

Educação, Inovação e Sustentabilidade na Pesquisa Aplicada

Aplicação das tecnologias cad/cam/cae no estudo da usinabilidade de polímeros utilizando a metodologia - abp

Francisco de Assis Toti
ORCID

José Josimar de Oliveira
ORCID

Samuel mendes Franco
ORCID

Amilton Joaquim Cordeiro de Freitas
ORCID

Marcio Silva de Macedo
ORCID

Resumo – Os setores acadêmico e industrial buscam o desenvolvimento e aplicação de processos e materiais que atendam às necessidades de projeto, considerando também os custos e o impacto no meio ambiente de determinado produto. Em um sistema produtivo flexível e globalizado a busca pelo aumento da produtividade com qualidade tornou-se imprescindível para o setor industrial. Nesse contexto, as tecnologias CAD/CAM/CAE (projeto assistido por computador, manufatura assistida por computador e engenharia assistida por computador), estão cada vez mais integradas na indústria devido proporcionarem através das simulações a obtenção de informações, redução do tempo e de custos no desenvolvimento do produto até a sua comercialização. Para isso, a indústria requer profissionais treinados que analisem, executem e garantam a confiabilidade das simulações, bem como, das informações obtidas. Aliado a isso, também é crescente a utilização de polímeros em função por exemplo, das propriedades mecânicas por unidade de massa. Na usinagem desses materiais, usualmente são utilizados parâmetros e ferramentas de corte disponíveis para os metais e existem poucos estudos sobre sua usinabilidade, a qual é imprescindível para se obter a qualidade requerida do produto. O objetivo geral desse trabalho é apresentar a aplicação das tecnologias CAD/CAM/CAE utilizando a metodologia por aprendizagem baseada em projeto – ABP com os alunos dos cursos superiores de tecnologia do eixo de produção industrial, no estudo da usinabilidade dos polímeros nylon 6 de matriz termoplástica e do celeron de matriz termorrígida. Resultados obtidos indicaram que a metodologia - ABP proporcionou aos alunos autonomia para expor suas ideias e vivenciar que a teoria com a prática foi fator fundamental para se capacitarem e ampliarem o conhecimento científico sobre as tecnologias CAD/CAM/CAE no auxílio para obtenção de informações sobre a usinabilidade dos polímeros. Aliado a isso, as contribuições obtidas através dessas informações e das reuniões técnicas envolvendo os setores acadêmico e industrial foram divulgadas para a comunidade em geral. Sobre a usinabilidade o polímero celeron apresentou melhores resultados da rugosidade média (Ra) nos processos de furação e de fresamento sob condição a seco em comparação ao polímero nylon 6 com os mesmos parâmetros de corte. Quanto a qualidade requerida nos processos de furação e fresamento foi correlacionada a dois fatores, sendo o primeiro os parâmetros do processo, destacando a velocidade de avanço. O segundo fator é o tipo de matriz, pois devido ao calor gerado do atrito das arestas de corte da ferramenta com o material, a matriz termoplástica se apresentou mais suscetível à temperatura do processo do que a matriz termorrígida.

Palavras-chave: Usinabilidade, Polímeros, Tecnologias CAD/CAM/CAM, Metodologia - ABP

Abstract - The academic and industrial sectors seek the development and application of processes and materials that meet project needs, also considering the costs and impact on the environment of a given product. In a flexible and globalized productive system, the search for increased quality productivity has become essential for the industrial sector. In this context,

CAD/CAM/CAE technologies (computer assisted project, computer assisted manufacturing and computer assisted engineering) are increasingly integrated into the industry due to the simulations to obtain information, reduction of time and costs. in product development until marketing. For this, the industry requires trained professionals who perform, analyze and guarantee the reliability of simulations, as well as the information obtained. Allied to this, the use of polymers as a function of mechanical properties per unit of mass is also increasing. Machining of these materials is usually used parameters and cutting tools available for metals and there are few studies on their machinability, which is essential to obtain the required quality of the product. The overall objective of this work is to present the application of CAD/CAM/CAE technologies using the project -based learning methodology - ABP with students of the industrial production axis Higher Technology, in the study of Nylon 6 Matrix Polymer Polymers plant thermoplastic and celeron of thermorrigid matrix. Results obtained indicated that the Methodology - ABP provided students with autonomy to expose their ideas and experience that theory with practice was a fundamental factor in enabling and expanding scientific knowledge about CAD/CAM technologies in the aid to obtain information about information the planting of polymers. Allied to this, the contributions obtained through this information and the technical meetings involving the academic and industrial sectors were released to the general community. About Machinability the Celeron Polymer presented better results of average roughness (RA) in drilling and milling processes under dry condition compared to the nylon 6 polymer with the same cutting parameters. As for the quality required in the drilling and milling processes was correlated with two factors, the first being the parameters of the process, highlighting the speed of advance. The second factor is the type of matrix, because due to the heat generated from the friction of the cutting edges of the tool with the material, the thermoplastic matrix was more susceptible to the temperature of the process than the thermorrigid matrix.

Keywords: Machinability, Polymers, CAD/CAM/CAM Technologies, Methodology - PBL

1 Introdução

Em um sistema produtivo flexível, globalizado, digital e cada vez mais integrado na plataforma remota *online*, a busca pelo aumento da produtividade com qualidade, sustentabilidade e custo exequível de seus produtos tornou-se imprescindível para o setor industrial. Para Agost et al. (2022) à medida que os setores de projeto e manufatura transformam seus processos em uma empresa digital, os futuros profissionais devem ser treinados para garantir a qualidade dos modelos digitais que são criados e consumidos ao longo do ciclo de vida do produto.

Para Kyratsis et al. (2020) as tecnologias de projeto assistido por computador, manufatura assistida por computador e engenharia assistida por computador (CAD/CAM/CAE) encontram cada vez mais aplicações na indústria atual e concluíram em seu trabalho que vários processos de projeto e fabricação difíceis de executar de determinados produtos podem ser simulados.

Segundo Sola-Guirado et al. (2022) as tecnologias CAD/CAM/CAE são um dos pilares da indústria atual e, portanto, devem ser uma parte importante do atual plano de treinamento dos profissionais graduados, no entanto, concluíram em seu trabalho que sua implementação no ambiente universitário apresenta certas barreiras que a dificultam. Para Breaz et al. (2020) é uma competência de a maior importância para um profissional ser capaz de implementar nas máquinas-ferramenta de controle numérico (CNC) o uso de técnicas CAD/CAM/CAE em modernos sistemas de manufatura envolvendo vários tipos de materiais.

É fato também que novos materiais estão sendo desenvolvidos e aplicados para atenderem às necessidades de projeto e manufatura de determinado produto, como por exemplo os polímeros, os quais são utilizados nas indústrias automobilísticas, aeroespacial, dentre outras, requerendo aprofundamento no estudo dos parâmetros do processo e de sua usinabilidade. De acordo com Teixeira et al. (2022) é crescente a utilização de polímeros na fabricação de elementos de máquinas por remoção de material e demonstraram em seu trabalho que com o auxílio das tecnologias CAD/CAM foi possível obter a melhor sequência operacional da trajetória de furação que não interferisse na rigidez do componente quanto a qualidade requerida do furo.

Dos processos por remoção de material a furação a seco é amplamente utilizada, pois dispensa fluidos de corte, entretanto, a geração de calor do processo pode levar a ocorrência de defeitos além do desgaste da ferramenta. Devido à baixa condutividade térmica dos polímeros, o calor gerado em torno das arestas da ferramenta pode elevar a temperatura do processo, podendo ocorrer a redução da estabilidade da matriz e produzir danos térmicos (KHASHABA, 2004). Além da furação, os processos de fresamento e de torneamento são utilizados na fabricação de componentes.

Com a aplicação da integração das tecnologias CAD/CAM/CAE é possível variar os parâmetros e tipos de processo, bem como, selecionar e/ou incluir propriedades mecânicas de materiais comumente utilizados nas indústrias, bem como, de novos materiais através de dados experimentais obtidos. Para isso, é necessário profissionais capacitados para a aplicação dessas tecnologias na área da manufatura, principalmente na emergente indústria 4.0.

Usualmente na usinagem dos polímeros são utilizados os parâmetros de processo aplicado nos metais e existem poucos estudos direcionados sobre a aplicação das tecnologias CAD/CAM/CAE no estudo da dificuldade de usinagem que os polímeros oferecem, ou seja, sua usinabilidade.

2 Objetivos

O objetivo geral desse trabalho é apresentar a aplicação das tecnologias CAD/CAM/CAE utilizando a metodologia por aprendizagem baseada em projeto – ABP com os alunos dos 4º, 5º e 6º semestres, dos cursos superiores de tecnologia, do eixo de produção industrial, no estudo da usinabilidade dos polímeros nylon 6 de matriz termoplástica e do celeron de matriz termorrígida.

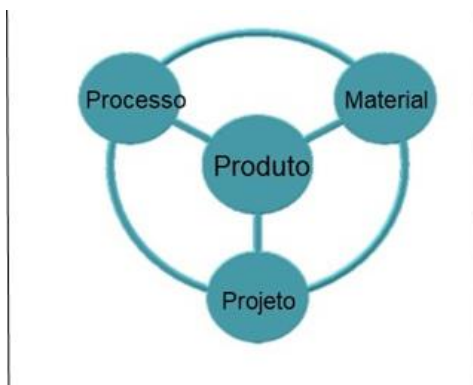
Dois objetivos específicos foram propostos. O primeiro intenciona-se verificar se a metodologia ABP proporcionou aos alunos autonomia para apresentarem suas ideias, desenvolverem o senso criativo e investigativo e as suas competências individuais e socioemocionais. O segundo objetivo é avaliar as possíveis contribuições para a comunidade em geral dos resultados obtidos.

3 Aplicação das Tecnologias CAD/CAM/CAE

Atualmente a integração do computador no desenvolvimento do ciclo de um produto é imprescindível nos modernos sistemas de produção de lotes flexíveis que utilizam tecnologias avançadas. Essa evolução da produção apoiada em tecnologias avançadas tais como: projetos e processos auxiliados por computador (CAD/CAM/CAE), automação e sistemas de informação, são determinantes para o sucesso de desenvolvimento de novos produtos e o aumento da produtividade, resultando em um melhor desempenho operacional das organizações.

Para Guerra e Fabro (2019) no aumento da produção geralmente há modernização de processos ou aquisição de novos equipamentos, tendo como objetivo a redução de custos, focado nas perdas do processo. As tecnologias CAD/CAM/CAE auxiliam desde a concepção, avaliação das soluções, comunicação da solução que atenda o maior número de variáveis do projeto, detalhamento do projeto, processo e montagem de componentes de determinado produto. De acordo com Chen et al. (2015) com o crescimento das tecnologias CAD/CAM/CAE, os modelos CAD 3D são amplamente utilizados em etapas do projeto de produtos. Segundo Ning et al. (2020) a classificação de componentes também pode melhorar a eficácia do processo de fabricação em um sistema de planejamento de processo auxiliado por computador. De acordo com Wang et al. (2021) os modelos CAD 3D pode fornecer instruções claras para tarefas de montagem de subconjuntos e conjuntos de determinado produto. A Figura 1 exhibe as três principais áreas interligadas para o desenvolvimento do ciclo de determinado produto.

Figura 1 - Áreas principais do ciclo de determinado produto.



Fonte: Próprio autor (2022).

Na área de material destaca-se o crescente emprego do polímero pelas indústrias, surgindo a necessidade de usinagem destes materiais, quer seja para reposição de peças unitárias ou até produções seriadas de grandes volumes (PEREIRA, 2021). No caso da utilização de polímeros na fabricação de elementos de máquinas quando submetidos à usinagem, usualmente são utilizados parâmetros e ferramentas de corte disponíveis para os metais.

De acordo com Dias da Costa et al. (2017) apesar do bom domínio dos parâmetros de corte para a usinagem dos metais, sabe-se que poucas pesquisas abordam a influência deles sobre a usinabilidade dos polímeros de engenharia. Nesse contexto, a usinabilidade passou a receber maior atenção, visto que é difícil de ser medida pois depende do material e dos parâmetros de corte da usinagem a ser executada. A utilização de ferramentas de corte para metais na sua usinagem, dificultam por exemplo, o controle do cavaco que depende de ajustes nos parâmetros do processo.

No caso da usinagem de diferentes polímeros, diversos pesquisadores estudaram também alguns critérios de qualificação do processo, como rugosidade da superfície, forças de corte, potência de corte e taxa de remoção de material (CHABBI et al., 2017, p. 2271). As deflexões na ferramenta de corte e na peça ocasionadas por forças de avanço e corte ocasionam erros de superfície na usinagem de peças, especialmente com estruturas de paredes finas (HABIB et al., 2021).

Diante do exposto acima, o setor acadêmico nos seus níveis de formação técnica e de graduação, em especial do eixo de produção industrial busca apresentar essas tecnologias avançadas com uma visão objetiva para o formando do amanhã. Para Streltsova et al. (2023) os instrutores usam o *software* CAD na sala de aula para demonstrar aplicações práticas ajudando os alunos a entender o que eles estão aprendendo e aplicá-lo a cenários do mundo real. De acordo com Toti et al. (2020), o setor educacional atualmente nos seus diversos níveis de formação, em especial na área da engenharia busca com uma visão objetiva preparar o profissional do amanhã e para isso vem se adequando para que o ensino seja cada vez mais integrado e dinâmico. De acordo com Polonia et al. (2020), as preocupações que circundam a formação no ensino superior envolvem desde as interações sociais, perpassando pela dimensão de conteúdo, conhecimento e saberes que auxiliam o aluno na formação da sua identidade profissional.

3.1 Metodologia ABP auxiliadas pelas tecnologias CAD/CAM/CAE

Na aprendizagem no ensino superior são aplicadas metodologias ativas objetivando que os alunos desenvolvam o senso crítico e investigativo na busca pelo conhecimento científico para aplicá-lo na resolução e comunicação de problemas. Para Fernandes et al. (2020) na preparação adequada do perfil do egresso para o atual contexto flexível e mercado de trabalho em constante mudança, as universidades têm adotado o uso de metodologias ativas de aprendizagem nas aulas. Segundo Wende et al. (2021), a aprendizagem centrada no aluno é uma abordagem inter-relacionada com a aprendizagem ativa, tendo a intenção de potencializar a aprendizagem por experiência, aumentando a motivação dos alunos e conseqüentemente tornando-os responsáveis por si próprio.

Sanchez-Romero et al. (2018) aplicaram o aprendizado baseado em projetos (ABP) no primeiro ano de curso superior visando integrar conteúdos teóricos e práticos e aplicá-los em problemas do mundo real, aumentando assim a motivação e o envolvimento dos alunos. Os resultados quantitativos obtidos no trabalho mostraram uma melhora significativa nas notas do grupo experimental. Usualmente a metodologia ABP é aplicada nos últimos semestres do curso visto que o aluno já absorveu conhecimento interdisciplinar no curso. Para Veselov et al. (2019), a aprendizagem baseada em projetos é definida como uma espécie de atividades separadas, organizadas, com tempo determinado, objetivando a resolução de um problema específico, que deve resultar num produto.

De acordo com Toti et al. (2021) a metodologia ativa por Aprendizagem Baseada em Projetos ABP mais referenciada como *Project-Based Learning* (PBL), conduz o aluno a buscar a solução que atenda o maior número de variáveis da hipótese de determinado problema.

3.2 Projeto

O projeto proposto foi a aplicação das tecnologias CAD/CAM/CAE no estudo teórico-experimental da usinabilidade dos polímeros poliamida termoplástico nylon 6 e do termorrígido celeron, submetidos aos processos de furação e fresamento. Para isso foram realizadas simulações dos processos utilizando a integração das tecnologias, seguidos de ensaios físicos de usinagem nas máquinas-ferramenta CNC, no laboratório da Fatec-So. Esse projeto está alocado dentro da linha de pesquisa intitulada “Sistemas CAD/CAE/CARP/CAM integrados no Desenvolvimento de Produto” desenvolvida desde o ano de 2007 no Núcleo Avançado da Área de Projetos – NAAP da Faculdade de Tecnologia de Sorocaba.

4 Materiais e metodologia

Este tópico foi dividido para uma descrição da mesma metodologia para dois materiais poliméricos de diferentes estruturas moleculares e propriedades mecânicas e térmicas.

4.1 Materiais

As principais características dos dois polímeros utilizados nesse trabalho são apresentadas a seguir:

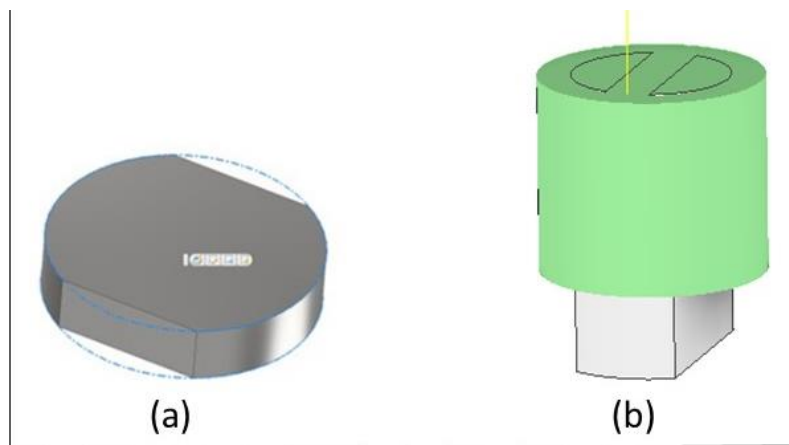
- polímero termoplástico poliamida (Nylon 6): produzido pelos processos de extrusão, obtendo uma estrutura semicristalina, uniforme e livre de tensões internas. Na temperatura ambiente é sólido, e, quando aquecido, pode atingir a temperatura de transição vítrea (T_g), passando para o estado viscoso e chegar até a temperatura de fusão (T_f). Quando resfriado à temperatura ambiente, se solidifica novamente e pode ser reconsolidado. Utilizado na fabricação de buchas para mancais, polias, guias de máquinas, engrenagens, etc. principais aplicações: engrenagens, esteiras de alimentação, mancais, buchas, guias roldanas de impacto, cames e calços (VICK, 2013).

- polímero termorrígido fenólico Celeron: laminado industrial com reforço de tecido (malha fina) de algodão e resina fenólica, produzido através de um processo em

que após aplicação simultânea de pressão e calor às camadas ocorre a polimerização (reação química), formando, assim, uma massa rígida permanente; não pode ser termo-formado (reconsolidado) posteriormente. Usualmente aplicado na fabricação de buchas para mancais, polias, guias de máquinas, engrenagens, etc. O Celeron, é usado também para fins estruturais onde as exigências mecânicas são maiores do que as elétricas (ISOPLAST, 2022).

Dos tarugos de $\varnothing 38$ mm foram extraídos os corpos de prova para os ensaios físicos de furação e fresamentos frontal e tangencial. A Figura 2 exhibe os modelos 3D dos corpos de prova gerados no *software* CAD Inventor da Autodesk, versão educacional 2021, para posterior integração com o CAE e o CAM. A Figura 2a exhibe o modelo 3D para furação e a Figura 2b o modelo 3D para o fresamento, em que já foram inseridas as propriedades mecânicas na aba *properties* no módulo CAD.

Figura 2 - Modelos 3D: (a) para furação e (b) para fresamento.



Fonte: Próprio autor (2023).

4. 2 Metodologia

O projeto interdisciplinar foi desenvolvido por um grupo de alunos que cursavam as disciplinas de integração CAD/CAE/CAM, tecnologia de manufatura avançada, método de elementos finitos e elementos de máquinas I, dos cursos de manufatura avançada, fabricação mecânica e projetos mecânicos, respectivamente. O grupo de alunos teve o auxílio de docentes e de auxiliares de docentes das áreas de projetos, processos e materiais que atuam no núcleo NAAP.

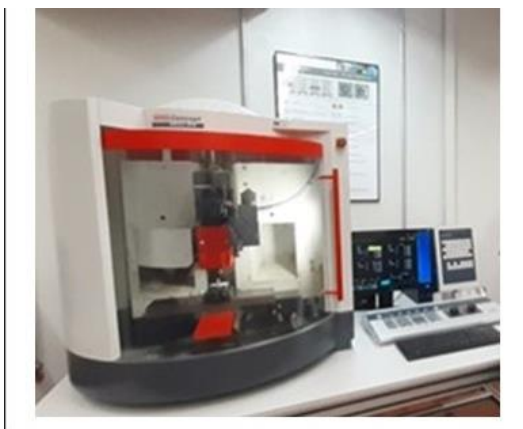
As reuniões ocorreram de forma presencial nos setores da computação gráfica e de usinagem avançada, bem como, na plataforma remota-online teams. As simulações foram desenvolvidas no laboratório *mechanical design automation* – MDA que dispõe do *software* Inventor Autodesk®, com as tecnologias integradas em módulos CAD/CAM/CAE, versão educacional 2022.

No processo de furação foi utilizada a ferramenta de corte de aço rápido de $\varnothing 6$ mm, com velocidade de avanço de 0,09 mm/rev e velocidade de corte de 30m/min, sob condição de resfriamento a seco. Foram realizadas três séries de 06 furos totalizando 18 furos para cada polímero.

No processo de fresamentos tangencial e frontal foi utilizada a ferramenta de corte de aço rápido fresa de $\varnothing 8$ mm, com quatro dentes, com avanço por dente de 0,012 mm e velocidade de corte de 19m/min sob condição de resfriamento a seco. Foram realizadas três séries de fresamentos para cada polímero.

Os ensaios físicos foram realizados no laboratório de usinagem avançada, da faculdade de tecnologia de Sorocaba, na máquina-ferramenta CNC Enco Concept Mill 55, com torre porta-ferramentas com 8 posições, rotação de 150 a 3500 rpm, velocidade de avanço de 0 a 2000 mm/min, conforme exibe a Figura 3.

Figura 3 - Centro de usinagem Enco.



Fonte: Próprio autor (2022).

Os valores da rugosidade média (Ra) da superfície interna dos furos foram obtidos pelo rugosímetro modelo MarSurf M 400 + SD 26 Mahr, disponível no laboratório de metrologia da empresa Metalac SPS. Os valores da rugosidade média (Ra) dos fresamentos tangencial e frontal foram obtidos pelo rugosímetro modelo Mitutoyo, disponível no laboratório de metrologia industrial da Fatec-So. Nos valores obtidos foi aplicada a análise estatística de variância (ANOVA) de fator único para obter 95% de intervalo de confiança, obtendo uma interação significativa em função do valor “*p-value*” ser inferior a 0,05.

Na análise dos desgastes das arestas de corte das ferramentas de corte broca e fresa foi utilizado um microscópio ótico de medição LEICA DMI8 M/C/A e de uma lupa digital conectada ao computador. Também foi aplicado o tratamento térmico de superfície por deposição de filme DLC (do inglês *Diamond like-carbon*) somente na ferramenta de corte broca, visto que esse tratamento é largamente utilizado em ferramentas de corte quando depositado individualmente. A deposição do filme DLC foi realizada no LabTES – Laboratório de Tecnologia e Engenharia de Superfície, na Fatec-Sorocaba. A Figura 4 exibe a deposição do filme de DLC.

Figura 4 - Deposição do filme de DLC.



Fonte: Próprio autor (2022).

As etapas desenvolvidas na metodologia ABP pelo grupo de alunos são apresentadas a seguir:

a) apresentação do projeto - foram avaliados e definidos os parâmetros dos processos, forças atuantes no movimento efetivo de corte, condição não forçada de resfriamento a seco, comportamento das matrizes, tipos e desgaste das ferramentas de corte, qualidade do acabamento superficial, usinabilidade dos dois polímeros.

b) avaliação das soluções - os alunos participaram na avaliação das informações que poderiam ser obtidas pelas tecnologias CAD/CAM/CAE e quais as frentes de trabalho que poderiam ser criadas, bem como, em quais poderiam atuar, visto que o grupo é formado por alunos de três diferentes cursos, no entanto, todos alocados no eixo tecnológico de produção industrial.

c) Comunicação da solução - nessa etapa foi amplamente discutida pelos alunos a formulação da hipótese, sem o auxílio dos docentes e auxiliares de docente, pois precisavam assumir a responsabilidade em que a solução poderia ser a correta ou não. De acordo com Paiva et al. (2016), na revisão integrativa das metodologia ativas constataram seus benefícios no ensino-aprendizagem, destacando o desenvolvimento da autonomia do aluno com uma visão crítica da realidade. Em seguida comunicaram a hipótese “as trajetórias das ferramentas de corte podem influenciar no acabamento superficial dos corpos de provas nos processos de furação e fresamento”.

d) Definição das frentes de trabalho - após reunião foram definidas as seis frentes de trabalho e qual frente cada integrante do grupo iria atuar, ressaltando que o fluxo de informações gerada no desenvolvimento do projeto teria que ser compartilhada “*full time*”. As frentes de trabalho são descritas a seguir:

i) simulação dos esforços atuantes nas arestas de corte da ferramenta com o material integrando as tecnologias CAD/CAE/CAE para os processos de furação e de fresamentos tangencial e frontal.

ii) simulação e programação da trajetória das ferramentas de corte CAD/CAM para os processos de furação e de fresamentos tangencial e frontal.

iii) análise do desgaste das ferramentas de corte de aço com e sem tratamento de superfície de DLC no processo de furação.

iv) análise do acabamento superficial obtidos nos processos de furação e de fresamentos tangencial e frontal.

vi) estudo dos tipos de cavacos obtidos nos processos de furação e de fresamentos frontal e tangencial.

5 Resultados e Discussão

Nesse tópico são apresentados a seguir os resultados obtidos da aplicação das tecnologias CAD/CA/CAE através da metodologia ABP.

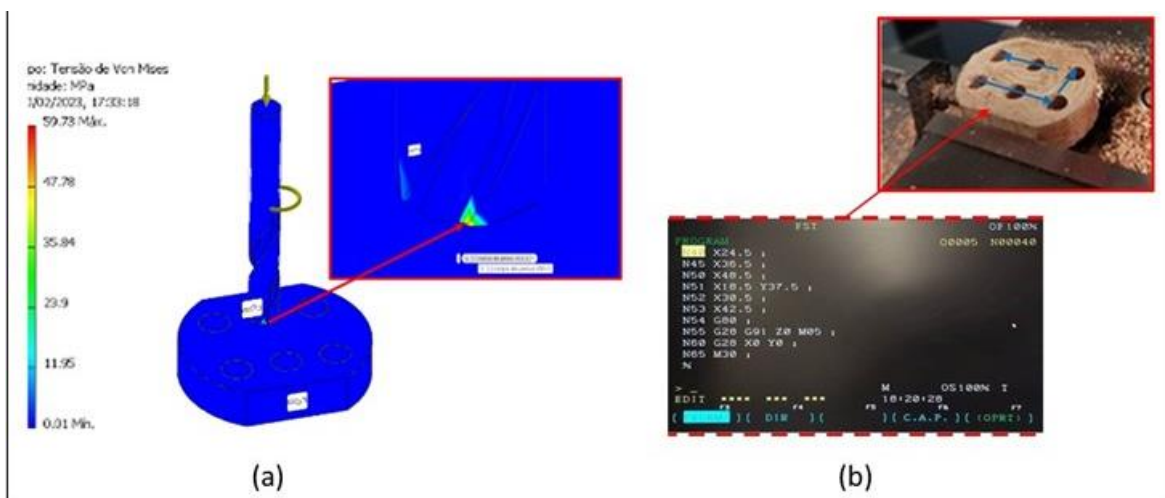
5.1 Tecnologias CAD/CAM/CAE

Na etapa da definição das frentes de trabalho, a autonomia dada aos alunos para definirem a frente em que iriam atuar, destacou-se a importância dada por eles na parceria entre as frentes de trabalho como ponto vital no desenvolvimento do projeto, principalmente nas estratégias envolvendo as simulações.

A Figura 5 exibe a simulação e o processo de furação finalizado para o polímero Celeron. Verifica-se na Figura 5a que na simulação utilizando as tecnologias CAD/CAE no movimento efetivo de corte do processo de furação, a maior tensão equivalente (MPa) está concentrada nas arestas transversais de corte da ferramenta, conforme mostrada em detalhe no gradiente onde se inicia o desgaste da ferramenta de corte.

A Figura 5b exibe a programação NC gerada pelo CAM e indicando no detalhe a trajetória da ferramenta de corte no ensaio físico da furação no corpo de prova do polímero celeron. Outras trajetórias foram simuladas, no entanto a simulação exibida foi a que possibilitou a maior rigidez do corpo de prova, visto que foi definido o espaçamento mínimo de 2,7 vezes o \varnothing da ferramenta de corte, conforme Norma ABNT NBR 8800.

Figura 5 - Aplicação das tecnologias: (a) CAE e (b) CAM e ensaio físico de furação.



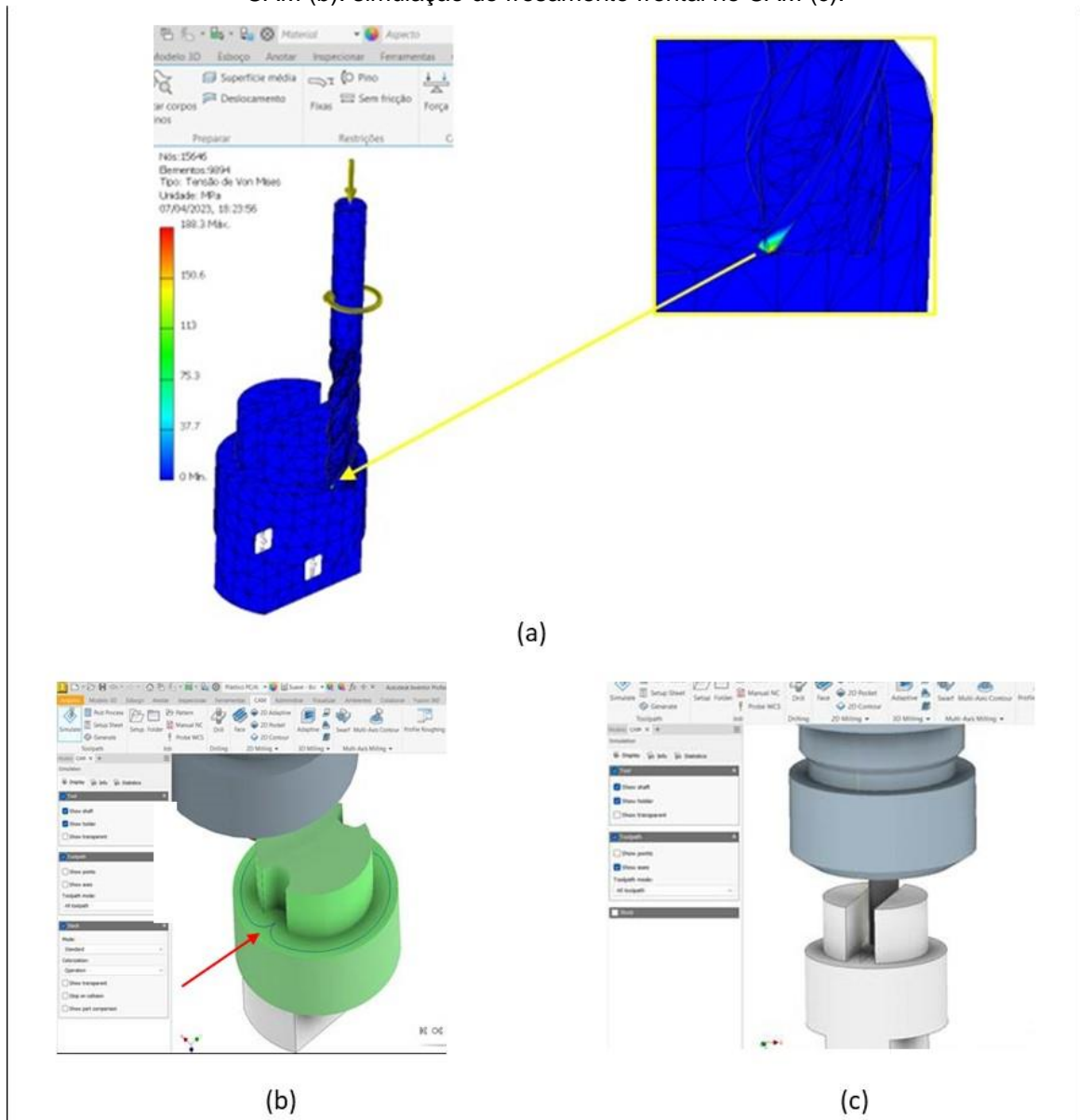
Fonte: Próprio autor (2023).

Outro ponto forte a destacar foi a organização demonstrada pelos alunos em que semanalmente apresentavam os resultados parciais e, com o passar do tempo se sentiam mais seguros na tomadas de decisões para o bom andamento do projeto. Nesse contexto, como exemplo citamos a decisão de utilizarem o modelo 3D da ferramenta de corte fresa obtido o arquivo por *download* com extensão IGES da empresa MCMMASTER, o qual foi convertido para a extensão ipt e utilizado nas simulações pelas tecnologias CAD/CAE.

A Figura 6 mostra as simulações de fresamentos dos dois polímeros com as tecnologias CAD/CAM/CAE. A Figura 6a exibe a simulação na tecnologia CAE de fresamento tangencial em que o gradiente na cor azul indica que a rigidez do corpo de prova e da ferramenta de corte não são alteradas. No detalhe é exibido o gradiente na cor vermelha, indicando o aumento da tensão na aresta de corte da ferramenta fresa. Isso ocorre em função das forças atuantes no movimento efetivo de corte em que ocorre o aumento da pressão específica de corte.

A Figura 6b mostra a trajetória (linha azul indicada pela seta) definida da ferramenta de corte no ensaio do fresamento tangencial na tecnologia CAM. Outras trajetórias foram simuladas visando auxiliar a redução das rebarbas na finalização do fresamento frontal. Figura 4c ilustra a trajetória da ferramenta de corte dentro do canal no fresamento frontal também na tecnologia CAM.

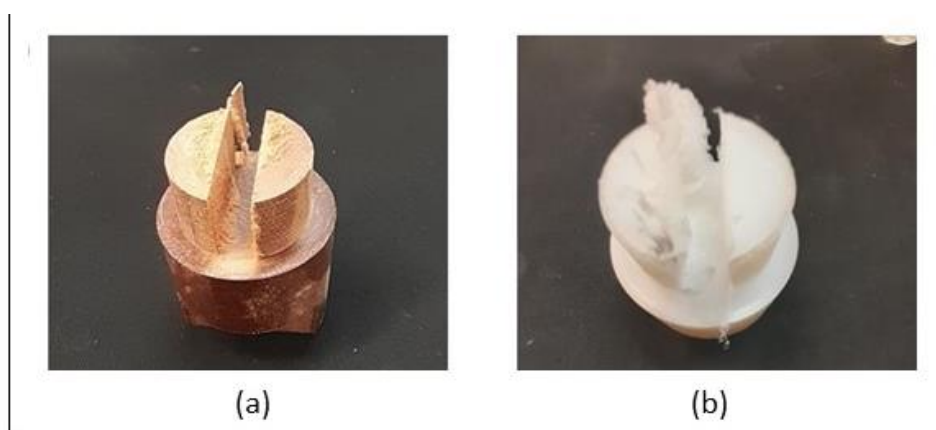
Figura 6 – Simulação no CAE (a). simulação da trajetória tangencial da ferramenta de corte no CAM (b). simulação do fresamento frontal no CAM (c).



Fonte: Próprio autor (2023).

A Figura 7 mostra os corpos de prova usinados dos polímeros celeron e nylon 6. Verifica-se na Figura 7a para o polímero celeron rebarbas na saída do canal executado pelo fresamento frontal. A Figura 7b mostra as rebarbas em maior excesso ao longo da superfície lateral do canal para nylon 6 em comparação ao celeron. No entanto, no fresamento tangencial os dois polímeros não apresentaram rebarbas. Esse comportamento do polímero nylon 6 em relação ao excesso de rebarbas pode ser atribuído a sua matriz termoplástica ser mais suscetível ao calor gerado pelo atrito das arestas de corte da ferramenta com o material. Quanto ao celeron, a matriz termorrígida e o reforço com malha fina de algodão contribuíram para a menor geração de rebarbas.

Figura 7 – corpo de prova usinado: (a) polímero celeron. (b) polímero nylon 6.



Fonte: Próprio autor (2023).

Após as simulações e a execução dos ensaios físicos dos processos de furação e de fresamentos, o grupo se reuniu para discussão dos resultados e verificaram a inter-relação entre as três principais áreas no desenvolvimento do produto conforme exibido na Figura 1.

Após as simulações desenvolvidas por etapas em que os valores das forças de avanço e torque calculados conforme literatura e os parâmetros de corte definidos aplicados nas tecnologias CAD/CAE/CAM, foi possível avaliar o ponto de maior tensão na aresta principal de corte, bem como o aumento da deformação elástica dos polímeros, possibilitando assim, definir a melhor trajetória da ferramenta de corte, a qual foi utilizada para os dois polímeros. É importante ressaltar que o grupo procurou na literatura trabalhos que os auxiliassem na compreensão e validação dos resultados. De acordo com Wang e Melly (2018) existem dezenas de softwares disponíveis para simulação e apresentaram em seu trabalho de revisão modelos propostos por pesquisadores altamente experientes e seus resultados validados com diretrizes de configuração passo a passo.

Também ampliaram o conhecimento sobre influência das matrizes na usinabilidade dos polímeros, visto que apresentaram comportamentos diferentes quando submetidos as forças atuantes do movimento efetivo de corte e do calor gerado no processo do atrito das arestas de corte com o material. De acordo com Diniz et al. (2014), a usinabilidade pode ser definida como o grau de dificuldade em se usar determinado material, sendo esta relativa a uma característica tomada como parâmetro para o material a ser trabalhado. Em seguida, correlacionaram com o comportamento das matrizes dos dois polímeros, tipos de cavaco, acabamento superficial e desgaste das ferramentas, os quais serão apresentados a seguir.

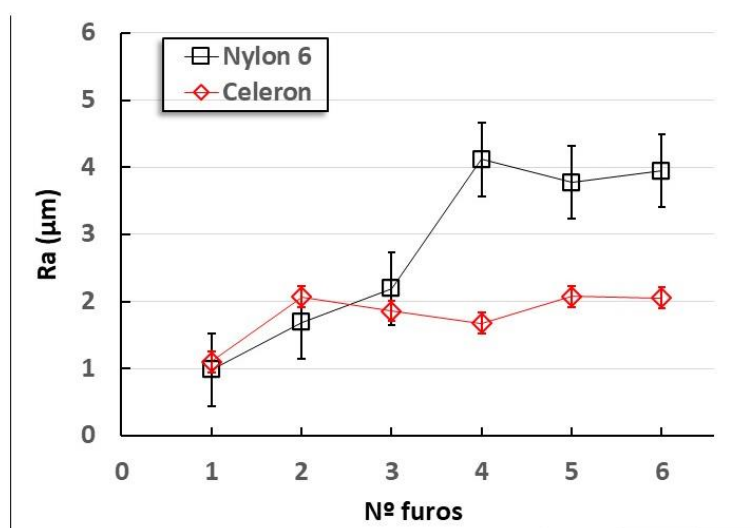
Com a finalização das simulações e ensaios físicos de usinagem, ficou evidente que os alunos adquiriram ao longo do tempo conhecimento científico do projeto, bem como, compreenderam que teoria e a prática são essenciais para o desenvolvimento do projeto no eixo de produção industrial. De acordo com Miller e Krajcik (2019) na metodologia PBL, o aluno demonstra compreensão científica de ideias e práticas crescente ao longo do tempo de projeto coerente envolvendo a estrutura curricular do curso.

5.2 Acabamento superficial

Na avaliação do acabamento superficial, os alunos verificaram através dos valores obtidos da rugosidade média (Ra) da superfície interna do furo comportamento diferentes para os polímeros nylon6 e celeron, conforme mostra a Figura 8. Observou-se também que os valores de Ra obtidos para o nylon 6 crescem conforme aumenta o número de furos de 1 a 4, estabilizando nos furos 5 e 6, indicando que devido à baixa condutividade térmica do polímero ocorre a elevação da temperatura do processo devido ao calor gerado do atrito da aresta de corte/material.

No entanto, os valores de Ra do Celeron são próximos do nylon 6 nos três primeiros furos e nos furos 4, 5 e 6 apresentam valores próximos e inferiores aos do nylon 6. Esses resultados do celeron podem ser atribuídos a princípio ao fato de que a matriz é termorrígida e, também, ao reforço de tecido, sendo menos suscetível ao aumento da temperatura em relação a matriz termoplástica do nylon 6. A matriz termoplástica apresenta comportamento diferente da matriz termorrígida em função do calor gerado pelo atrito da ferramenta de corte com o material (LOPEZ-ARRAIZA et al., 2011).

Figura 8 – Valores da rugosidade média (Ra) para os polímeros nylon 6 e celeron.



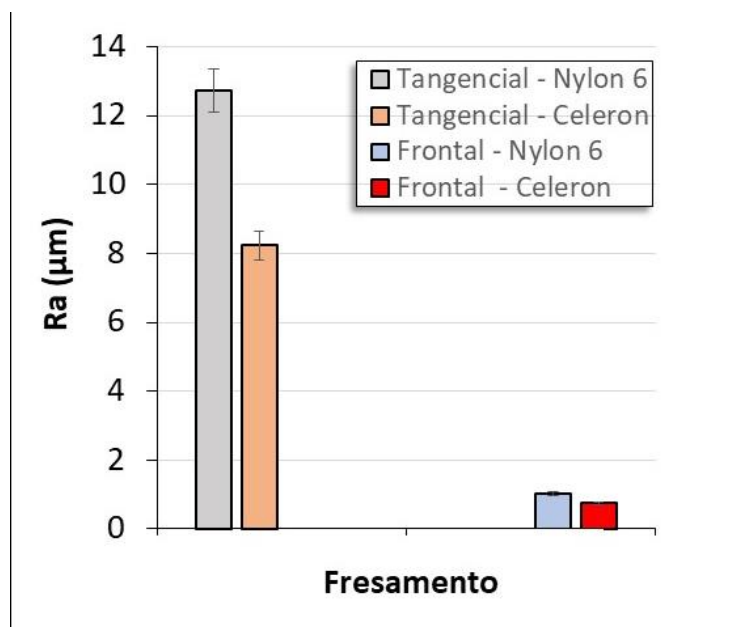
Fonte: Próprio autor (2022).

Nessa etapa do projeto, os alunos entenderam que não basta somente comentar os resultados e sim explicá-los, bem como, procurar estudos desenvolvidos e/ou normas técnicas que possam a vir a ratificar os resultados com os comentários. Verificaram que os valores da rugosidade Ra dos dois polímeros estão dentro do esperado para furação comum, segundo a Norma NBR 8404, validando o ensaio de furação proposto nesse projeto, visto que não foi utilizado placa de apoio. Na literatura, encontraram no trabalho de Adeniji et al. (2020) sobre usinagem de polímero termoplástico resultados com boa concordância com os obtidos do termoplástico nylon 6.

No processo dos fresamentos, os valores obtidos de Ra do fresamento frontal são melhores em relação aos valores do fresamento tangencial para os dois polímeros conforme ilustra a Figura 9. Nota-se também que os valores obtidos da rugosidade média (Ra) nos dois tipos de fresamentos para o celeron são melhores em comparação ao nylon 6, tal qual ocorreu no processo de furação.

Nesse tópico, os alunos aprenderam que num determinado processo de fresamento a posição do eixo axial da ferramenta de corte em relação ao plano de usinagem apresentam acabamentos superficiais diferentes num mesmo parâmetro e ferramenta de corte. Outro ponto a ser destacado nessa atividade desenvolvida na metodologia ativa ABP foi o ambiente participativo entre os integrantes do grupo.

Figura 9 – Valores da rugosidade média (Ra) obtidos dos fresamentos frontal e tangencial para os polímeros termoplástico nylon 6 e termorrígido celeron.



Fonte: Próprio autor (2023).

5.3 Classificação do tipo de cavaco

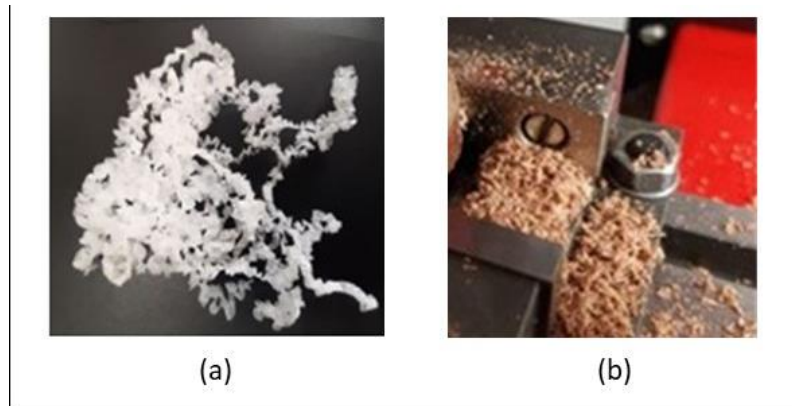
Na classificação do tipo de cavaco obtido nos ensaio de furação e de fresamentos, os alunos puderam verificar a diferença da forma do cavaco ser fragmentado (curto) do polímero termorrígido Celeron em comparação ao cavaco contínuo do polímero termoplástico nylon 6, podendo ser creditada ao tipo de matriz. Para Ge et al. (2022) a ferramenta de corte broca leva a formação de cavacos contínuos, que podem ser atribuídos ao processo contínuo de remoção de material durante a furação e a excelente ductilidade da matriz termoplástica.

A Figura 10 exibe o tipo de cavaco obtido no ensaio de furação dos polímeros nylon 6 e celeron. Verifica-se na Figura 10a que o cavaco após a finalização do ensaio e de acordo com a Norma ISO 3685 foi classificado como cavaco de forma elíptico cônico emaranhado.

Para Degeenhardt *et al.* (2005), cavacos longos podem ficar emaranhados ao redor da broca, podendo levar à baixa qualidade do furo e são mais difíceis de gerenciar uma vez fora do furo, aumentando assim os custos de produção e diminuindo a produtividade.

A Figura 10b exibe o cavaco obtido do ensaio de furação do polímero celeron. Nota-se que o cavaco é curto e foi classificado de acordo com a Norma ISO 3685 (op cit) como cavaco fragmentado. Na operação de furação são desejáveis cavaco do tipo fragmentado, visto que quando ficam maiores não se pode deslocar facilmente pelos canais, aumentando o torque e podendo causar avaria na ferramenta de corte (BATZER et al., 1998).

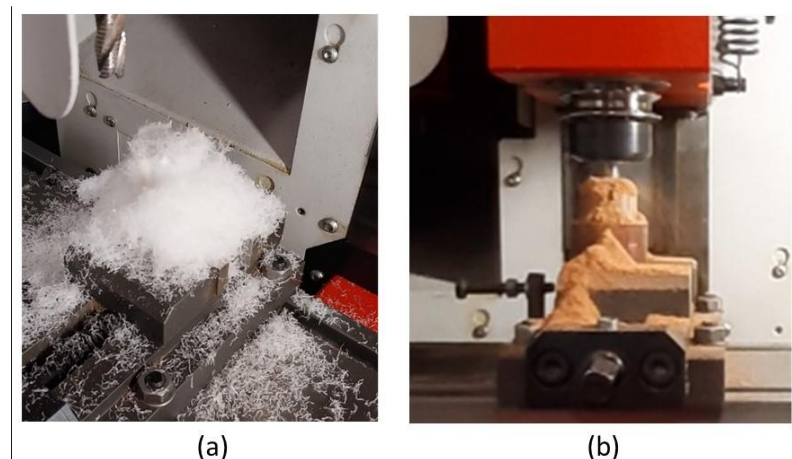
Figura 10 – Tipos de cavaco: (a) elíptico cônico emaranhado. (b) fragmentado.



Fonte: Próprio autor (2022)

No processo de fresamento o tipo de cavaco se manteve fragmentado para o celeron, no entanto, para o nylon 6 o cavaco obtido se apresentou mais fragmentado devido a geometria da ferramenta de corte da fresa ser diferente e o processo de remoção do material ser externo. A Figura 11 exibe os cavacos obtidos dos fresamento para o nylon 6 e para o celeron.

Figura 11 – Tipos de cavacos obtido do fresamento: (a) nylon 6. (b) celeron.



Fonte: Próprio autor (2023)

Os alunos perceberam a importância do estudo do tipo do cavaco quanto a sua obtenção sob condição a seco, ou seja, livre de contaminação para sua reciclagem, bem como, sua influência dependendo do tipo de cavaco nas paradas das máquinas-ferramenta para sua remoção e como afeta a usinabilidade. CHABBI et al. (op. cit.) comentaram em seu trabalho que no caso da usinagem de diferentes polímeros, diversos pesquisadores estudaram também alguns critérios de qualificação do processo, como rugosidade da superfície, forças de corte, potência de corte e taxa de remoção de material, volume do cavaco.

5.4 Desgaste da ferramenta de corte

A quantidade de furos nas três séries para os polímeros nylon 6 e celeron não ocasionou desgaste nas arestas de corte da ferramenta de aço rápido sem deposição do filme de DLC. Nesse sentido não teria razão de aplicar o tratamento

de superfície DLC, porém, o tópico de desgaste de ferramenta de corte despertou o senso investigativo dos alunos em buscar alternativa caso viesse a ocorrer. Nesse sentido, a frente de trabalho ganhou apoio entre os alunos em função de terem disponível laboratório para execução do tratamento de deposição do filme DLC. Aliado a isso, também estavam disponíveis os laboratórios para desenvolver o projeto e a fabricação do suporte para posicionamento da ferramenta de corte intencionando que a deposição do filme de DLC ocorresse de forma uniforme nas arestas de corte.

Nesse contexto, novamente o grupo de alunos percebeu a inter-relação entre as três principais áreas descritas na Figura 1, visto que, tiveram que desenvolver o projeto e a fabricação usando as tecnologias CAD/CAM do suporte para alojar com precisão duas ferramentas de corte. Aliado a isso, devido a interação química que ocorre na câmara do reator a vácuo na deposição do filme de DLC, o material do suporte selecionado foi o aço inox 304. A Figura 12 exhibe o suporte com as ferramentas de corte e o a deposição do filme de DLC finalizada.

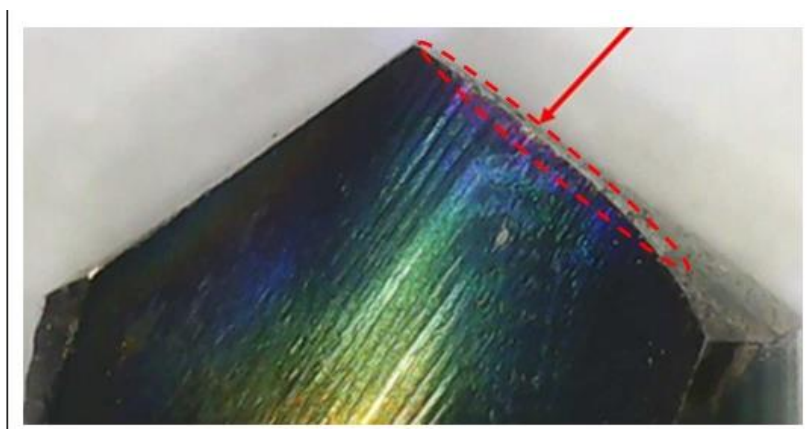
Figura 12 - Suporte com as Ferramentas de corte posicionadas e com o filme de DLC finalizado.



Fonte: Próprio autor (2022)

No teste em uma série contendo seis (6) furos para o polímero celeron não ocasionou o descolamento do filme de DLC das arestas de corte, suportando a temperatura do processo no polímero Celeron até a segunda série de furos, totalizando 12 furos. Entretanto, na terceira série, apresentou descolamento do filme de DLC na aresta de corte conforme destacado na Figura 13.

Figura 13 - Descolamento do filme de DLC na aresta de corte da ferramenta.



Fonte: Próprio autor (2022).

6 Contribuições à comunidade em geral

Nesse tópico se destaca o *know-how* que as pessoas adquiriram participando do projeto, como por exemplo no projeto de iniciação científica desenvolvido pelo aluno em que a empresa que trabalha ao saber do projeto autorizou a utilização do laboratório de metrologia para medição da rugosidade dos corpos de prova, conforme apresentado no subtópico 5.2. Aliado a isso, a troca de informações em reuniões técnicas com os setor industrial contribui para que o setor acadêmico mantenha-se atualizado e acompanhe a dinâmica das tecnologias aplicadas no desenvolvimento e produção de produto

Com a usinagem sob condição a seco evitou-se a utilização de fluidos refrigerantes, os quais são prejudiciais se não forem descartados da forma correta no meio ambiente. Também conscientizou as pessoas envolvidas no projeto o porquê que cada vez mais as empresas estão aderindo à usinagem a seco.

Dos resultados obtidos das frentes de trabalho foi produzido pelo grupo de discentes, auxiliares de docentes e docentes, a produção acadêmica conforme apresentada a seguir:

a) Análise da rugosidade superficial em polímeros submetidos ao processo de furação a seco em função de parâmetros e ferramentas de corte. in: XXII - Congresso Internacional de Engenharia Mecânica e Industrial - Anais do Conemi, São Paulo, V. 22, 2022.

b) Estudo da usinabilidade dos polímeros termoplástico nylon 6 e do termorrígido celeron na manufatura integrada por computador - cim. In: Anais da vi mostra de trabalhos docentes em rji. São Paulo: Centro Paula Souza. v. vi. p. 568-575, 2022.

c) Evaluation of DLC film deposition on the cutting tool submitted to the dry drilling process in thermosetting polymer. Resumo publicado no XLIII Congresso brasileiro de Aplicações de Vácuo na Indústria e Ciência, Sorocaba – São Paulo, 2022.

d) Controle dimensional do processo de furação auxiliado pelo CAD/CAM nos polímeros poliamida termoplástico Nylon 6 e do termorrígido Celeron. 2022. Iniciação Científica. (Graduando no curso de Projetos Mecânicos) - Faculdade de Tecnologia de Sorocaba, Centro Paula Souza.

e) Seleção e simulação de ferramentas de corte de fresamento no CAD/CAM. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação no curso de Manufatura Avançada). Faculdade de Tecnologia de Sorocaba.

f) Estudo do controle do cavaco no processo de furação no polímero nylon 6. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação no curso de Fabricação Mecânica) - Faculdade de Tecnologia de Sorocaba. Orientador:

g) Estudo de melhoria no processo de fresamento utilizando insertos intercambiáveis. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação no curso de Fabricação Mecânica) - Faculdade de Tecnologia de Sorocaba.

h) Tratamento de superfície a plasma DLC (Diamond - Like Carbon) na ferramenta de corte broca. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação no curso de Fabricação Mecânica) - Faculdade de Tecnologia de Sorocaba.

i) Projeto e Fabricação de Dispositivo de Ferramenta de Corte. 2022. Orientação de outra natureza. (Estágio supervisionado no curso de Projetos Mecânicos) - Faculdade de Tecnologia de Sorocaba.

j) Cálculo e simulação (CAD/CAE) de Esforços Atuantes em Perfil Estrutural. 2022. Orientação de outra natureza. (Estágio supervisionado no curso de Projetos Mecânicos) - Faculdade de Tecnologia de Sorocaba.

6 Considerações finais

Com a aplicação das tecnologias CAD//CAM/CAE no estudo da usinabilidade dos polímeros utilizando a metodologia por aprendizagem baseada em projeto – ABP, foi possível verificar que a metodologia proporcionou aos alunos autonomia para apresentarem suas ideias, desenvolverem o senso criativo e investigativo e as suas competências individuais e socioemocionais. Também ficou evidenciado no decorrer do projeto que os alunos conseguiram compreender as inter-relações das três principais áreas do desenvolvimento do produto através do projeto interdisciplinar proposto, conforme exibido na Figura 1.

Os alunos vivenciaram que a teoria conciliada com a prática foi fator fundamental para ampliar o conhecimento científico sobre a aplicação das tecnologias CAD/CAM/CAE. Destacaram a importância das simulações dos processos para definição das melhores trajetórias das ferramentas e dos parâmetros dos processos, os quais incidem diretamente na qualidade do produto conforme ilustrado nas Figuras 5, 6 e 7 do subtópico 5.1. Nesse contexto, avaliaram também que é possível a redução do número de ensaios físicos e consequentemente a economia de energia consumida pela máquina-ferramenta e dos materiais poliméricos utilizados, os quais seriam descartados e encaminhados para reciclagem.

Sobre o grau de dificuldade que os polímeros proporcionaram aos processos (usinabilidade) foi correlacionada com dois fatores, sendo o primeiro os parâmetros do processo, destacando a velocidade de avanço e a geometria da ponta da ferramenta de corte. O segundo fator é o tipo de matriz, pois devido ao calor gerado do atrito das arestas de corte com o material a temperatura do processo pode atingir a temperatura de transição vítrea (T_g) dos polímeros. Isso ficou evidenciado nos valores obtidos da rugosidade média (R_a) dos dois polímeros em que celeron de matriz termorrígida apresentou melhores resultados que o nylon 6 de matriz termoplástica, conforme ilustrado nas Figuras 8 e 9 do subtópico 5.2.

Na análise dos tipos de cavacos, os alunos aprofundaram o conhecimento do comportamento da estrutura dos polímeros submetidos aos processos de furação e fresamento, visto que, apresentaram tipos de cavacos diferentes para as mesmas geometrias de corte das ferramentas do processo de furação e de fresamento, conforme exibido nas Figuras 10 e 11 do subtópico 5.3. Aliado a isso, o quanto o cavaco emaranhado do nylon 6 pode interferir no tempo de produção, ou seja, parada da máquina-ferramenta para sua retirada.

O estudo da deposição do filme de DLC deve ser aprofundado visto que apresentou descolamento nas arestas de corte na terceira série de furos, conforme exibido na Figura 13 do subtópico 5.4. No entanto, o conhecimento científico adquirido pelos alunos nessa atividade e coleta de dados para argumentar uma possível solução, corrobora na importância da aplicação da metodologia -ABP. A iniciativa de testar uma solução alternativa para melhoria do processo quanto ao desgaste da ferramenta de corte de furação pode ser considerada como uma das mais relevantes entre as frentes de trabalho. Por fim, o envolvimento entre os professores, alunos e demais pessoas do setor industrial no desenvolvimento

desse trabalho proporcionou contribuições para a comunidade em geral, conforme elencadas no tópico 6, bem como, auxiliou na melhoria processo de ensino aprendizagem. Nesse sentido, o trabalho desenvolvido vai ao encontro dos interesses dos cursos de tecnologia quanto a qualificação dos alunos para um mercado de trabalho cada vez mais competitivo e exigente.

Referências

ADENIJI, D.; SCHOOP, J.; GUNAWARDENA, S. *et al.* **Characterization and modeling of surface roughness and burr formation in slot milling of polycarbonate.** *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, v. 4, p. 59, 2020.

AGOST, M. J.; COMPANY, P.; CONTERO, M., CAMBA, J. **CAD training for digital product quality: a formative approach with computer-based adaptable resources for self-assessment.** *International Journal of Technology and Design Education*, vol. 32, p. 1393–1411, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS - ABNT NBR ISO 3685. **Ensaio de vida da ferramenta de ponta única para torneamento.** 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS - ABNT - NBR 8404. **Simbologia e indicações complementares para a identificação do estado de superfície em desenho técnico mecânico,** 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS - ABNT - NBR 8800. **Design steel and composite structures,** 2008.

BATZER, S. A.; HAAN, D. M.; RAO, P. D. **Chip morphology and hole surface texture in the drilling of cast Aluminum alloys.** *Journal of Materials Processing Technology*, v. 79, p. 72-78, 1998. Disponível em: <https://bit.ly/3TmVaMj>. Acesso em: 16 agosto. 2022.

BREAZ, R. E.; RACZ, S. G.; GIRJOB, C. E., TERA, M.; BIRIŞ, C. **Using open-source software CNC controllers and modular multi-axis mechanical structure as integrated teaching environment for CAD/CAM/CAE training.** *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 968, 2020.

CHABBI, A.; YALLESE, M. A.; NOUIOUA, M. **Modeling and optimization of turning process parameters during the cutting of polymer (POMC) based on RSM, ANN, and DF methods.** *International journal of advanced manufacturing technology*, v. 91, p. 2267-2290, 2017

CHEN, Q.; FANG, B.; YU, W.; TANG, Y. **3D CAD model retrieval based on the combination of features.** *Multimed Tools Appl*, vol. 74, p. 4907–4925, 2015.

DEGEENHARDT, J. A.; DEVOR, R. E.; KAPOOR, S. G. **Generalized groove-type chip breaker effects on drilling for different drill diameters and flute shapes.** *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, v. 45, p. 1588–1597, 2005. Disponível em: <https://bit.ly/3rZu56q>. Acesso em: 03 out. 2022.

DIAS DA COSTA, D.; ATHAYDE, J. N.; ALENCAR, S. A. **Avaliação da usinabilidade do polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE).** 9º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, COBEF, Joinville, Santa Catarina, 2017.

DINIZ, A.E; MARCONDES, F. C; COPPINI, N.L. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. 9ª. Ed. São Paulo: Artliber, 270 p, 2014.

FERNANDES, F. A. O.; FUCHTER JÚNIOR, N.; DALEFFE, A.; FRITZEN, D.; ALVES DE SOUSA, A. R. **Integrating CAD/CAE/CAM in Engineering Curricular: A Project-Based Learning Approach**. Education and Science, vol. 10, p 2 – 11, 2020.

GE, J.; CATALANOTTI, G.; FALZON, B. G. **Towards understanding the hole making performance and chip formation mechanism of thermoplastic carbon fibre/ polyether composite**. Composites Part B, v. 234, p. 109752 - 2022. Acesso: em 28 setembro. 2022.

GUERRA, B. A.; FABRO, E. **Indústria 4.0 como ferramenta na engenharia de manutenção com base na metodologia TPM**. Scientia Cum Indústria, Vol.. 7, p. 19-23, <http://dx.doi.org/10.18226/23185279.v>, 2019.

HABIB, N.; SHARIF, A.; HUSSAIN, A.; AAMIR, M.; GIASIN, K.; PIMENOV, D.Y.; ALI, U. **Analysis of hole quality and chips formation in the dry drilling process of Al7075-T6**. Metals. vol. 11, n. 6, p. 891, 2021.

ISOPLAST. **Polímero Celeron**. Disponível em: <https://isolaplast.com.br/produto/celeron>. Acesso em: 12 abril 2022.

KHASHABA, U. A. **Delamination in drilling GFR-thermoset composites**. Composites Structures, v. 63, p. 313-327, 2004.

KYRATSI, P.; KAKOULIS, C.; MARKOPOULOS, A. P. **Advances in CAD/CAM/CAE Technologies**. Machines, doi:10.3390/machines801001, p. 8-13, 2020.

LOPEZ-ARRAIZA, A.; AMENABAR, I.; AGIRREGOMEZKORTA, A.; SARRIONANDIA, M.; AURREKOETXEA, J. **Experimental analysis of drilling damage in carbon-fiber reinforced thermoplastic laminates manufactured by resin transfer molding**. Journal of Composite Materials, vol. 46(6), p. 717–725, 2011.

MCMASTER. **Modelo 3D de Ferramentas de corte**. disponível no endereço <https://www.mcmaster.com/products/turning-tools/>. Acesso em : maio 2022.

MILLER, E. C.; KRAJCIK, J. S. **Promoting deep learning through project-based learning: a design problem**. Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research. doi.org/10.1186/s43031-019- 0009, 2019.

PAIVA, M. R. F.; PARENTE, J. R. F.; BRANDÃO, I. R.; QUEIROZ, A. H. B. **Metodologias ativas de ensino aprendizagem: revisão integrativa**. SANARE, Sobral - V.15 n. 02, p.145-153, 2016.

PEREIRA, L. E. R. **Estudo da Usinabilidade dos Plásticos de Engenharia: Polietertercetona – PEEK, Polióxido de metileno – POM, Politetrafluoretileno – PTFE e Polietileno de ultra alto peso molecular – PEUAPM**. 2021, p. 182. Engenharia mecânica - Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2021.

POLONIA, A. C.; SANTOS, M. F. S. **O desenvolvimento de competências no ensino superior: a prática docente em foco**. Educação em Revista, Belo Horizonte – MG, v.36, p. 216-223, 2020.

SANCHEZ-ROMERO, J. L.; JIMENO-MORENILLA, A.; PERTEGAL-FELICES, M. L.; MORA-MORA, H. **Design and Application of Project-Based Learning Methodologies for Small Groups Within Computer Fundamentals Subjects**. IEEE Access, vol. 7. 2018.

SOLA-GUIRADO, R. R.; GUERRERO-VACAS, G.; RODRÍGUEZ-ALABANDA, O. **Teaching CAD/CAM/CAE tools with project-based learning in virtual distance education**. Education and Information Technologies, vol. 27, p.5051–5073, 2022.

STRELTSOVA, M.; GLADKOVA, L.; BULYGINA, J. **Implementing smart technology in engineering education**. E3S Web of Conference 376, 5036, 2023.

TEIXEIRA, G. M.; TOTI, F. A.; OLIVEIRA, J. J.; SILVA, M.M.;FREITAS, A. J. C. **Análise da rugosidade superficial em polímeros submetidos ao processo de furação a seco em função de parâmetros e ferramentas de corte**. in: XXII - Congresso Internacional de Engenharia Mecânica e Industrial - Anais do Conemi, São Paulo, V. 22, 2022.

TOTI, F. A.; PONTES, M. V. F. ; OLIVEIRA, J. J. ; FREITAS, A. C. **Análise de tempos na Automação e Controle no Laboratório - CIM Através do Ensino Presencial e Remoto - Online**. In: XLVII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, COBENGE, Bento Gonçalves, 2020.

TOTI, F. A.; OLIVEIRA, J. J.; FRANCO, S. M.; FREITAS, A. J. C. **Metodologia por Aprendizagem Baseada em Projetos – ABP em Disciplina de Ensino Superior no Sistema Remoto-Online**. XXI Congresso Internacional de Engenharia Mecânica e Industrial (CONEMI), Belo Horizonte – MG, 2021.

VESELOV, G. E.; PLJONKIN, A.; FEDOTOVA, A. Y. **Project-based learning as an effective method in education**. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/334906382>, 2019. Acesso em: 7 junho 2019.

VICK. Boletim técnico 2013: **Nylon 6, corte e usinagem**. Disponível em: <<http://www.vick.com.br/vick/novo/datasheets/datasheet-nylon60.pdf>. Acesso: em 28 fevereiro. 2022.

WANG, P.; BAI , X.; BILLINGHURST, M.; ZHANG1, S.; WEI, S. **3DGAM: Using 3D gesture and CAD models for training on mixed reality remote collaboration**. Multimedia Tools and Applications vol. 80, p. 059-084, 2021.

WANG, G.; MELLY, S. K. **Three-dimensional finite element modeling of drilling CFRP composites using Abaqus/CAE: a review**. International journal of advanced manufacturing technology, vol. 94, 2018.

WENDE, M.; GIESE, T.; BULUT, S. **Framework of an active learning python curriculum for first year mechanical engineering students**. IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), p. 1193-1200, Porto, Portugal, 2021.