEROESPACIAL E AVALIAÇÃO DE ARGILA
ORGANOFÍLICA E RESINA EPÓXI PARA APLICAÇÃO EM USINAGEM NO
TORNO CNC**

Trabalho de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade do Estado do Amazonas (UEA).

Orientador: Prof. Dr. Gilberto del Pino

MANAUS

2019

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade do Estado do Amazonas.

S586 e Silva, Bruna Giovana Cunha da
Estudo de materiais compósitos híbridos na indústria aeronáutica e aeroespacial e avaliação de argila organofílica e resina epóxi para aplicação em usinagem no torno cnc / Bruna Giovana Cunha da Silva. Manaus : [s.n], 2019.

79 f.: il.; 7,5 cm.

TCC - Graduação em Engenharia Mecânica -
Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2019.

Inclui bibliografia

Orientador: del Pino, Gilberto

1. Compósitos híbridos. 2. Argila Organofílica. 3. Resina Epóxi. 4. Indústrias militares. I. del Pino, Gilberto (Orient.). II. Universidade do Estado do Amazonas. III. Estudo de materiais compósitos híbridos na indústria aeronáutica e aeroespacial e avaliação de argila organofílica e resina epóxi para aplicação em usinagem no torno cnc

BRUNA GIOVANA CUNHA DA SILVA

**ESTUDO DE MATERIAIS COMPÓSITOS HÍBRIDOS NA INDÚSTRIA
AERONÁUTICA E AEROESPACIAL E AVALIAÇÃO DE ARGILA
ORGANOFÍLICA E RESINA EPÓXI PARA APLICAÇÃO EM USINAGEM NO
TORNO CNC**

Este Trabalho de Curso foi considerado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade do Estado do Amazonas (UEA) e aprovado em sua forma final pela comissão examinadora.

Manaus, 09 de dezembro de 2019.

Banca examinadora:

Orientador: Prof. Dr. Gilberto del Pino.

Prof. Dr. Antonio Cláudio Kieling.

Prof. Dr. Aristides Rivera Torres

Dedico este trabalho de conclusão de curso a Deus porque Dele e por Ele são todas as coisas, aos meus pais Edison José da Silva e Elizana Cunha de Souza pelo carinho e amor dedicado, pois em todo momento eles estão ao meu lado me dando todo suporte necessário.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por ter dado força para persistir nessa graduação e trabalho de conclusão de curso, sabedoria e paciência quando mais precisei para a realização deste trabalho.

Como gratidão, agradeço a todos que estiveram ao meu lado, especialmente aos meus pais e familiares por terem acreditado no meu potencial, auxiliando no que fosse preciso e graças ao suporte deles eu pude concluir esse curso.

Agradeço aos professores de Engenharia Mecânica, em especial o professor da disciplina de trabalho de conclusão de curso Prof. Dr. Antonio Claudio Kieling, ao professor orientador Dr. Gilberto e Dr. Aristides Rivera por ter auxiliado nos laboratórios e os demais que fizeram parte da minha formação acadêmica nos ensinando além do que foi visto em sala de aula, ensinando como ser ótimos profissionais nossos professores do curso por todo aprendizado ministrado, não só sobre a especificidade da engenharia, mas como também para a contínua formação da ética humana e profissional.

Agradeço também a todas as pessoas e entidades que contribuíram para que eu pudesse desenvolver e concluir este trabalho. E foram muitos os que, de alguma forma, direta ou indireta, deram essa contribuição, assim como todos os funcionários e a Coordenação e aos meus colegas de curso, com os quais pude estabelecer uma convivência pessoal e intelectual ao longo de todo esse tempo.

“Quando uma criatura humana desperta para um grande sonho e sobre ele lança toda a força de sua alma, todo o universo conspira a seu favor.”

(Johann Goethe)

RESUMO

A escolha de um material para se fazer determinado produto deve ser de acordo com as melhores condições que ele pode apresentar. Na indústria militar necessita-se de algo que seja resistente e que facilite na sua aplicação, pois manter um equipamento de grande porte em mãos ou sobre o ar é necessário o material mais resistente e leve possível. Surgiu então a inovação dos materiais recorrente das necessidades das indústrias em serem mais práticas dando origem aos materiais compósitos que nos ajudou a melhorar a produção nas indústrias militares e automotivas pela combinação dos materiais que elevam a rigidez e possuem menor peso. O estudo de novos materiais busca reduzir os custos e aperfeiçoar os avanços tecnológicos de modo prático, sustentável e com qualidade, sendo assim o foco passa a ser as fontes renováveis adquirindo uma maior resistência e uma maior leveza. A grande importância pela preocupação com a degradação do meio ambiente gerou mais interesse em aumentar esse estudo dos materiais compósitos que por ser algo novo, necessita-se complementar os estudos que já existem pelo fato de não haver muitas fontes bibliográficas que sirvam de base teórica, logo qualquer descoberta é de suma importância para quem tem interesse nessa área e quem visa empreender com novas alternativas de produtos. A descoberta desses novos materiais faz com que haja uma melhoria nas propriedades mecânicas, químicas e térmicas sendo assim com esse trabalho busca-se encontrar novos recursos para outras possíveis pesquisas voltadas a outros tipos de materiais e encontrando aplicações para eles. Assim, o estudo desse trabalho de conclusão é mostrar as possibilidades de materiais feitos com o que se extrai da natureza, e se aprofundar nas propriedades da argila que é um minério muito rico como já sabemos, colocando em prática o quanto os recursos naturais podem servir como um meio de melhorar a tecnologia. Os materiais estudados são as opções de fibras retiradas do habitat natural amazônico, como a fibra de curauá, que é uma planta que está sendo muito explorada no ramo de pesquisas de materiais, mostrar outros possíveis extratos da natureza que podem ser utilizados como material através de dados

relatados por cientistas de materiais. A avaliação da possibilidade de usinagem com resina epóxi e argila organofílica que foi obtida pelo processo de troca de íons. Segundamente, foi realizada a caracterização e análise das propriedades fazendo um comparativo com os materiais utilizados já nas indústrias aeroespaciais e aeronáuticas.

PALAVRAS - CHAVE: Compósitos híbridos. Argila Organofílica. Matriz Epóxi. Indústrias Militares

ABSTRACT

The choice of a material to make a particular product must be in accordance with the best conditions it can present. In the military industry, something that is sturdy and easy to use is needed because keeping large equipment in hand or in the air requires the toughest and lightest material possible. Then came the innovation of materials recurring from industries' need to be more practical giving rise to composite materials that helped us improve production in the military and automotive industries by combining materials that raise stiffness and have lower weight. The study of new materials seeks to reduce costs and improve technological advances in a practical, sustainable and quality way, thus focusing on renewable sources acquiring greater strength and lightness. The great importance for the concern with the degradation of the environment has generated more interest in increasing this study of composite materials than being something new, it needs to complement the studies that already exist because there are not many bibliographic sources that serve as theoretical basis, Therefore any discovery is of paramount importance to those who are interested in this area and who want to undertake new product alternatives. The discovery of these new materials leads to an improvement in mechanical, chemical and thermal properties, and with this work we seek to find new resources for other possible research on other types of materials and find applications for them. Thus, the study of this concluding work is to show the possibilities of materials made from what is extracted from nature, and to delve into the properties of clay that is a very rich ore as we already know, putting into practice how much natural resources can serve as a means of improving technology. The materials studied are the options of fibers taken from the Amazonian natural habitat, such as curacao fiber, which is a plant that is being widely explored in the field of materials research, to show other possible extracts from nature that can be used as material through data reported by materials scientists. The evaluation of the possibility of machining with epoxy resin and organophilic clay that was obtained by the process of ion exchange.

Secondly, the characterization and analysis of the properties was performed making a comparison with the materials already used in the aerospace and aeronautical industries.

KEY WORDS: Hybrid composites. Organophilic clay. Epoxy Matrix. Military Industry

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Tipos de Compósitos	23
Figura 2 - Principais componentes do sistema de produção do Projeto Fênix.....	27
Figura 3 - Furação da peça	30
Figura 4 - Partes do processo da usinagem por Torno	31
Figura 5 - Cavaco removido até a peça final.....	32
Figura 6 - Mecanismo de formação de cavaco.....	35
Figura 7 - Estrutura dos Nanocompósitos	38
Figura 8 - Três tipos possíveis de compósitos de argilopolímero.....	38
Figura 9 - Monômero Epóxi.....	40
Figura 10 - Estrutura molecular da reação da Resina	42
Figura 11 - Primeiro protótipo do KC-390.....	45
Figura 12 - Comparação KC-390 e C-130 Hércules.....	46
Figura 13 - F-117 Nighthawk.....	47
Figura 14 - C-105 Amazonas.....	49
Figura 15 - Corpos de prova no molde de PVC.....	51
Figura 16 - Resina Epóxi SQ-2001	52
Figura 17 - Argila Organofílica.....	53
Figura 18 - Máquina de torno CNC utilizada	53
Figura 19 - Bucha de fixação da peça.....	54
Figura 20 - Corpo de prova após retirada do molde	56
Figura 21 - Corpo de prova 1 usinado.....	57
Figura 22 - Corpo de prova 2.....	58
Figura 23 - Corpo de prova 3 usinado.....	59
Figura 24 - Corpo de prova 4 usinado.....	60
Figura 25 - Divisão dos corpos de prova para testes de rugosidade.....	61
Figura 26 - Corpo de prova na posição de análise do Rugosímetro.....	61
Figura 27 - Desvio médio aritmético Ra.....	62
Figura 28 - Teste de rugosidade no corpo de prova.....	62
Figura 29 - Rugosímetro.....	63
Figura 30 - % Argila Organofílica x Ra.....	65
Figura 31 - Velocidade de corte x Ra.....	66
Figura 32 - Velocidade de Corte x Ra.....	67
Figura 33 - Velocidade de Corte x Ra.....	68
Figura 34 - Profundidade de corte x Ra.....	68
Figura 35 - Cavaco do corpo de prova 2.....	69
Figura 36 - Cavaco do corpo de prova 4.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Compósitos - matriz polimérica.....	24
Tabela 2 - Valores das propriedades das fibras naturais e convencionais	28
Tabela 3 - Vantagens e desvantagens do torno CNC.....	32
Tabela 4 - Propriedades da argila	39
Tabela 5 - Vantagens da Resina Epóxi	43
Tabela 6 - Parâmetros utilizados	56
Tabela 7 - Classificação dos corpos de prova.....	64
Tabela 8 - Influência da argila no acabamento	65
Tabela 9 - Influência da velocidade de corte	66
Tabela 10 - Velocidade de Corte x Ra.....	66
Tabela 11 - Velocidade de avanço x Ra.....	67
Tabela 12 - Profundidade de corte x Ra.....	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CNC	Comando Numérico Computadorizado
PVC	Policloreto de vinil
MMA	Metacrilato de metilo
INPA	Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
PFRV	Polímero Reforçado com Fibra de Vidro
GFRP	Glass Fiber Reinforced Plastic
GPa	Gigapascal
MPa	Megapascal
g	Gramas
cm	Centímetro
Kg	Quilograma
Vc	Velocidade de corte
F	Avanço
Ap	Profundidade de corte
ACP	Aresta postiça de corte
Tg	Temperatura de transição vítrea
UEA	Universidade do Estado do Amazonas
cv	Cavalo-vapor
AFRP	Plástico Reforçado com Fibra de Aramida
FAB	Força Área Brasileira
Embraer	Empresa Brasileira de Aeronáutica

SEC	Secretário Estadual de Cultura
Ra	Desvio médio aritmético de Rugosidade
Mm	Micrômetro

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
1.1 Problematização e hipóteses	19
1.2 Delimitação do estudo	20
1.3 Objetivos	20
1.3.1 Objetivo Geral	20
1.3.2 Objetivos Específicos	20
1.4 Justificativa	21
2. REFERENCIAL TEÓRICO	22
2.1 Materiais Compósitos	22
2.1.1 Variedade de materiais compósitos na Amazônia	26
2.2 Torno CNC	29
2.2.1 Ferramenta de Corte	34
2.2.2 Tipos de cavaco	34
2.3 Argila Organofílica	35
2.4 Resina Epóxi	39
2.5 O uso dos Materiais Compósitos na Indústria Aeronáutica e Aeroespacial	43
3. METODOLOGIA	50
3.1 Métodos	50
3.1.1 Materiais utilizados no experimento	51
3.2 Técnicas	54
3.3 Procedimentos	54
4. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	64
4.1 Medição da Rugosidade Ra	64
4.1.1 Influência do conteúdo de argila no acabamento superficial médio do compósito	65
4.1.2 Influência da velocidade de corte no acabamento superficial do compósito com menor conteúdo de argila (0,1 % P)	65
4.1.3 Influência da velocidade de corte no acabamento superficial do compósito com maior conteúdo de argila (0,4 % P)	66
4.1.4 Influência da profundidade de corte no acabamento superficial do compósito	68

4.2 Análise de cavaco	69
5. SÍNTESE CONCLUSIVA	71
6. REFERÊNCIAS.....	72
7. ANEXOS	75

1. INTRODUÇÃO

Muitas das tecnologias modernas exigem materiais com combinações incomuns de propriedades que não podem ser atendidas pelas ligas metálicas, cerâmicas e materiais poliméricos convencionais. O desenvolvimento de materiais compósitos reforçados, ocorrido acentuadamente nos últimos anos, tem propiciado aos projetistas alternativas novas para solucionar tais problemas, fornecendo-lhes um novo leque de possibilidades para utilização em novos produtos. (WESTRUPP, 2008)

Materiais compósitos podem ser feitos de vários tipos de fibras e resinas. Fabricando compósitos constituídos de um único tipo de fibra, ficamos limitados a contribuição das propriedades destas fibras, para as propriedades finais do compósito. (TIMARCO & MORELLI, 2016)

Para a aplicação dos materiais compósitos é preciso identificar cada propriedade dos materiais isolados para posteriormente verificar as propriedades formadas após a aglutinação dos materiais ao serem conformados. Importante destacar que para a formação de um material de compósito híbrido necessita de uma compatibilidade interfacial para fazer a união dos materiais.

O tema proposto como pesquisa desse trabalho é a avaliação de uma análise de um material de compósito híbrido de Argila Organofílica e resina Epóxi para avaliação de possibilidade de usinagem em um torno CNC e gerar novas fontes de pesquisas para a aplicação de materiais novos dentro da indústria.

Usinagem é um processo de fabricação no qual uma ferramenta remove material a partir de sua superfície, através de movimentos relativos e aplicação de força. O material removido, chamado de cavaco, escorrega sobre a face da ferramenta que é submetida a uma alta tensão normal e cisalhante, além do alto coeficiente de atrito durante a formação do cavaco. (DHAR, 2006)

A ideia principal de escolher o torno CNC é pelo efeito do seu acabamento superficial que se encontra em padrões adequados em questão de qualidade para a obtenção da peça final e a possibilidade de manter a velocidade de corte constante sem influenciar a mudança de diâmetro da peça, para poder investigar a influência de vários parâmetros.

Analisando todos os benefícios citados, concluímos a gama de benefícios existentes que são muito favoráveis para a procura de novos materiais retirados da natureza, isso aumentou refletindo no proveito em se encontrar meios de defender o meio ambiente através da busca por esses materiais e ao grande interesse em alternativas mais viáveis e econômicas na concepção dos materiais para os consumidores e fabricantes, necessário dessa forma implementar novos materiais possíveis atrás de recursos naturais. No trabalho de estudo a influência do conteúdo de argila organofílica no acabamento superficial em compósitos de matriz de resina epóxi e a influência do incremento da velocidade de corte, o avanço e a profundidade. O objetivo de reforçar o compósito com argila organofílica é para incrementar suas propriedades mecânicas com pequenas quantidades.

A finalidade deste estudo procura demonstrar a parte prática de materiais compósitos a fim de encontrar para esses materiais outras aplicações como objetos, utilização dentro da indústria substituindo o que é caro e explorar outros materiais mostrando através de um exemplo, através da aplicação do novo material, um meio de tirar da teoria os estudos e utilizar na prática a fim de que se promovessem as possíveis aplicações dos compósitos híbridos, gerando assim outros estudos através de diversos materiais aumentando o conhecimento nessa área.

1.1 Problematização e hipóteses

A grande problemática em relação à inovação na área de materiais de utilizar a junção de resíduos naturais e sintéticos para fabricação de compósitos híbridos traz consigo as dúvidas em torno das propriedades do novo material, por ter as propriedades desconhecidas com a adesão. Por não ter muitos estudos sobre Argilas Organofílicas e matriz Epóxi geram os questionamentos sobre as grandezas do processo de usinagem do material: velocidade de corte, velocidade de avanço e profundidade de corte.

As hipóteses são se o material terá condições de atender as necessidades para se fazer a usinagem da peça cilíndrica feita com o material de argila organofílica e resina epóxi.

1.2 Delimitação do estudo

Estudo em torno de novas pesquisas de novos materiais para aproveitar o que se encontra na natureza buscando melhores condições físicas e financeiras. O estudo engloba a parte de estudos das propriedades mecânicas dos materiais, também sendo necessário estudar sobre as informações precisas de usinagem, a fim de que tudo fosse calculado e notificado as respostas e resultados esperados ao analisar a possibilidade de usinagem da peça.

1.3 Objetivos

Será apresentado agora os objetivos que movem a ideia para a realização desse trabalho, o que motivou a escolha desse tema e o que se espera aprender com as pesquisas feitas e como a necessidade de inovar o que já existe pode ser um utensílio para abrir um caminho para novas pesquisas e novas ideias para melhorar o que já possuímos.

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é fazer a avaliação de um novo tipo de material de compósito híbrido submetido a testes de usinagem para avaliação do comportamento em uma máquina de torno CNC.

1.3.2 Objetivos Específicos

- 1- Determinar a influência do conteúdo de argila organofílica no acabamento superficial;

- 2- Determinar a influência do incremento da velocidade de corte no acabamento superficial de um material compósito de argila organofílica e resina epóxi;
- 3- Determinar a influência do incremento da profundidade de corte no acabamento superficial de um material compósito de argila organofílica e resina epóxi;
- 4- Determinar a influência do incremento do avanço de corte no acabamento superficial de um material compósito de argila organofílica e resina epóxi.

1.4 Justificativa

Estudar sobre materiais requer entendimento em várias áreas do conhecimento para fazer a análise das propriedades mecânicas e estrutural de um material, conhecimentos básicos de química e física para entender de que forma um material é formado e de que forma ele adquire adesão.

Logo, é de extrema importância para enriquecer o conhecimento pessoal estudar um tema que se tenha afinidade, buscar um meio de se aproveitar o que se estudou ao longo da graduação visando algo maior como a aplicação em indústrias e encontrar até mesmo outros ramos de pesquisas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Seção reservada para se realizar uma revisão do aprendizado de cada assunto abordado nesse trabalho para que se tenha um melhor entendimento do que foi estudado. O estudo sobre o tema foi através de livros, artigos, monografias, teses e vídeos sobre os temas a fim de se verificar a possibilidade de usinagem e dar uma consistência do tema.

2.1 Materiais Compósitos

Para acompanhar o avanço da tecnologia e adquirir obtenção das melhores características e sanar as carências das propriedades que as ligas metálicas, cerâmicas e polímeros não podem atender é necessário fazer uma mistura de materiais para alcançar tais propriedades mecânicas.

O grande desafio que deve ser investido é encontrar aplicações para o uso desses materiais com a ideia e visão futurística de que a fabricação de materiais administrada da forma correta, encontrando um processo adequado para minimizar os impactos ambientais na procura de materiais que possam entrar no lugar dos materiais derivados do petróleo para gerar menos resíduos que contribuem para o aquecimento global.

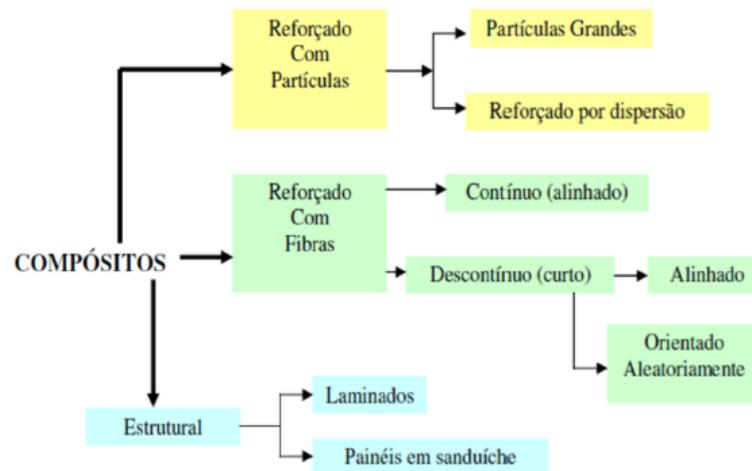
Para o autor Majumdar (2002), os compósitos são uma espécie de associações cautelosas com características e propriedades diferentes que pretendem formar um novo produto com um novo desempenho de preferência superior ao dos desempenhos dos materiais separados.

Assim, nota-se que materiais compósitos são materiais que combinam propriedades que não podem ser adquiridas singularmente, e são formados por uma fase de reforço, que é o caso das fibras, dispersa em uma matriz que é uma espécie de proteção para o reforço das ações externas.

As suas propriedades depois de adquiridas de acordo com as propriedades de cada reforço, para Chawala (2012) as propriedades dos compósitos dependem tanto das características do reforço (distribuição, quantidade, forma, tamanho)

quanto da matriz, o que garante várias classificações disponíveis para tal material. (SOUZA L. V., 2016)

Figura 1 - Tipos de Compósitos



Fonte: (MOREIRA, 2009)

Uma importante vantagem com o uso de fibras vegetais é a redução do dióxido de carbono emitido em nossa atmosfera, pois sua obtenção é através dos recursos naturais que trabalham na produção do oxigênio através das plantas, assim trabalham na reciclagem dos gases.

O campo de emprego das fibras naturais é bastante amplo, abrangendo desde as aplicações clássicas na indústria têxtil até o reforço de matrizes poliméricas termoplásticas e termofixas. Recentemente, a utilização de fibras naturais como materiais absorventes de metais pesados no tratamento de resíduos industriais tem sido apresentada como outra alternativa de uso ambientalmente correto (NUNES, ET AL 2009).

A ideia que define os materiais compósitos é de um material final composto da mistura de outros dois ou mais materiais gerando uma melhoria na estrutura e buscando outros benefícios como econômicos e sustentabilidade.

De acordo com Hull (1988), material compósito nada mais é do que a combinação de dois ou mais materiais diferentes, quando analisados macro e microscopicamente, cujo objetivo é a obtenção de propriedades e características desejadas

Os materiais compósitos possibilitam a ampliação de suas propriedades. Embora não haja uma definição universalmente aceita, de maneira geral, pode-se considerar um compósito como sendo um material multifásico que exiba uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases que o constituem de tal modo que é obtida uma melhor combinação de propriedades. Sendo que as fases constituintes devem estar separadas por uma interface distinta e de escala microscópica. Geralmente são compostas por apenas duas fases; uma é chamada de matriz, que é contínua e envolve a outra fase, chamada de fase dispersa. De acordo com o princípio da ação combinada, propriedades podem ser obtidas pela combinação judiciosa de dois ou mais materiais distintos. (CALLISTER, 2007)

Tabela 1 - Compósitos - matriz polimérica

Matriz (fase contínua)	Cargas (fase dispersa)
Termofixa ou termoplástica	Fibras ou partículas
	Orgânica ou inorgânica
	Natural ou sintética

Fonte: (EBERHARDT, 2009)

Os compósitos apresentam excepcional inércia química, o que permite sua utilização em uma ampla gama de ambientes agressivos quimicamente. Além disso, aditivos especiais e resinas específicas estão à disposição dos técnicos para solucionar aplicações que requeiram propriedades além das usuais. (Materiais compósitos. ALMACO, s.d.)

Essa técnica possui vantagem tanto nas propriedades dos materiais como na econômica, através dessas novas combinações pode-se considerar um avanço tecnológico relacionado aos processos de produção. Com simples fusão de fibras naturais e outras coisas encontradas na natureza melhorasse as propriedades mecânicas, químicas e físicas.

O diferencial que um material compósito apresenta é a maior resistência em paralelo a um peso menor, menor consumo de energia e menos matérias-primas são consumidas.

Na indústria de transformação de materiais, estudos desenvolvidos revelam que a utilização por cargas naturais nos materiais compósitos representa um

aumento de até 60 % em aplicações dentro da indústria automobilística, principalmente nos materiais que usam o PVC como matriz de fibras naturais (HRISTOV *et al.*, 2004)

Assim, notamos evidentemente que as empresas já estão interessadas em materiais dessa categoria por preocupação com a interação entre a sociedade e meio ambiente, menos gastos com recursos e a vasta apresentação de melhorias que isso pode trazer para a qualidade do produto.

Com base nos resultados de estudos de Khoylou (2006), teve-se conhecimento através de um comparação entre materiais de grandeza física e mecânica com pastas cimentícias, que é a combinação de cimento com areia e água, e serragem de madeira qualquer, ambos embebidos com resina de poliéster insaturado, contendo estireno e/ou metacrilato de metilo (MMA) seguido por exposição à radiação gama de Co-60 que os resultados dizem que a resistência à compressão e o módulo de elasticidade na flexão foram comparados aos do betão de alta qualidade e com porosidade diminuída.

As fibras naturais possuem a função nos materiais compósitos de servir como reforço e elas cada vez mais despertam grande interesse nas pesquisas, visando substituir o que já utilizamos, devido ao baixo custo, densidade menor, melhor resistência. Sem falar que no processo da emissão destes gases durante a preparação das fibras é estabilizada pelo consumo dos gases para seu crescimento e desenvolvimento, evidenciando uma vantagem maior aos materiais convencionais.

Atualmente, tem-se usado os materiais compósitos com uma certa frequência devido ao que se busca muito nas aplicações, que são as suas propriedades incríveis de alta resistência e baixa densidade, podendo ser idealizadas várias aplicações diferentes das aplicações habituais. Assim, o grande desafio é buscar o máximo de materiais para serem arquitetados e aplicados nas indústrias.

2.1.1 Variedade de materiais compósitos na Amazônia

A relação do homem e natureza há uns séculos atrás era de equilíbrio entre ambos, porém com o avanço tecnológico e das indústrias, houve uma explosão nas buscas pelas grandes reservas e isso acarretou num desequilíbrio ecológico gerando problemas ambientais como consequência disso tanto para a fauna e flora quanto para os próprios seres humanos.

Temas como alterações climáticas ou aquecimento global, desequilíbrio de ecossistemas e desastres ambientais tem despertado um grande interesse da comunidade científica e da sociedade no geral, pois efeitos locais, regionais e globais já são associados à forma destrutiva de ação do ser humano sobre a Natureza. (MARINELLI, 2008)

Com uma área de floresta densa, a floresta Amazônica possui aproximadamente 5,5 milhões de quilômetros quadrados, dos quais 3,6 milhões estão no Brasil, esta região apresenta uma riqueza incalculável em diversidade de organismos, bem como a maior concentração de água doce do planeta. Minérios, madeiras, espécies vegetais e animais, numa lista de recursos de valor incalculável, são explorados sem controle, permitindo com isso a devastação dos recursos oriundos da floresta. A taxa anual de desmatamento na Amazônia Legal no período agosto/2003 – agosto/2004 – alarmantes 26.130 km² - foi a segunda maior da história e equivale a mais de 8.600 campos de futebol por dia. (MARINELLI, 2008)

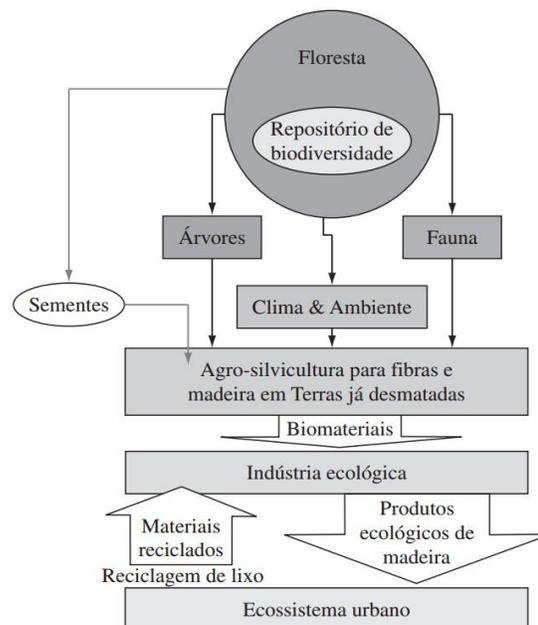
Percebemos assim a grande responsabilidade cabível à população no geral em se tomar conta das nossas riquezas naturais, visando o desenvolvimento tecnológico os materiais encontrando uma possibilidade de aproveitar o que temos na região, mostrando que se pode utilizar a natureza para o extrativo e confecção de materiais e posteriormente através da atividade do plantio há a necessidade de reposição para que haja uma forma que equilibre com a sua preservação, ainda mais por parte daqueles que vivem em lugares de maior biodiversidade, pensando até mesmo no setor econômico da região.

Com as pesquisas nos estudos de Marinelli, viu-se o mover no interesse por esse campo e pensando dessa forma surgiu o *Projeto Fênix Amazônico* com o

desenvolvimento de novos materiais compósitos com fibras de árvores realizado pelo INPA, onde se faz o plantio de árvores que crescem de forma rápida para se promover as fibras que serão utilizadas para fazer os novos materiais gerando também emprego com a participação de agricultores para realizar a tarefa do processo de produção das matérias-primas.

Nobre cita que o projeto é inspirado nas sofisticadas soluções da tecnologia natural, o projeto visa também o desenvolvimento econômico harmônico, empregando conceitos e estratégias que estimulem sinergias entre as atividades humanas sem ameaçar a integridade dos ecossistemas naturais remanescentes. Esse projeto inclusive chamou atenção de parcerias, como a da UFSCar sob liderança da professora Alessandra Lucas de Engenharia de Materiais que constituiu o Grupo de Biocompósitos e Nanobiocompósitos do Fênix. Esse grupo surgiu e se estabeleceu com o propósito de desenvolver materiais poliméricos com farinhas de madeira e fibras das espécies pioneiras e cercas vivas propostas pelo Fênix, mostrando assim a importância de começar um projeto que sirva de inspiração para outros institutos pensarem na proteção da natureza.

Figura 2 - Principais componentes do sistema de produção do Projeto Fênix



Fonte: (NOBRE, 2011)

A utilização de fibras naturais somou no desenvolvimento dos materiais compósitos e são utilizadas tanto na forma *in natura* como após alguns tratamentos. A utilização delas possui muitas vantagens na produção de materiais, citou-se que elas são fonte renováveis assim é algo favorável à convivência do homem e da natureza.

O processamento de compostos termoplásticos modificados com fibras naturais é bastante complexo devido à natureza higroscópica e hidrofílica das fibras lignocelulósicas. A tendência das fibras lignocelulósicas em absorver umidade irá gerar a formação de vapores durante o processamento. (MARINELLI, 2008)

Existe uma diversidade da flora em nossa floresta para ser explorada como materiais compósitos (cerca de 65 mil espécies de plantas amazônicas), os quais muitos podem ser descobertos ainda para incrementar as propriedades do que já se utiliza. As que já são utilizadas serão mostradas na tabela a seguir:

Tabela 2 - Valores das propriedades das fibras naturais e convencionais

Fibra	Densidade (g/cm³)	Alongamento (%)	Tensão na Ruptura (MPa)	Módulo de Young (GPa)
Algodão	1,5-1,6	7,0-8,0	287-597	5,5-12,6
Juta	1,3	1,5-1,8	393-773	26,5
Rami	-	3,6-3,8	400-938	61,4-128
Linho	1,5	2,7-3,2	345-1035	27,6
Sisal	1,5	2,0-2,5	5511-6350	9,4-22
Fibra de coco	1,2	3,0	175	4,0-6,0
Vidro-E	2,5	2,5	2000-3500	70,0
Vidro-S	2,5	2,8	4750	86,0
Aramida (anormal)	1,4	3,3-3,7	3000-3150	63,0-67,0
Carbono (padrão)	1,4	1,4-1,8	4000	230,0-240,0
Curauá	1,4	4,2	890-4200	50,4

Fonte: (MARINELLI, 2008)

Muitos benefícios são vistos nos materiais compósitos, melhorias que contribuem para diversas aplicações, como o exemplo das fibras naturais serem menos abrasivas, que é o ato através do atrito que desgasta outro material devido à sua dureza, assim elas produzem menos desgaste durante seu processamento.

No quesito economia, o plantio gera uma renda para os produtores rurais

que por verem isso como uma oportunidade de crescimento pela busca do trabalho rural estimulam maiores produções de acordo com a demanda dos centros de pesquisas que devem ter interesse em criar novos materiais.

Para Marinelli (2008), as fibras naturais possuem baixa densidade e alta deformabilidade quando comparadas com materiais similares nesse campo de aplicação.

A grande finalidade dos compósitos com fibras naturais é apontada como um caminho benéfico para a estabilização do carbono gerando um equilíbrio ambiental e tecnológico, ganhando assim um progresso econômico devido à viabilidade para realização do comércio de compósitos naturais.

2.2 Torno CNC

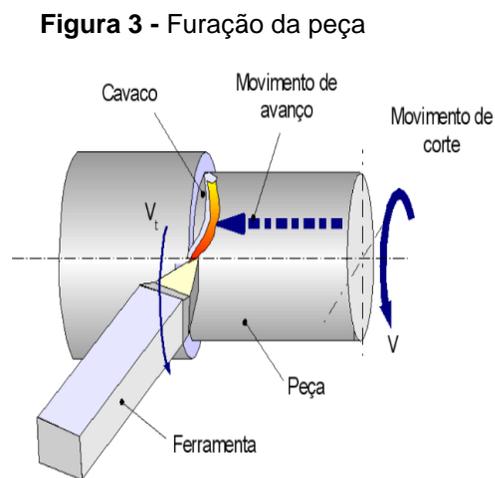
A usinagem é um dos processos de fabricações mais importantes dentro das indústrias. Ela consiste em remover o material, usando o termo cavaco para o material removido, até dar a forma desejada alcançando o valor da tolerância que é preciso. O cavaco é denominado como o material da parte que ao ser perfurada pela ferramenta de corte sai de forma irregular.

Desde o seu surgimento, em meados do século XX, diversas indústrias, em especial a aeronáutica e a automotiva, vêm auferindo ganhos significativos com a utilização dessa tecnologia. Sua aplicação no controle de máquinas-ferramenta permite a realização de tarefas repetitivas e de grande complexidade cinemática. Isso possibilita a reprodutibilidade de produtos de variadas formas geométricas. Além disso, empresas que produzem com alta diversificação e em pequenos lotes usufruem muito da flexibilidade inerente a esses equipamentos. (COSTA & PEREIRA, 2006)

A implantação de máquinas-ferramentas pode proporcionar grande potencial para melhoria de desempenho em muitas operações produtivas e, portanto, uma das questões mais importantes no processo de implementação é obter a máxima utilização desse potencial, no menor tempo. (SIMON, 2002)

As informações necessárias para se usinar a peça por torneamento são os parâmetros de ensaio estipulados como o avanço, velocidade e profundidade do corte que serão determinados através de cálculos feitos por quem fez o projeto da peça.

Para que a peça seja usinada, uma ferramenta fica fixada em uma parte que se move em eixos de coordenada e a peça fica fixa em uma parte com a função de manter presa a peça que vai sendo perfurada em movimento rotacional como será demonstrado na figura 4:

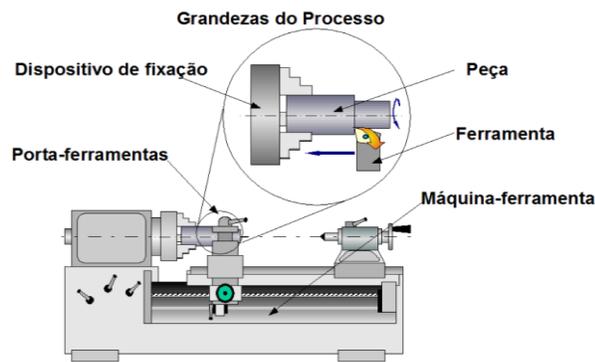


Fonte: (STOETERAU)

Assim, a denominação de usinagem é descrita como o processo de fabricação de peças que realiza a formação de uma peça por meio da redução do material primário até se chegar ao produto final, dando também as grandezas determinadas e o acabamento para melhorar sua superfície. Tudo é decorrente da retirada do cavaco, que é a parte removida do material com a ferramenta de corte até que se chegue na peça final.

Com essa interpretação, notamos que a ferramenta de corte precisa possuir a dureza e a resistência maior que do material da peça a ser conformada e será mostrado como funciona a usinagem por torno a seguir:

Figura 4 - Partes do processo da usinagem por Torno



Fonte: (STOETERAU)

Dentre os tipos de torneamento existentes, possui o torno CNC que é a automatização do torno manual, fazendo possível a usinagem através dos conceitos da programação para produzir alguma peça. Através dessa programação de comando numérico damos à peça o formato, dimensões e rugosidades desejados.

O torno CNC nada mais é do que um modelo mecânico automatizado. A sigla CNC é uma abreviação de Controle Numérico Computadorizado (ou, em inglês, *Computer NumericControl*). É uma máquina moderna utilizada para a usinagem de peças cujos modelos podem variar combinando diversas tarefas associadas à máquina no momento da fabricação. (GENEROSO, 2011)

Como conseguimos analisar acerca da usinagem por comando numérico computacional ou CNC, este processo de fabricação é executada com o controle dos movimentos de forma programada e é feito através de um eixo de coordenadas (X e Z) automatizado. Ele é capaz de produzir peças únicas, característica inclusive importante para se beneficiar ao fazer o uso do torno CNC é a possibilidade de conformar geometrias complexas para uma produção em série de muitas peças com a mesma geometria.

Com a automatização dos tornos para CNC, alguns benefícios são notados como corte de custos (que permite aproveitar ao máximo a matéria-prima e evitar desperdícios), a velocidade na fabricação, segurança e aumento da eficiência em relação à qualidade e perda de materiais. (GENEROSO, 2011)

Figura 5 - Cavaco removido até a peça final

Fonte: (STOETERAU)

Como todo processo, o torno CNC possui essa série de vantagens comparado ao torno convencional, porém apresenta algumas desvantagens conferidas a seguir, que nos faz pensar que ele só é vantajoso em caso de uma empresa de porte maior com a necessidade de maior número de peças e que se tenha o investimento inicial.

Tabela 3 - Vantagens e desvantagens do torno CNC

VANTAGENS DO CNC	DESVANTAGENS DO CNC
Flexibilidade	Elevado investimento inicial
Usinagem de perfis complexos	Elevado custo de manutenção
Precisão e repetibilidade	Mais treinamentos para operadores
Melhoria de qualidade	
Velocidade de produção elevada	
Custo reduzido de armazenamento	
Custo reduzido de ferramenta	

Fonte: Autor

O torno, apesar de ser automatizado, precisa de um programador e de um operador para dar os comandos para a máquina sendo também necessário calcular os valores de cada dado.

A rotação (N) se dá pela fórmula a seguir:

$$N = \frac{1000V_c}{\pi d}$$

Onde V_c é a velocidade de corte e d é o diâmetro da peça.

O avanço, se for manual, depende somente da habilidade do operador. Há também o avanço automático, definido também por meio de engrenagens ligado ao motor principal, onde pode-se definir um avanço (f) próximo ao recomendado

pelo fabricante. A ferramenta percorre a distância (l_f) e o operador interrompe o movimento manualmente. O operador também define a profundidade de corte (a_p) aproximando a ferramenta do diâmetro inicial manualmente, e movendo a ferramenta através de gabaritos fixados nos controles de movimento nos eixos x e z. (MATUMOTO)

Esses parâmetros de corte servem para executar a usinagem em uma peça e possuem importância para melhorar a qualidade da peça conformada devido à redução do desgaste da ferramenta. E eles precisam ser determinados conforme será apresentado a seguir:

- Velocidade de Avanço (V_f) que é determinada como o deslocamento do eixo da ferramenta no sentido do eixo. Sendo a combinação do material da ferramenta e o material usinado, através da determinação da resistência mecânica que limita o avanço:

$$V_f = f \cdot n$$

Onde f é o avanço e n é o número de rotações em RPM.

- Profundidade de corte (a_p) é a medida da metade do diâmetro da ferramenta.
- Velocidade de corte é determinada pelo ponto de referência na ponta da ferramenta então a velocidade que ferramenta irá cortar segundo o sentido e direção do avanço.

A usinagem de materiais compósitos surge da necessidade de se efetuar montagens de diversas peças num conjunto para formar um produto final ou da necessidade de se cumprir tolerâncias apertadas, que não possam ser obtidas pelos meios tradicionais de fabricação destes materiais. Então, a usinagem necessita de uma precisão específica para assegurar a estabilidade dimensional e obter uma melhor produtividade do componente. (SONBATY, 2004)

2.2.1 Ferramenta de Corte

A ferramenta utilizada ao ser feito o corte é a com geometria definida, e esse processo de furação garante uma penetração com a ponta da ferramenta na peça que funciona de acordo com a ultrapassagem da tensão de cisalhamento formando os cavacos e dando a forma da peça.

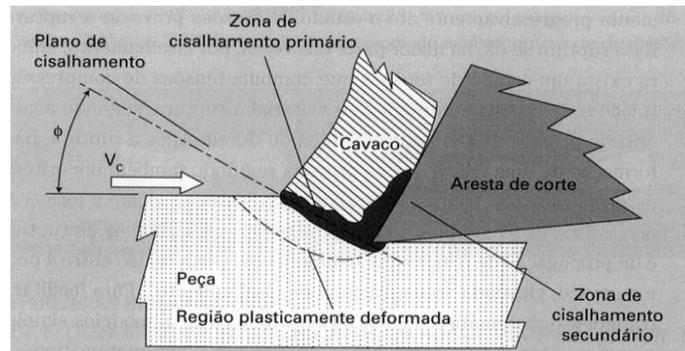
Essa ferramenta é utilizada em outros mais processos de conformação além do torneamento como para fresar, furar, plainar e outros que em um modo geral apresentam características que permitam a formação de um formato específico determinado pelo operador. Características que muitas vezes são influenciadas devido ao tipo de ferramenta com a formação dos cavacos e sua saída após o corte que permitem forças diversas de corte.

A escolha da geometria da ferramenta deve ser orientada de acordo com o material escolhido para ser conformado e conseqüentemente um material da ferramenta que atenda aos critérios do material da peça.

2.2.2 Tipos de cavaco

O cavaco é o principal ponto em comum entre os processos de usinagem, pois é o subproduto final presente em todos eles. O cavaco pode variar muito (em tipo, forma, extensão...) para cada operação de usinagem ou mesmo em uma única operação, como por exemplo o torneamento, sendo o resultado final desta função de todas as variáveis envolvidas no processo. (BESKOW)

Devido ao cavaco possuir muitos formatos em sua formação, há uma necessidade de se fazer o estudo para cada tipo, o que pode interferir, se há semelhanças entre eles mesmo com materiais diferentes. O corte usual para sua obtenção é o corte ortogonal, e nesse corte, os cantos onde são aplicados os cortes se dá por uma reta normal ao avanço, a formação do cavaco é apontada por ser bidimensional.

Figura 6 - Mecanismo de formação de cavaco

Fonte:(BESKOW)

Os cavacos podem assumir as seguintes formas: cavaco contínuo, cavaco contínuo com APC e cavaco descontínuo.

Além desses três tipos de cavacos, podemos distingui-los de acordo com o seu formato físico. O formato físico do cavaco é quem diz se a operação de usinagem ocorreu de forma certa, que caso não aconteça pode dificultar quando se usina, interferindo juntamente o acabamento superficial:

- Cavaco em fita;
- Cavaco helicoidal;
- Cavaco espiral;
- Cavaco em lascas ou pedaços.

2.3 Argila Organofílica

A argila é um mineral constituído de rochas sedimentares com partículas muito pequenas de um ou mais argilominerais que são formados por silicatos hidratados de alumínio e ferro unidos por oxigênio. As argilas podem conter elementos alcalinos como o potássio e sódio e ainda os alcalinos terrosos como o cálcio e magnésio.

A argila se forma da maneira que ocorre por duas etapas: na primeira parte, a rocha a qual dará forma à argila é decomposta e sofre desintegração. Primeiramente essa rocha é rachada em pequenas fendas devido às ações

naturais de agentes externos, como por exemplo a água e a temperatura, após isso ela irá se tornar em partículas menores, o que não altera sua composição. Na segunda etapa do processo, muda-se a propriedade das rochas pelo fato da água causar hidratação e oxidação das rochas.

O feldspato é um mineral importante na composição da argila, ele é constituído das rochas ígneas e pode ser classificado como um silicato de alumínio, cálcio, sódio ou potássio.

Surgiu atualmente a modificação das argilas para se obter melhores resultados nos nanocompósitos poliméricos. A modificação química, como é chamada, realizada nas argilas é algo para valorizar mais ainda estes minérios que já possui alto valor.

O tipo de argila que é mais utilizada para se sofrer a modificação é do grupo esmectita, destacando principalmente a montmorilonita que são muito utilizadas na preparação das argilas dessa nova classificação. Isso se deve por ela ter boa quantidade de cristais muito pequenos e a elevada capacidade de troca de cátions.

Outro agregado especial da argila é pelo fato dela ser capaz de sofrer inchamento em água fazendo com que a intercalação de compostos orgânicos ocorra seja mais simples e beneficiando sua síntese que acontece de forma rápida e eficiente. Assim, adquirimos esse nível da argila quando acontece essa troca de íons.

A seleção das ditas argilas organofílicas que se dá pela troca de ânions não é bem conhecida. É de particular importância quando os ânions potencialmente perigosos das matrizes de resíduos nucleares ou das águas subterrâneas contaminadas competem entre si ou com outros ânions que ocorrem naturalmente. Este estudo enfoca a adsorção de I^- , ReO_4^- , NO_3^- , Br^- , SO_4^{2-} e SeO_3^{2-} a bentonitos modificados com hexa-decilmopiridínio, hexadeciltrimetilamônio e benzotônio (MX-80) e o entendimento da seletividade do processo. (BEHNSEN, 2008)

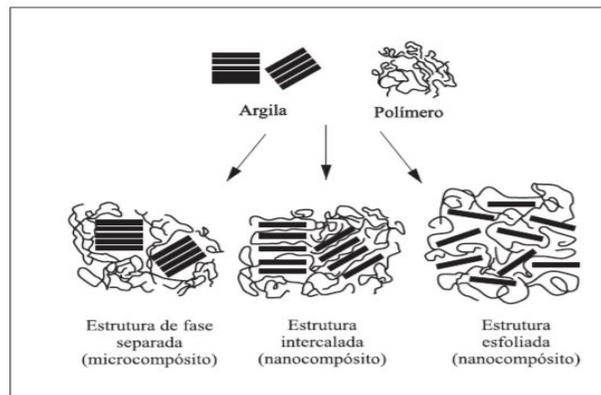
Compósitos de argila intercalados são compostos de intercalação de estrutura definida formados pela inserção de uma ou mais camadas moleculares

de polímero nas galerias hospedeiras de argila.

As argilas possuem uma estrutura formada por lamelas cristalinas nanométricas quasi-bidimensionais empilhadas, como um baralho de cartas. As lamelas têm pouco menos que 1 nm de espessura e poucas centenas de nanômetros de diâmetro médio. Cada lamela é formada pelo arranjo de dois tipos de folhas cristalinas, com estrutura octaédrica ou tetraédrica. Os diferentes grupos de argilas são definidos de acordo com a maneira com que as folhas tetraédricas e octaédricas se arranjam, formando as lamelas: 1:1 – na qual apenas uma folha tetraédrica está ligada a uma folha octaédrica; e 2:1 – na qual uma folha octaédrica está ensanduichada no meio de duas folhas tetraédricas.⁶ O tipo mais comum e abundante de argila é a caulinita, 1:1. Entre as argilas 2:1, a montmorilonita figura entre as mais abundantes e tecnologicamente relevantes. (NETO, 2009)

Algumas argilas do tipo 2:1, como a montmorilonita, possuem deficiência de cargas positivas em sua estrutura cristalina, causada por substituições isomórficas, resultando em um excesso de cargas negativas distribuídas pela superfície das lamelas. Estas substituições podem ser do Si^{4+} pelo Al^{3+} nos sítios tetraédricos, do Al^{3+} pelo Mg^{2+} ou do Mg^{2+} pelo Li^{+} (ou uma vacância) nos sítios octaédricos. O excesso de cargas negativas resultante é contrabalanceado por cátions interlamelares hidratados alcalinos, Na^{+} , K^{+} , ou alcalinos terrosos Ca^{2+} e Mg^{2+} . (NETO, 2009)

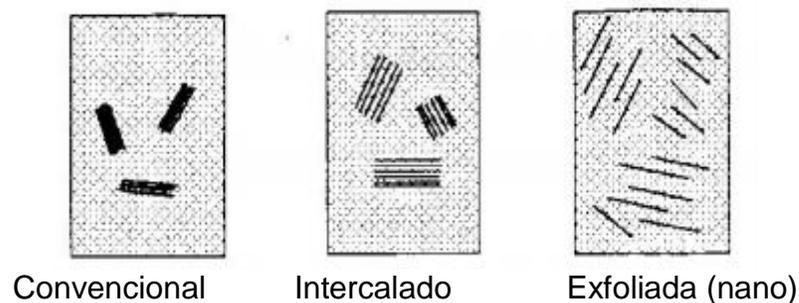
A montmorilonita em seu estado natural tem caráter hidrofílico e para haver uma boa dispersão em matrizes poliméricas é necessário torná-la organofílica através de um processo de modificação superficial, onde são trocados os cátions sódio presentes em lacunas (também chamadas de galerias) existentes entre as camadas estruturais, por cátions de sais quaternários de amônio de cadeias longas contendo acima de 12 carbonos, que proporcionam a expansão entre as galerias facilitando assim a incorporação das cadeias poliméricas. (SANTOS, 1989)

Figura 7 - Estrutura dos Nanocompósitos

Fonte: (PAIVA & MORALES, 2006)

O teor de argila em sua interpolação é particularmente alto, chegando a ser acima de 50%, e as propriedades geralmente se igualam às do hospedeiro do revestimento da cerâmica. Em contraste, os nanocompósitos de polímero-argila esfoliados têm um baixo teor de argila, uma estrutura monolítica, uma separação entre camadas que depende do conteúdo de polímero do compósito e propriedades que refletem as do polímero nanoconfinado.

Devido às características hidrofílicas da montmorilonita, pouca dificuldade deve ser encontrada no desenvolvimento de nanocompósitos com polímeros polares, principalmente se a superfície dessa argila sofrer tratamentos com íons alquilamônio tornando-a organofílica. Dessa maneira, ocorre aumento da interação da carga com o polímero, melhorando a sua molhabilidade e facilitando a penetração das moléculas orgânicas entre as camadas da argila. (OLIVEIRA, 2010)

Figura 8 - Três tipos possíveis de compósitos de argilopolímero

Fonte: (LAN & KAVIRATNA, 1995)

A argila possui muitas propriedades e benefícios, que segundo Kornmman, possuem alta energia em sua superfície que é capaz de atrair moléculas monoméricas polares para suas galerias até se alcançar o equilíbrio. Outras propriedades serão apresentadas a seguir:

Tabela 4 - Propriedades da argila

PROPRIEDADES DA ARGILA

Inchamento

Adsorção

Propriedades reológicas e coloidais

Plasticidade

Fonte: (LIMA)

As lamelas da montmorilonita apresentam perfil irregular, são muito finas, tem tendência a se agregarem no processo de secagem e boa capacidade de delaminação quando colocadas em contato com a água. O diâmetro é de aproximadamente 100 nm, a espessura pode chegar até 1 nm e as dimensões laterais podem variar de 30 nm a várias micra, o que resulta em uma elevada razão de aspecto, podendo atingir aproximadamente 1000. (PAIVA, 2008)

Nesta técnica é feita a modificação superficial da argila bentonita com a substituição de cátions trocáveis presentes nas galerias da argila, geralmente Na^+ que é mais facilmente trocável por ser monovalente, por cátions orgânicos de sais quaternários de amônio (surfactantes catiônicos) ou mesmo outros tipos de sais, em solução aquosa. (PAIVA, 2008)

2.4 Resina Epóxi

A resina epóxi é um polímero termorrígidos com dois ou mais grupos epóxi que apresentam um anel com três membros. O R da representação a seguir pode representar uma cadeia alifática, aromática ou cicloalifática. (WESTRUPP, 2008)

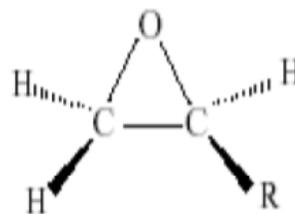
Entendendo de uma forma melhor, o grupo epóxi pode ser descrito como um átomo de oxigênio interpolado entre dois átomos de carbono. E a definição de ser termorrígido significa que a temperatura não é capaz de alterar a rigidez do material indicando inúmeras aplicações importantes na indústria, como peças de carros e de aeronaves.

A grande aceitação da sua utilização nessas indústrias é devido ao excelente desempenho da resistência mecânica, importante nas indústrias aéreas e automotivas para que suporte maior tensão e evitar que haja rompimento do material.

Segundo Heck, a resistência mecânica é a propriedade mais importante para os materiais estruturais. Um material com valor elevado nessa propriedade torna possível não só a própria existência do bem material, mas principalmente a redução no peso da estrutura. Logo, a confecção de peças à base de resina atenderia às necessidades que essas estruturas demandam.

Uma das características importantes da resina é a baixa contração na cura, propriedade que oferece uma precisão muito boa na dimensão para fabricar as peças.

Figura 9 - Monômero Epóxi



Fonte: (ALCANTARA, 2004)

A utilização da resina epóxi na indústria é como componente de moldagem e principalmente como matriz para os materiais compósitos. Suas moléculas não possuem reação química uma com as outras quando estão na temperatura ambiente, sendo necessário assim um processo de cura para então adquirir a característica termorrígida, nesse estado ou estrutura passa por uma transformação na forma tridimensional.

Realizar o processamento de um material compósito é extremamente tecnológico, porém quando é o caso da matriz não poder alterar a rigidez necessita-se ter conhecimento de algum mecanismo e da taxa de cura que levará até ficar endurecido.

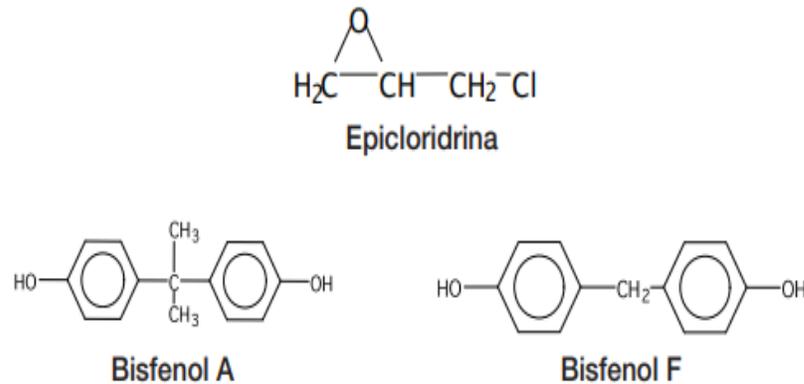
A cura da resina termorrígida é um processo bastante complexo que pode ser definido como a mudança nas propriedades químicas e físicas de uma determinada formulação resina/endurecedor. (MIRABEL, 1999)

A finalidade do agente de cura epóxi ou endurecedor é se juntar ou formar uma ligação cruzada com grupos reativos da resina epóxi (grupos funcionais) para formar um polímero com reação completa ou curado. (HUNTSMAN, 2010)

Segundo Stevens (1999), o termo resina epóxi é designado para o sistema formulado que tenha passado por um processo de cura ou não. As resinas epóxis mais comuns são produtos de uma reação de polimerização entre um bisfenol A e um composto que contenha epóxi, na presença de uma base. Normalmente o comonômero utilizado é a epicloridrina.

As resinas Epóxi são uma família de resinas sintéticas, incluindo produtos que variam de líquidos a sólidos. Elas são formadas pela reação de qualquer diol de alto peso molecular com epicloridrina. As resinas mais comuns são produzidas pela reação da epicloridrina com o bisfenol A ou bisfenol F. (HUNTSMAN, 2010)

As estruturas para essas três moléculas citadas anteriormente serão demonstradas a seguir na figura 10:

Figura 10 - Estrutura molecular da reação da Resina

Fonte:(HUNTSMAN, 2010)

Uma característica importante dos compósitos poliméricos é o efeito sinérgico observado no sistema, onde as propriedades finais são uma mistura melhorada das propriedades individuais de seus componentes. Como as fibras vegetais têm comparativamente boas propriedades mecânicas específicas (resistência/peso, módulo elástico/peso), isso faz delas um componente viável para a aplicação em compósitos. A madeira é um exemplo natural de compósito, onde temos a celulose como reforço e a lignina como matriz. (FRANCO & VEGA, 1997)

A resistência química da resina epóxi funciona na ordem diretamente proporcional à densidade, ou seja, quanto maior for a densidade maior será a resistência química. Resistência química entende-se pela resistência de um material aos impactos ocasionados pelos produtos químicos.

A resina epóxi é usada frequentemente com reforços de fibra para a aplicação em compósitos. As resinas dessa classe têm uma boa rigidez, resistência, estabilidade dimensional, resistência química e mostram uma adesão considerável quando embebidas na fibra. (EBERHARDT, 2009)

Tabela 5 - Vantagens da Resina Epóxi

Vantagens da Resina Epóxi
Módulo de elasticidade alto
Boa compreensão
Viscosidade baixa

Fonte: Autor

Uma outra boa vantagem da resina é a sua compatibilidade com todas as fibras sendo possível o seu uso com materiais compósitos com alto desempenho utilizados nas indústrias automotivas e aeronáuticas já que o uso de fibras cresceu muito nessa área da tecnologia.

2.5 O uso dos Materiais Compósitos na Indústria Aeronáutica e Aeroespacial

Além do uso nas empresas automobilísticas, houve um crescimento no interesse das Indústrias Aeroespacial e Aeronáutica em se buscar as novas fontes para a parte estrutural devido ao melhor desempenho para suportar condições severas e com menos peso na concepção dos novos materiais que estão sendo estudados e gerando assim um avanço tecnológico.

Com a aplicação dos materiais compósitos nas grandes estruturas lança-se desafios quanto ao avanço dos materiais e métodos de processamento para se fazer esses materiais.

A indústria aeronáutica faz parte de um ambiente global altamente competitivo, com uma demanda constante e intensiva por tecnologia e inovação. Nesse ambiente, a busca pelo desenvolvimento tecnológico é mais do que um mero diferencial de mercado, ela é crítica para que a empresa continue competitiva e gerando empregos. (SCHNEIDER, 2018)

Os materiais compósitos de alto desempenho nos aviões foram introduzidos na Segunda Guerra Mundial, quando a fibra de vidro foi usada na fuselagem do B-29. Ao passar dos anos, já em 2005, mais de 35 % dos novos aviões fabricados nos Estados Unidos eram fabricados com materiais compósitos. (REZENDE)

A fuselagem de uma aeronave é uma camada de proteção exterior de uma estrutura, ou seja, o corpo da aeronave que serve como suporte para as outras partes do avião como trem de pouso, empenagem e asas. A ajuda do material compósito é algo muito positivo para a lucratividade, pois melhora o desempenho com a economia do combustível e o fato de ser mais leve torna o avião mais rápido.

Aproveitando amplamente o grande centro para se fazer tecnologia no Brasil, usa-se um incentivo em se gerar pesquisas para melhorar o que possuímos, investindo na melhoria de resultados dos projetos de pesquisas que surgem dentro dos institutos de tecnologia no Brasil servindo como investimento para o ramo comercial.

Notamos a importância pelo investimento na área de pesquisa, inovação e modernização. É o que a empresa Embraer realiza, empresa cuja sigla significa Empresa Brasileira Aeronáutica S.A e possui a função de fabricar aviões sejam comerciais ou militares, até mesmo jatos particulares. Ela é a terceira maior empresa de fabricação de aviões, perdendo para a *Boeing* e a *Airbus*, porém é a primeira empresa brasileira em exportação.

Nesse sentido, em sua origem, a Embraer assemelha-se às indústrias petrolífera e siderúrgica, que também contaram com ativa participação dos militares na sua instalação. Como a Embraer, a Petrobrás e a Companhia Siderúrgica Nacional foram gestadas durante o Estado Novo e significaram um pacto entre militares e lideranças civis vinculadas ao nacionalismo desenvolvimentista da era Vargas, quando o Estado brasileiro assumiu a iniciativa de criar uma infraestrutura de energia, transportes, siderurgia e comunicações para sustentar o projeto de industrialização nacional. (FORJAZ, 2005)

Recentemente, a Embraer confeccionou uma nova aeronave que está chegando às bases aéreas do Brasil esse ano de 2019, o KC-390. A aeronave de autoria brasileira desenvolvida pela Divisão de Defesa e Segurança da Embraer promete atender muitas funções com sua alta tecnologia com sua alta capacidade operacional e está vindo para substituição do C-130 Hércules. Esta é a maior aeronave totalmente produzida no Brasil mostrando a alta capacidade do nosso

quadro de engenheiros e será capaz de transportar até 26 toneladas com uma velocidade máxima de 870 km/h, o motor dessa aeronave é extremamente potente e é da tipologia 2 x IAE V2500-E5 turbofan, com 139.4kN de empuxo em cada deles. Segundo Claudio Capucho (EMBRAER), o KC-390 vem com os equipamentos instalados e consegue realizar até duas operações de reabastecimento em voo, simultaneamente, garantindo uma maior operacionalidade em aeronaves dentro de um pacote de missões.

Figura 11 - Primeiro protótipo do KC-390



Fonte: (Aviões militares: Embraer KC-390, 2016)

A estrutura primária da aeronave é principalmente metálica, mas o KC-390 usa também uma grande quantidade de compósitos nos seus componentes. Todas as superfícies móveis, menos o *slat* (metálico porque tem requisitos de degelo e isso é feito com ar quente), como os *flaps*, *aileron*s, *profundor*, *leme* e *spoliers*, são de materiais compósitos. O estabilizador horizontal é também em compósitos, assim como a carenagem asa-fuselagem e uma grande estrutura designada por “*sponson*”, nas laterais, que acolhe os trens de aterragem principais e alguns sistemas. O *radome*, as portas de trem de pouso, inclusive do nariz, as carenagens entre as empenagens, a ponta das asas, são também em materiais compósitos, mas a estrutura primária básica da fuselagem e da asa é metálica, tal como a estrutura da empenagem. (Aviões militares: Embraer KC-390, 2016)

Figura 12 - Comparação KC-390 e C-130 Hércules



Fonte:(Aviões militares: Embraer KC-390, 2016)

Economicamente falando é uma excelente alternativa de crescimento para o país, estudado pela indústria aeronáutica brasileira isso poderá trazer muitos benefícios para o Brasil e assim despertar o interesse em se investir mais em tecnologia e novos estudos de materiais compósitos.

Após décadas de uso restrito em alguns setores da indústria, como na área de mísseis, foguetes e aeronaves de geometria complexas, os compósitos poliméricos estruturais, também denominados avançados, têm ampliado a sua utilização em diferentes setores da indústria moderna, com um crescimento de uso de 5% ao ano. Atualmente, a utilização de estruturas de alto desempenho e com baixo peso tem sido feita nas indústrias automotiva, esportiva, de construção civil, entre outras. (REZENDE, 2018)

A demanda por materiais de naturezas distintas no setor industriário visa ser um fator econômico tanto para os fabricantes quando para os clientes que irão consumir e desfrutar desses recursos por possuir muitas vantagens em relação aos outros materiais.

Nos anos 60, a indústria aeroespacial adotou o uso de materiais compósitos para desenvolver seus projetos. A elaboração dos materiais com o uso de fibras proporciona ao projetista a chance de ampliar as possibilidades dos projetos estruturais, causando desempenho melhor que o esperado nos voos de aeronaves

e foguetes, pois foram submetidos a testes de condições rigorosas de temperatura e erosão.

Segundo Rezende, novos desenvolvimentos foram feitos na área foram feitos na área de compósitos carbono/carbono, com maior resistência à oxidação, garantindo o seu uso em gargantas de tuberias de foguetes impulsionando à base de propelente sólido e cones de exaustão de aeronaves.

Um outro exemplo interessante a ser citado de aplicação dentro da aviação, foi o F-117 construído com compósitos de fibras de carbono com matrizes epóxi e bismaleimida resultando no favorecimento com a absorção da radiação eletromagnética na faixa de micro-ondas. O F-117 é uma aeronave cujo nome completo é *Lockheed F-117 Nighthawk* e este avião foi o primeiro a possuir a tecnologia *stealth*, tecnologia para reduzir a visibilidade que o torna com difícil detecção por radar e gera menos ruídos que os outros aviões.

Figura 13 - F-117 Nighthawk



Fonte: (Lockheed F-117 Nighthawk, s.d.)

A fibra de carbono na fuselagem traz mais resistência na estrutura, o peso do avião fica reduzido 25 a 30% e tem uma alta resistência a temperaturas fria se diminui o consumo de combustível. Uma desvantagem que os engenheiros, pesquisadores e cientistas estão tentando solucionar é a questão da rigidez, pois tendo um impacto muito forte, a fuselagem será trincada, mas estão testando novos procedimento. (SOUZA, 2018)

O tipo da fuselagem nas aeronaves militares é a semi-monocoque que possui a vantagem de a resistência estrutural ser alta e possuir peso baixo.

A Fibra de Carbono é um material leve e forte, sendo uma excelente opção para o ferro. Podendo assim substituir outras ligas e se tornar fundamental nos anos vindouros, como já é na indústria aeronáutica. (SOUZA, 2018)

Na área aeroespacial busca-se comparar as propriedades existente nos materiais já utilizados, o princípio do seu uso das fibras de carbono foi com a aplicação no nariz, parte dianteira em formato de cone ou ogiva por ser a primeira parte que tem contato com o ambiente terrestre. Ao adentrar a atmosfera terrestre o atrito causa uma elevada temperatura de até 1093°C, logo precisa de um material com boa resistência.

A obtenção de componentes em compósitos estruturais tem procurado correlacionar as propriedades dos materiais, o desempenho estrutural do componente e os diferentes processos de manufatura com a redução de custo. Processos que favoreçam maior produtividade a menores custos e com qualidade compatível à utilização do produto estão sendo investigados.

Segundo estudos da NASA, os aviões futuramente terão aparência completamente diferente do que temos agora, com o passar dos anos os aviões se tornarão superiores aos modelos que já possuímos.

O intuito é descobrir novas tecnologias e projetar algo cada vez mais prático para as aplicações diversas que os aviões possuem, como os cargueiros, os de guerra e os de uso civil que servem como meio de transporte.

A Airbus pretende implantar em suas aeronaves do futuro uma estrutura biônica que imita a estrutura óssea das aves. Além dessa estrutura ser leve e forte ao mesmo tempo, ela reduz o peso do avião e aumenta a área útil. (SOUZA, 2018)

Este projeto impõe que a estrutura biônica da cabine do avião seja recoberta de uma membrana de biopolímero, possuindo o domínio sobre a entrada da luz natural, temperatura e umidade, ou seja, as condições ambientais, permitindo uma estrutura que intercale ser opaca ou transparente de maneira

ajustável, sendo dispensada a utilização das janelas. Sem falar que terá uma vista de 360° do céu, tornando a viagem mais agradável aos passageiros.

O C-295 da Força Aérea Brasileira (FAB) também é uma aeronave com motor de turbo-hélice destinado ao transporte militar de curto e médio. A aeronave possui em sua estrutura partes não-metálicas feitas com materiais compósitos de tecidos de fibra de vidro (GFRP), fibra de aramida (AFRP) e tecido de fibra de carbono e são reforçados com plástico. Eles cobrem servindo de película de alguns componentes e dão uma cobertura para estruturas metálicas ou não-metálicas. Os componentes de estrutura monolítica têm coberturas compósitas com longarinas internas.

Figura 14 - C-105 Amazonas



Fonte: Autor

3. METODOLOGIA

Esse capítulo é referente à metodologia utilizada no trabalho, juntamente com os materiais e como foi o procedimento até se chegar ao resultado, se foi o esperado ou não. A forma que foram realizadas as pesquisas e de que forma foi feito o experimento do objeto de estudo proposto no começo do trabalho. Primeiramente, são retratados os métodos e os materiais utilizados para a solução das hipóteses apontadas. Como segundo tópico são indicadas as técnicas para a análise que foram empregadas para se definir os resultados. E por último é detalhado o procedimento do início até o final do experimento

3.1 Métodos

O método utilizado é o da pesquisa experimental, que consiste na determinação de um objeto de estudo com a seleção das variáveis capazes de influenciar no resultado. Seu objetivo é descobrir novas áreas de conhecimentos através de busca pelos fundamentos da área.

O intuito é realizar testes das hipóteses para responder ao questionamento do pesquisador, buscar estabelecimentos através da coleta de amostras feitas ao longo do experimento.

A pesquisa experimental representa a influência das variáveis pertencentes ao objeto de estudo. Assim, a pesquisa experimental refere-se à maneira ou às causas as quais tal fenômeno ocorre. Primeiro determina-se um objeto de estudo e depois seleciona as variáveis capazes de influenciá-los e definir as formas de controlar e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.

Sob a ótica dos procedimentos técnicos, esta pesquisa é considerada experimental, uma vez que ao determinar-se o objeto de estudo, foram selecionadas as variáveis que seriam capazes de influenciar os resultados, além de definirem-se as formas de controle e de observação dos efeitos que cada variável considerada produz no objeto. (JUNG, 2004)

Ao buscar as informações precisas de algo que se tem pouco ou nenhum

conhecimento cria uma série de dúvidas afim de que se faça uma análise das informações existentes ou adquiridas por testes sobre o tema para que no final se gere um novo acréscimo como fonte de informações sobre o tema, isso define a pesquisa.

A metodologia foi feita de maneira que se executa os ensaios com corpos de prova cilíndricos para os testes de usinagem a fim de verificar se a maneira que o material se comporta referente à usinagem dos corpos de prova e posteriormente os testes de rugosidade para verificar a superfície.

3.1.1 Materiais utilizados no experimento

Os materiais de ensaio são corpos de prova para o método torneamento cilíndrico externo feitos com um molde de PVP com diâmetro de 40,15 mm e 100,97 mm de comprimento para dar o formato a 4 corpos de prova com resina epóxi e 0.1%, 0.2%, 0.3% e 0.4% de argila organofílica.

Figura 15 - Corpos de prova no molde de PVC



Fonte: Autor

A Resina Epóxi utilizada é a SQ-2001 que possui aspecto líquido com composição química com bisfenol-A e epícloridrina possuindo sua viscosidade média, sendo a resina mais versátil. A viscosidade é o atrito interno encontrado nos fluidos, ou seja, quanto menor a viscosidade maior a velocidade de escoamento e também maior formação de bolhas. O valor da sua densidade é

1,61 g/cm³ e foi utilizada para calcular o volume do cilindro para determinar as porcentagens da argila utilizada.

Segundo JESUS (2005) quanto maior a quantidade de agente de cura na resina, maior será a sua temperatura de transição vítrea (T_g) que está associada com a fase amorfa. No entanto, se a quantidade de agente de cura for acima de 50%, obtém-se um material muito frágil. Segundo o fornecedor deste material, valores acima de 50% de agente de cura já comprometem a qualidade do termoplástico.

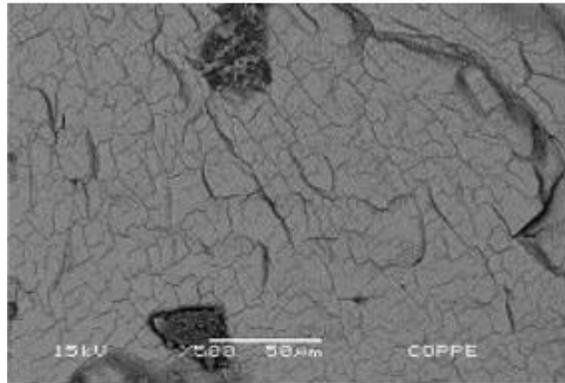
Figura 16 - Resina Epóxi SQ-2001



Fonte: Autor

A argila organofílica utilizada no presente trabalho é do tipo Montmorilonita com fórmula química $M_x(Al_{4-x}Mg_x)Si_8O_{20}(OH)_4$ pertencente ao grupo estemectita. Possui partículas de tamanhos que podem variar de 2 μm a 0,1 μm , com tamanho médio de $\sim 0,5 \mu\text{m}$ e formato de placas ou lâminas. Pertence ao grupo dos fílossilicatos 2:1, cujas placas são caracterizadas por estruturas constituídas por duas folhas tetraédricas de sílica com uma folha central octaédrica de alumina, que são unidas entre si por átomos de oxigênio comuns a ambas folhas. (PAIVA, 2008)

E sua escolha foi por esse tipo de argila possuir cristais com dimensões pequenas, ter ótima capacidade de inchamento após o contato com água e pela capacidade de troca de cátions.

Figura 17 - Argila Organofílica

Fonte:(GARCIA, 2009)

Uma observação é que com o aumento da quantidade da argila organofílica maior era a temperatura, assim possuía uma demora maior para o agente de cura agir. Devido a isso o corpo de prova 4 com a porcentagem de 0,4% de argila teve um comprimento menor comparado aos outros corpos de prova.

A máquina-ferramenta usada para a usinagem foi uma máquina de torno CNC do tipo Centur 30D da marca ROMI que fica localizada nas instalações da UEA e atendia aos requisitos para a elaboração da prática do experimento. As informações da máquina-ferramenta são: comprimento máximo permitido de 1000 mm, diâmetro admissível de 200 mm sobre o carro transversal e diâmetro de 400 mm sobre o barramento. Sua potência de motor é de 12,5 cv.

Figura 18 - Máquina de torno CNC utilizada

Fonte: Autor

Figura 19 - Bucha de fixação da peça



Fonte: Autor

3.2 Técnicas

Entende-se por técnicas como o grupo de procedimentos que podem dividir-se por etapas os métodos estabelecidos, basicamente explica de que forma é feita alguma ação ou pesquisa.

Para realizar as buscas das informações, a pesquisa bibliográfica tem como foco as respostas necessárias após a definição das hipóteses.

Primeiro são coletados os dados dos documentos encontrados em pesquisas na internet como artigos e teses já publicados e após levantar as informações, pode aplicar na prática no laboratório para se chegar nos resultados.

3.3 Procedimentos

Na realização deste trabalho foram realizados testes de torneamento com parâmetros que apresentaremos posteriormente, com corpos de provas cilíndricos de compósitos de matriz epóxi com proporções diferentes de argila organofílica. Por ser um material compósito, a usinagem é diferenciada por não sabermos de que forma o material irá se comportar em tal procedimento, então são testados os parâmetros.

Como um material compósito possui pelo menos duas fases distintas, suas propriedades mecânicas e térmicas normalmente diferem das propriedades dos materiais que o compõem, traduzindo-se em interações complexas entre a matriz

e o reforço durante o processo de usinagem. Então, é necessário estabelecer diretrizes para garantir que os resultados do processo de usinagem sejam satisfatórios, em particular relações que permitam associar os parâmetros funcionais do processo de usinagem com a qualidade da superfície do material, uma vez que a qualidade é um elemento bastante importante para as indústrias. (El-Sonbatyet et al, 2004; Krishnamurthy, 1992; Groover, 1996)

Começou-se com a parte experimental em que objetivava fazer a usinagem do tubo de PVC e verificar se houve alguma anormalidade nesse processo até que ficasse somente a peça de resina e argila.

Para efetuar a usinagem da peça de material compósito de matriz polimérica e argila organofílica necessita-se atribuir valores dos parâmetros como avanço, velocidade de corte e profundidade pelo fato do material possuir duas fases distintas. Foi realizado então um programa CNC para realizar a usinagem para gerar uma melhor qualidade da peça final. O programa elaborado para cada corpo de prova se encontra nos Anexos.

Os parâmetros de corte foram baseados em referências bibliográficas de usinagem em resina epóxi e outros materiais para ter noção do resultado que poderá ser alcançado, já que se espera que o comportamento seja de forma semelhante ao que se encontrou nas referências.

1ª fase: retirada do material PVC

Usinou-se através da programação com devida cautela para que se fosse retirado totalmente o material PVC e alcançasse apenas o material compósito para dar prosseguimento na execução do programa CNC (segunda fase do experimento). Esses parâmetros foram utilizados em todos os corpos de prova para a retirada do molde como parte inicial do programa, que só após a retirada rodava as velocidades de corte atribuídas para se fazer as análises de usinagem.

Tabela 6 – Parâmetros utilizados

Parâmetros	Valor Estipulado
Velocidade de corte	100 m/min
Avanço	0,05 mm/rev

Fonte: Autor

Finalizada essa etapa, o ensaio de usinagem retirou o molde de PVC para cada peça, para assim finalizar os testes de usinagem nessas peças com as respectivas porcentagens de argila organofílica (0,1% 0,2% 0,3% e 0,4%).

Figura 20 - Corpo de prova após retirada do molde

Fonte: Autor

A usinagem aconteceu da forma que se previa e deu-se prosseguimento para a próxima etapa do experimento.

Assim, a próxima fase será demonstrada a seguir e é descrita por tabelar todos os parâmetros de usinagem para que se analise nos resultados o que cada alteração ocasionou e qual o melhor parâmetro determinado para que se utilize em aplicações de usinagem no material e em outros semelhantes a ele.

3.3.1 Execução do programa para o corpo 1

Nesta etapa, os ensaios de torneamento começaram com o molde de PVC que possuía resina epóxi com 0.1% de argila organofílica e começando com o menor valor de velocidade de corte (100 m/min) até o valor de 235 m/min localizado na tabela e com um avanço de 0,05mm/rev que se manteve constante em casa passada de corte.

Tabela 8 – Parâmetros utilizados para o corpo de prova 1

Parâmetros	Valor Estipulado
Velocidade de corte	100 m/min
	150 m/min
	235 m/min
Avanço	0,05 mm/rev

Fonte: Autor

Posteriormente ao se executar o programa foram rodadas as outras velocidades de corte até finalizar o programa CNC. Este mesmo processo foi repetido para as outras peças do material com as outras proporções de argila (0.2 %, 0.3% e 0.4% de argila organofílica).

Após finalizar o programa foi realizado o processo de acabamento que é um fator muito importante no controle da rugosidade (relacionada à superfície da peça)

Figura 21 - Corpo de prova 1 usinado



Fonte: Autor

Ao longo da execução dos ensaios, verificou a rugosidade para cada alteração de parâmetros de corte através do toque em sua superfície e se alterava o seu resultado com a variação do material em cada corpo.

3.3.2 Execução do programa no corpo de prova 2

O ensaio de torneamento apresentado a seguir é o indicado pelo corpo de prova que possuía resina epóxi com 0.2% de argila organofílica. Foram estabelecidos os seguintes parâmetros descritos na tabela 9 a seguir:

Tabela 9 – Parâmetros utilizados para o corpo de prova 2

Parâmetros	Valor Estipulado
Velocidade de corte	100 m/min
	100 m/min
	100 m/min
Avanço	0,05 mm/rev
	0,10 mm/rev
	0,15 mm/rev

Fonte: Autor

Como pode-se observar existe uma variação de velocidade de corte e avanços para esta realização. O corpo de prova finalizado está na figura 23:

Figura 22 - Corpo de prova 2



Fonte: Autor

3.3.3 Execução do programa no corpo de prova 3:

O ensaio de torneamento a seguir é o que possuía resina epóxi com 0.3% de argila organofílica. Com alteração dos valores da velocidade de corte e avanços diferente.

Tabela 10 – Parâmetros utilizados para o corpo de prova 3

Parâmetros	Valor Estipulado
Velocidade de corte	100 m/min
	100 m/min
	100 m/min
Avanço	0,05 mm/rev
	0,05 mm/rev
	0,05 mm/rev

Fonte: Autor

Figura 23 - Corpo de prova 3 usinado



Fonte: Autor

3.3.4 Execução do programa no corpo de prova 4:

O ensaio de torneamento detalhado a seguir é o que possuía resina epóxi com 0.4% de argila organofílica.

Tabela 11 – Parâmetros utilizados para o corpo de prova 4

Parâmetros	Valor Estipulado
Velocidade de corte	100 m/min
	150 m/min
	235 m/min
Avanço	0,05 mm/rev

Fonte: Autor

Com velocidades de corte iguais a do corpo 3, porém único avanço de 0,05 mm/rev estabelecido.

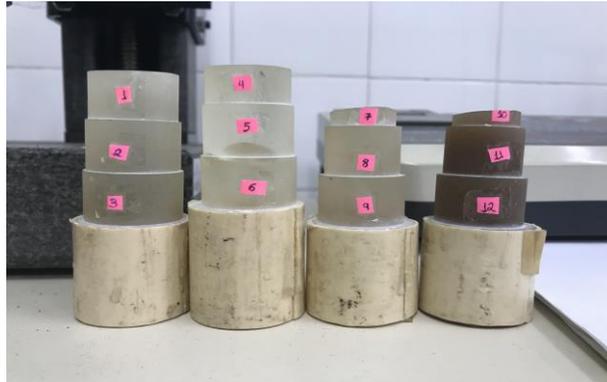
Figura 24 - Corpo de prova 4 usinado

Fonte: Autor

Posteriormente aos testes submetidos em cada corpo de prova, foi dividido em partes de acordo com os parâmetros estabelecidos para poder analisar a rugosidade Ra em μm .

Foram numerados de 1 a 12 para descrever as etapas para as 3 variações em cada corpo de prova, como pode-se observar na figura 26 a seguir houve um impacto maior para os dois últimos corpos de prova.

Figura 25 - Divisão dos corpos de prova para testes de rugosidade



Fonte: Autor

Para realização do teste de rugosidade foi utilizado o rugosímetro do modelo Surftest SV-400 da marca Mitutoyo, como mostra nas figuras a seguir, onde colocou-se a agulha em cada parte classificada de cada corpo de prova e essa agulha deslizou pela superfície afim de medir a rugosidade, a rugosidade escolhida foi a Ra.

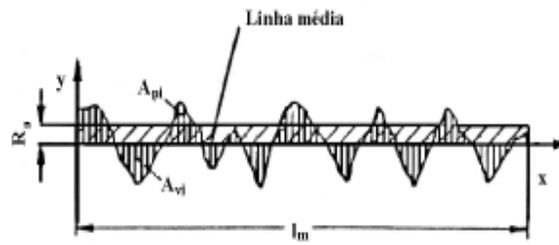
Figura 26—Corpo de prova na posição de análise do Rugosímetro



Fonte: Autor

Segundo Din 4768 (1974), podemos classificar a rugosidade Ra como a média aritmética dos valores absolutos de suas distâncias “y” da linha média do perfil de rugosidade dentro do trecho de medição, figura 1 e equação 2. Ra tem o mesmo significado da altura do retângulo cujo comprimento é igual ao comprimento total de medição L_m e cuja área é igual entre as áreas limitadas pela linha média ao perfil de rugosidade.

Figura 27 - Desvio médio aritmético Ra



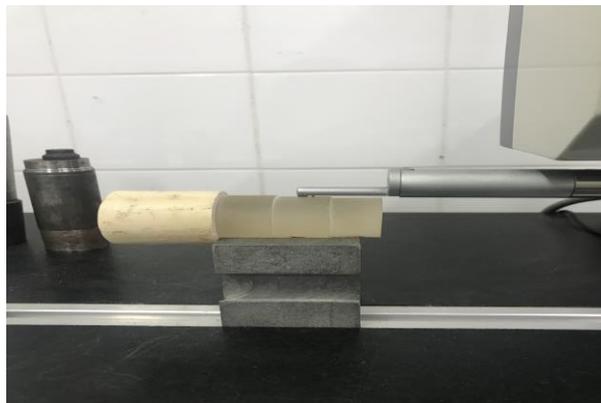
Fonte: (OLIVEIRA)

Cuja fórmula é esta:

$$Ra \times Lm = \Sigma Ap + \Sigma Av$$

A_p (área de pico) é a área acima da linha média e A_v (área de vale) é a área abaixo da linha média. A linha média é a linha com a mesma forma do perfil geométrico, disposta paralelamente a direção geral do perfil. Ela divide o perfil de rugosidade, de modo que, a soma das áreas superiores seja igual a soma das áreas inferiores. (OLIVEIRA)

Figura 28 - Teste de rugosidade no corpo de prova



Fonte: Autor

Os valores para cada rugosidade são apresentados na parte do equipamento que está na figura 30, onde se escolhe o tipo de rugosidade que se deseja obter.

Figura 29 -Rugosímetro



Fonte: Autor

4. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo é destinado à apresentação do que se foi obtido através dos resultados dos testes realizados nos ensaios de torno CNC. Para se chegar nesses resultados foi verificada a questão da rugosidade da superfície da peça e análise dos cavacos.

A divulgação dos resultados se dará na forma de gráficos, mostrando, também os resultados através de imagens dos cavacos formados nos ensaios.

Por ser um material compósito foi de suma importância a análise da variação dos parâmetros em cada programa com alteração ao longo da troca de corpo de prova.

Para um melhor entendimento foi dividido e organizado de forma clara as análises através de tabelas para cada alteração de parâmetros seguido do gráfico que foi gerado.

4.1 Medição da Rugosidade Ra

Tabela 7 - Classificação dos corpos de prova

Nº do corpo de prova	Conteúdo de argila organofílica %P	Velocidade de Corte (m/min)	Velocidade de avanço (mm/volta)	Profundidade de corte (mm)	Ra (micrômetros)
1	0,1	100	0,05	2	51
2	0,1	150	0,05	2	48
3	0,1	235	0,05	2	36
4	0,2	100	0,05	2	64
5	0,2	100	0,10	2	73
6	0,2	100	0,15	2	86
7	0,3	100	0,05	2	66
8	0,3	100	0,05	4	77
9	0,3	100	0,05	6	93
10	0,4	100	0,05	4	113
11	0,4	150	0,05	4	100
12	0,4	235	0,05	4	88

Fonte: Autor

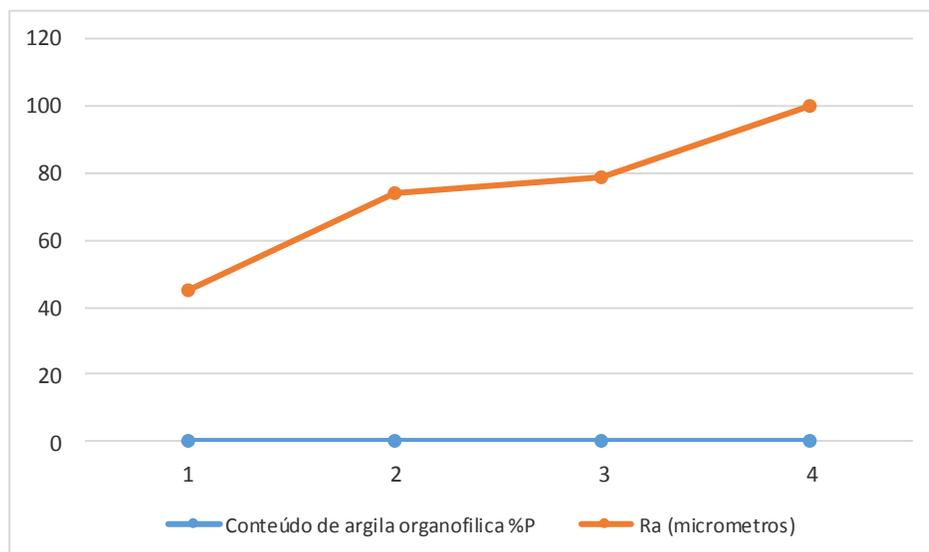
4.1.1 Influência do conteúdo de argila no acabamento superficial médio do compósito

Tabela 8 - Influência da argila no acabamento

Conteúdo de argila organofílica %P	Ra (micrometros)
0,1	45
0,2	74,3
0,3	78,6
0,4	100,3

Fonte: Autor

Figura 30 - % Argila Organofílica x Ra



Fonte: Autor

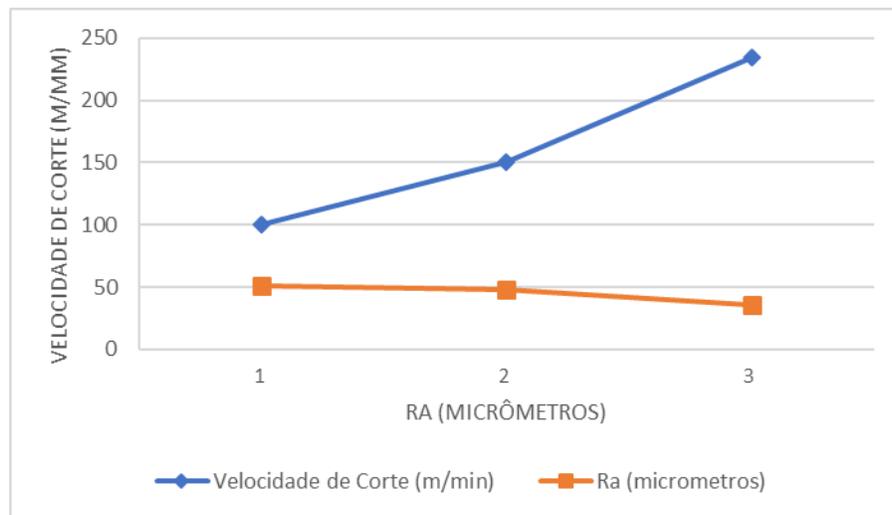
4.1.2 Influência da velocidade de corte no acabamento superficial do compósito com menor conteúdo de argila (0,1 % P)

Será apresentado a interferência que a velocidade de corte causou na rugosidade do corpo de prova com a menor porcentagem de argila.

Tabela 9 - Influência da velocidade de corte

Velocidade de Corte (m/min)	Ra (micrometros)
100	51
150	48
235	36

Fonte: Autor

Figura 31 - Velocidade de corte x Ra

Fonte: Autor

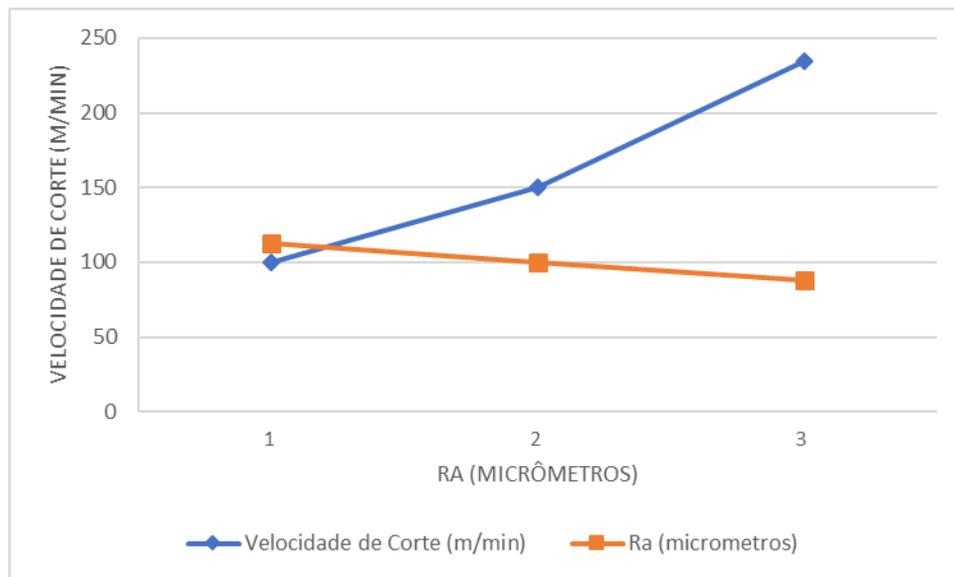
A rugosidade do corpo diminuiu com o aumento da velocidade do corpo, ou seja, a velocidade de corte melhora o acabamento superficial da peça.

4.1.3 Influência da velocidade de corte no acabamento superficial do compósito com maior conteúdo de argila (0,4 % P)

Tabela 10 - Velocidade de Corte x Ra

Velocidade de Corte (m/min)	Ra (micrometros)
100	113
150	100
235	88

Fonte: Autor

Figura 32 - Velocidade de Corte x Ra

Fonte: Autor

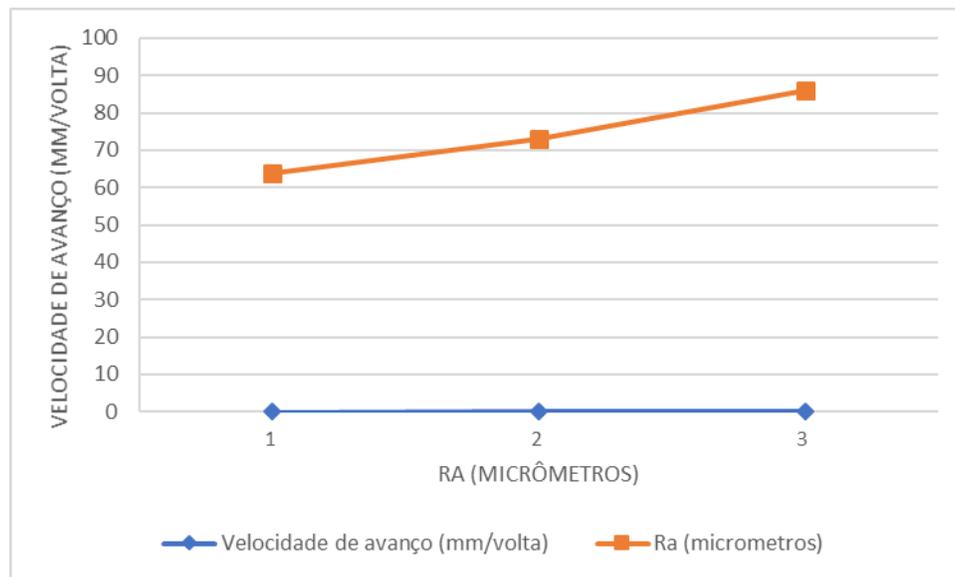
4.1.4 Influência da velocidade de avanço no acabamento superficial do compósito

Na figura 33 observa-se que a pequena alteração da velocidade de avanço causou um aumento da rugosidade, assim a rugosidade tende a crescer em função do avanço.

Tabela 11 - Velocidade de avanço x Ra

Velocidade de avanço (mm/volta)	Ra (micrometros)
0,05	64
0,10	73
0,15	86

Fonte: Autor

Figura 33 - Velocidade de Corte x Ra

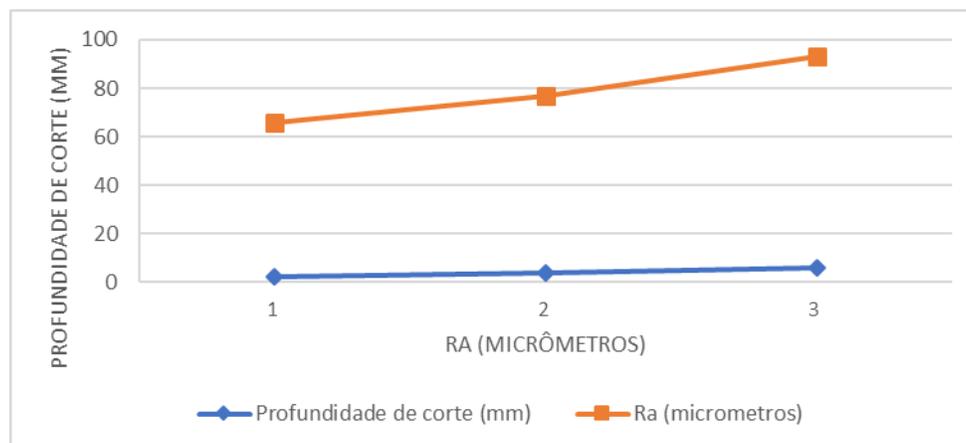
Fonte: Autor

4.1.4 Influencia da profundidade de corte no acabamento superficial do compósito

Tabela 12 - Profundidade de corte x Ra

Profundidade de corte (mm)	Ra (micrometros)
2	66
4	77
6	93

Fonte: Autor

Figura 34 - Profundidade de corte x Ra

Fonte: Autor

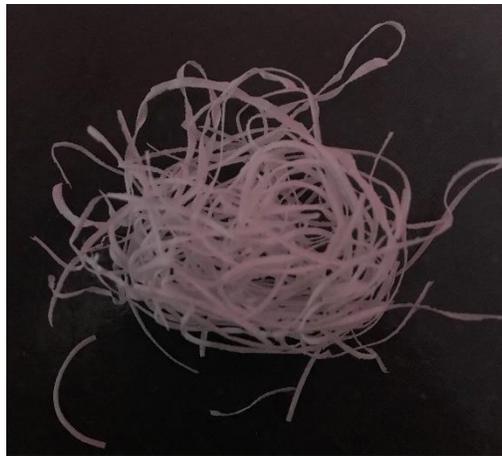
4.2 Análise de cavaco

Através da formação do cavaco pode-se analisar se a usinagem está sendo aplicada da forma correta e causando

Assim, pelo fato de o material estudado ser um compósito, devemos considerar os cavacos produzidos para se fazer essa análise, levando em consideração tamanho e formatos de acordo com mudança dos parâmetros.

Os cavacos escolhidos para análise foram os dos corpos de prova 2 e 4, com 0,1% e 0,4% de argila organofílica, respectivamente. Após feita a usinagem dos corpos de prova com os seguintes pares de velocidade de corte e de avanço: 100 m/min e 0,05 mm/rev, 100 m/min e 0,05 mm/ver, 100 m/min e 0,05 mm/rev para o corpo de prova 2 e 100 m/min e 0,05 mm/rev, 150 m/min e 0,05 mm/rev, 235 m/min e 0,05 mm/ver para o corpo de prova 4 e serão apresentados a seguir nas figuras.

Figura 35 - Cavaco do corpo de prova 2



Fonte: Autor

Nota-se na figura 35 que o cavaco possui uma aparência fina e não possui alteração de avanços em sua usinagem (valor de 0,05 mm/rev)

Figura 36 - Cavaco do corpo de prova 4



Fonte: Autor

O cavaco formado na figura 36, referente ao corpo de prova 4 possui aparência mais grossa que a anterior e ao encostar ela se transformava em pó também, seu avanço é de 0,05 mm/ver sendo o mesmo para as 3 velocidades admitidas no programa.

Ambos os cavacos são classificados como em formato de fita, porém o do corpo de prova 2 é o mais ideal devido ao fato dele não ter esfarelado como o corpo de prova 4.

5. SÍNTESE CONCLUSIVA

O processo de usinagem da resina epóxi hibridamente misturada com argila organofílica mostrou adequado e viável para a realização do processo, não apresentando problemas que pudessem inviabilizar tal processo, ancorando-se desta forma dentro do conceito de moldes híbridos.

Os cavacos mais desfavoráveis encontrados neste estudo foram aqueles com valores alterados das velocidades de corte, porém é devido à estrutura do material com maior porcentagem de argila. Quando se compara os cavacos de mesma velocidade de corte e avanço para os compósitos de 0,2% e 0,4% de argila percebeu-se que os cavacos do material com 0,2% de argila organofílica são os mais contínuos.

Assim, a forma que o material se comportou diante da usinagem foi satisfatório e foi de acordo com o estudado sobre o que poderia acontecer com o aumento da argila no material devido à característica dela que aumenta as propriedades mecânicas do material. Não se sabe qual comportamento terá com porcentagens maiores de argila organofílica, pelo fato de não existirem muitas publicações sobre o material, espera-se que ao alterar os parâmetros utilizados se comporte da mesma maneira que possuiu com essas porcentagens usadas no trabalho.

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho quando se incrementa a velocidade de corte diminui a rugosidade Ra, ou seja, melhora o acabamento superficial, o qual corresponde com a teoria por ter maior estabilidade do movimento. Quando se incrementa a velocidade de avanço e a profundidade de corte a rugosidade Ra aumenta, como resultado há uma piora do acabamento superficial, o que se justifica pelo incremento das forças de corte. Também o acabamento superficial diminui quando se incrementa o conteúdo de argila organofílica, pois há um aumento das forças de corte devido ao incremento de partículas duras.

Assim, conclui-se que a melhor escolha de parâmetros funciona de acordo que seja a maior velocidade de corte com os menores valores de avanço e profundidade.

6. REFERÊNCIAS

ALCANTARA, R. M. (2004). **Estudo das propriedades micro e macroscópicas de pseudo redes poliméricas interpenetrantes na área odontológica**, 2004.

Aviões militares: Embraer KC-390. disponível em:
<<http://asasdeferro.blogspot.com/2016/09/embraer-kc-390.html>> , Acesso em:
24.nov.2019.

BEHNSEN, J. **Anion selectivity of organobentonites**, 2008.

BELTRAMI, L. V. **Efeito do Tratamento Alcalino de Fibras de Curauá sobre as propriedades de Compósitos de Matriz Biodegradável**, 2014.

BESKOW, A. B. (s.d.). **Processos de Usinagem I**.

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução**.LTC, 2007.

CORDEIRO, I. M. (s.d.). **Produtos e serviços ambientais do cultivo de curauá em plantio florestal**.

COSTA, D. D., & PEREIRA, A. G. **Desenvolvimento e avaliação de uma tecnologia de baixo custo para programação CNC em pequenas empresas**, 2006.

DHAR, N. **Cutting temperature, tool wear, surface roughness and dimensional deviation in turning AISI-4037 steel under cryogenic condition**, 2006.

Din 4762 Blatt1, **Erfassung der Gestaltabweichungen2 . bis 5 Ordnunan Oberflächenschnitten**, BeuthVerlag, Ago 1960.

EBERHARDT, G. G. **Avaliação da Usinabilidade e qualidade dos furos na usinagem de compósitos à base de resina epóxi com carga de pó de ferro**, 2009.

FERREIRA, J. F. **Extração e caracterização de uma enzima proteolítica do curauá (Ananas Erectifolius)**, 2010.

FORJAZ, M. C. **As origens da Embraer**, 2005.

FRANCO, P., & VEGA, M. **Effect of Fiber Treatment on the Mechanical Properties of LDPE - Hegequen Cellulosic Fiber Composites**. J. Appl. Polym, 1997.

GAMA, J. P. **Compósitos Poliméricos a base de tecido híbrido carbono/vidro: tração e compressão uniaxiais**, 2017.

GARCIA, C. **Preparação de nanocompósitos de poliuretano dispersão aquosa com argilas montmorilonita hidrofílica e organofílica**, 2009.

GENEROSO, D. J. **Usinagem Avançada – Torneamento**. Quarto Módulo. Curso Técnico de Eletromecânica. Instituto Federal de educação ciência e tecnologia – Campus Araranguá, 2011.

HRISTOV, V. e. **Modified Polypropylene Wood Flour Composites**, 2004.

HUNTSMAN. **Sistemas de Resina Epóxi: Guia de Manuseio Seguro**, 2010.

LIMA, N. (s.d.). **Preparo e caracterização de argila esmectita em organofílicas do município de Montes Altos – MA**.

Lockheed F-117 Nighthawk. (s.d.). Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Lockheed_F-117_Nighthawk> . Acesso em: 15.Ago.2019.

MARINELLI, A. L. **Desenvolvimento de Compósitos Poliméricos com Fibras Vegetais Naturais da Biodiversidade: Uma Contribuição para a Sustentabilidade Amazônica**, 2008.

OLIVEIRA, J. A. (s.d.). **Cálculo do desvio médio aritmético Ra em função do avanço**.

PAIVA, L. B. **Argilas organofílicas: características, metodologias de preparação, compostos de intercalação e técnicas de caracterização**, 2008.

PIRES, E. e. **Efeito do tratamento alcalino de fibras de juta no comportamento mecânico de compósitos de matriz epóxi**, 2011.

PUKANSKY, B. **European Polymer Journal**, 2005.

REZENDE, M. C. (s.d.). **O Uso de Compósitos Estruturais na Indústria Aeroespacial**.

ROCHA, I. G. **Influência do retardante de chamas nas propriedades mecânicas e flamabilidade em compósitos poliméricos de epóxi/fibra de curauá**, 2015.

SOUZA, A. H. **Materiais compósitos na aeronáutica: uma análise da tendência na fuselagem das aeronaves**, 2018.

SOUZA, L. V. **Compósito de matriz de polipropileno reforçado com nanotubo**

de carbono aplicado na indústria automobilística, 2016.

TIMARCO, L. R., & MORELLI, A. C. Desenvolvimento de materiais compósitos híbridos, compostos de fibras de carbono e fibras de aramida reforçadas com resina epóxi parte I, 2016.

TOMCZAK, F. Estudos sobre a estrutura e propriedades de fibras de coco e curauá do Brasil, 2010.

WESTRUPP, F. L. Análise da viabilidade da usinagem de compósito de matriz epóxi com cargas de ferro visando a sua utilização em moldes de injeção, 2008.

Zah, R. e. Curauá fibers in the automobile industry - a sustainability assessment. Journal of Cleaner Production, 2007.

7. ANEXOS

Programa para o corpo de prova 1

N10 G99#

N20 T0101#

N30 S797 M03#

N40 G00 X42.Z2.#

N50 X38.#

N60 G01 Z-60. F0.05#

N70 G00 X40.Z2.#

N80 X36.#

N90 G01 Z-60. F0.05#

N100 G00 X40.Z2.#

N110 X34.#

N120 G01 Z-60. F0.05#

N130 G00 X40.Z2.#

N140 X32.#

N150 G01 Z-60. F0.05#

N160 G00 X40.Z2.#

N170 X30.#

N180 S1194 M03#

N190 G01 Z-40. F0.05#

N200 G00 X40. Z.2#

N210 S2500 M03#

N220 G00 X28.#

N230 G01 Z-20 F0.05#

N240 G00 X200. Z200.#

N250 M30#

Programa para o corpo de prova 2

N10 G99#

N20 T0101#

N30 S797 M03#

N40 G00 X42.Z2.#

N50 X38.#

N60 G01 Z-60. F0.05#

N70 G00 X40.Z2.#

N80 X36.#

N90 G01 Z-60. F0.05#

N100 G00 X40.Z2.#

N110 X34.#

N120 G01 Z-60. F0.05#

N130 G00 X40.Z2.#

N140 S994 M03#

N150 X32.#

N160 G01 Z-60. F0.05#

N170 G00 X40.Z2.#

N180 X30.#

N190 S1061 M03#

N200 G01 Z-40. F0.10#

N210 G00 X40. Z.2#

N220 S1136 M03#

N230 G00 X28.#

N240 G01 Z-20 F0.15#

N250 G00 X200. Z200.#

N260 M30#

Programa para o corpo de prova 3

N10 G99#

N20 T0101#

N30 S797 M03#

N40 G00 X42.Z2.#

N50 X38.#

N60 G01 Z-60. F0.05#

N70 G00 X40.Z2.#

N80 X36.#

N90 G01 Z-60. F0.05#

N100 G00 X40.Z2.#

N110 X34.#

N120 G01 Z-60. F0.25#

N130 G00 X48.Z2.#

N140 S1061 M03#

N150 X32.#

N160 G01 Z-60. F0.05#

N170 G00 X40.Z2.#

N180 X30.#

N190 S1061 M03#

N200 G01 Z-40. F0.10#

N210 G00 X40. Z.2#

N220 S1446 M03#

N230 G00 X22.#

N240 G01 Z-20 F0.05#

N250 G00 X200. Z200.#

N260 M30#

Programa para o corpo de prova 4

N10 G99#

N20 T0101#

N30 S797 M03#

N40 G00 X42.Z2.#

N50 X38.#

N60 G01 Z-60. F0.05#

N70 G00 X40.Z2.#

N80 X36.#

N90 G01 Z-60. F0.05#

N100 G00 X40.Z2.#

N110 X34.#

N120 G01 Z-60. F0.25#

N130 G00 X48.Z2.#

N140 S1061 M03#

N150 X30.#

N160 G01 Z-60. F0.05#

N170 G00 X40.Z2.#

N180 X26.#

N190 S1061 M03#

N200 G01 Z-40. F0.05#

N210 G00 X40. Z.2#

N220 S1446 M03#

N230 G00 X22.#

N240 G01 Z-20 F0.05#

N250 G00 X200. Z200.#

N260 M30#