

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LUCAS BRENNER KASAI

PROJETO E FABRICAÇÃO DE FERRAMENTAS PARA TORNEAMENTO DE
MATERIAIS POLIMÉRICOS

CURITIBA

2021

LUCAS BRENNER KASAI

PROJETO E FABRICAÇÃO DE FERRAMENTAS PARA TORNEAMENTO DE
MATERIAIS POLIMÉRICOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Mecânica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Eng. Dalberto Dias da Costa.

CURITIBA

2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais por todo o incentivo, apoio e compreensão durante toda minha graduação.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Dalberto pela orientação e disponibilidade durante todas as etapas do trabalho. Aos colegas Mizael e Matheus, que desenvolveram em conjunto comigo o projeto sobre usinabilidade de polímeros. Ao Prof. Dr. Claudimir Rebeyka pela disponibilidade e grande ajuda na fabricação do produto final. Sem a ajuda e contribuição de todos não seria possível a concretização deste projeto.

Aos colegas de trabalho com quem estagiei que me ensinaram muito do que sei hoje sobre como interpretar normas técnicas, GD&T e desenho em *software* CAD.

Ao amigo Rodrigo da Veiga por ceder seu tempo e equipamento para auxiliar na rebarbação e ensaio.

E por fim aos amigos engenheiros Bruno, Gustavo e Vitor por me guiarem na formatação correta segundo a ABNT.

RESUMO

Com o desenvolvimento tecnológico, materiais poliméricos encontram cada vez mais espaço no mercado internacional. De modo a sanar as necessidades da crescente demanda, novos métodos de fabricação precisam ser desenvolvidos. A usinagem de polímeros ainda é uma área relativamente pouco estudada e pouco se desenvolveu de estudos no assunto em relação à influência da geometria do inserto de usinagem na operação de torneamento. Este trabalho apresenta todas as etapas do processo de desenvolvimento de um produto, focado na construção de um inserto e porta ferramenta customizado para estudo da usinabilidade de polímeros. Ao longo do trabalho é realizada a seleção da geometria, matéria-prima e parâmetros ideais para trabalho com uma vasta gama de polímeros de engenharia assim como estudado a melhor maneira de produção e desenvolvido um roteiro de fabricação. Por fim, de modo a validar o estudo, é construído um protótipo e realizado ensaios que comprovam a eficácia da solução.

Palavras-chave: Usinagem de polímeros. Projeto de ferramenta. Ângulos de ferramentas de corte. Ferramentas para torneamento. Torneamento de polímeros.

ABSTRACT

Following the technological development of today's industry, polymeric materials are commonly found in the international market. Aiming to supply the increasing demand, new fabrication methods need to be developed. Polymer machining is still a relatively unexplored field and there are few studies published regarding the influence of tool geometry on polymer operations. This paper details all the steps of a product development project, focusing on the construction of a customized machining insert focused on the study of polymer turning. Throughout this paper, geometry, materials and tools are selected and detailed to produce a tool capable of operating with multiple kinds of polymeric raw materials. Furthermore, the best production method is selected and process guidelines described. Finally, to validate the study, a prototype is built and put to test, proving the successful implementation of the solution.

Keywords: Polymer machining. Tooling development. Cutting tool angle. Machining tooling. Polymer turning.

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ISO - International Organization for Standardization

NBR - Norma Brasileira

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

AISI - *American Iron and Steel Institute*

DIN - *Deutsches Institut für Normung*

HB - Dureza Brinell

WT% - Porcentagem por massa

LABUSIG UFPR - Laboratório de Usinagem do Departamento de Eng. Mec. UFPR

SAE - *Society of Automotive Engineers*

CAM - *Computer-Aided Manufacturing*

CAD - *Computer-Aided Design*

IC - *Internal Circle*

S - Espessura

Re - Raio de ponta

L - *Length*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 JUSTIFICATIVA	10
1.2 OBJETIVOS	12
1.2.1 Objetivo geral	12
1.2.2 Objetivos específicos.....	13
1.3 METODOLOGIA.....	13
2 REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 TERMINOLOGIA DAS FERRAMENTAS DE CORTE	15
2.1.1 Elementos da Ferramenta	15
2.1.2 Superfícies da ferramenta	16
2.1.3 Gumes (arestas de corte).....	17
2.2 ÂNGULOS DE TRABALHO E DA FERRAMENTA.....	17
2.3 QUEBRA-CAVACOS.....	18
2.4 INFLUÊNCIA DOS ÂNGULOS DA FERRAMENTA	20
2.4.1 Ângulo de incidência (de folga) (α_n).....	20
2.4.2 Ângulo de saída do cavaco (γ_n).....	21
2.4.3 Ângulo de direção do gume da ferramenta (ângulo de posição) (kr).....	23
3 MATERIAIS E MÉTODOS	24
3.1 MATÉRIA-PRIMA.....	24
3.1.1 AISI D6.....	24
3.1.2 SAE 52100	25
3.1.3 AISI 1045.....	26
3.1.4 POLIPROPILENO	26
3.2 PROJETO CONCEITUAL E PRELIMINAR	26
3.2.1 Geometria Inicial	27
3.2.2 Pesquisa de Mercado.....	28
3.2.3 Seleção do formato do inserto.....	29
3.2.4 Fixação do Inserto.....	30
3.2.5 Geometrias do Inserto	31
3.2.6 Remoção de rebarbas.....	33
3.2.7 Dimensionamento dos ângulos do Inserto	35
3.2.8 Sequência de Operação.....	36

3.2.9 Programação CAM.....	37
3.3 PROJETO DETALHADO.....	38
3.3.1 Dimensionamento do Quebra-Cavacos.....	38
3.3.2 Processo de Fabricação.....	40
3.3.3 Desenhos de Fabricação e Montagem.....	40
4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	42
4.1 PREPARAÇÃO.....	42
4.2 DESBASTE E PERFILAMENTO.....	43
4.3 PORTA FERRAMENTA.....	44
4.4 REBARBAÇÃO.....	45
4.5 TORNEAMENTO DE POLÍMERO.....	46
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	50
REFERÊNCIAS.....	51
APÊNDICE 1 – CÓDIGOS NC.....	55
APÊNDICE 2 – DESENHOS TÉCNICOS.....	66

1 INTRODUÇÃO

O grupo de materiais conhecido como polímeros representa uma vasta gama de compostos que possuem como característica comum sua estrutura molecular, formada por múltiplas cadeias de hidrocarbonetos (CALLISTER e RETHWISCH, 2015). Estes polímeros podem ser divididos em dois grupos, aqueles de origem natural (derivado de plantas e animais) como por exemplo, madeira, borracha, algodão, couro e aqueles sintéticos (monômeros orgânicos misturados com aditivos e moldados em formas específicas) que representam grande parte dos plásticos, borrachas e fibras utilizadas no cotidiano (KREITH, IDOL e LEHMAN, 1999).

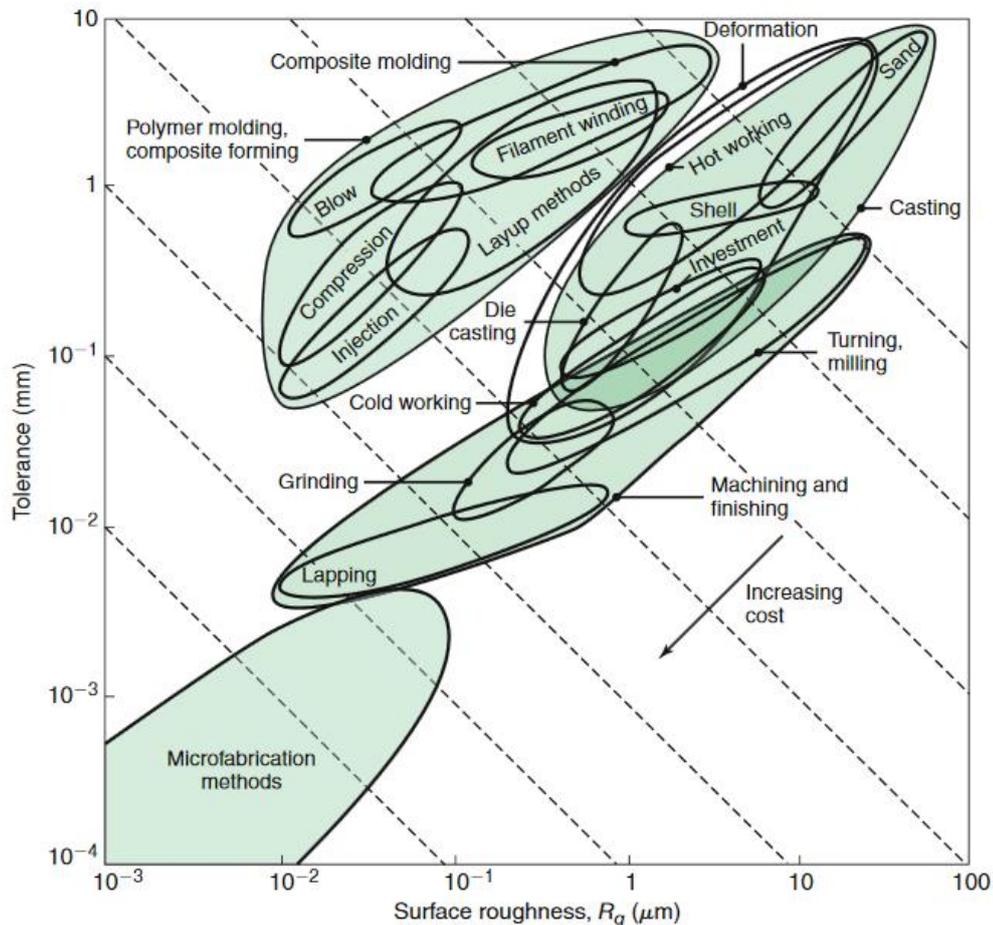
Há um interesse crescente por parte da indústria na adoção de polímeros em substituição de materiais convencionais devido as múltiplas vantagens que estes compostos fornecem na redução de custos. Em termos gerais, quando comparado com materiais tradicionais como bronze, aço e ferro fundido, polímeros apresentam: menor peso; ausência de corrosão; redução de desgaste sem necessidade de lubrificação externa; redução de ruído; isolamento térmico e elétrico (MITSUBISHI CHEMICAL, 2007). Observa-se, portanto, uma crescente demanda do mercado por estes materiais e conseqüentemente a necessidade do desenvolvimento de estratégias de fabricação capazes de explorar ao máximo as propriedades destes compostos.

1.1 JUSTIFICATIVA

De modo similar ao aço, a facilidade de fabricação dos polímeros permitiu que uma grande variedade de métodos fosse desenvolvida. Atualmente os processos mais comuns no mercado são: extrusão (incluindo métodos de manufatura aditiva i.e. impressão 3D), injeção, conformação e sinterização. Porém, ao contrário do aço, ao observar o mercado e as publicações feitas até o momento nota-se que o campo da usinagem de polímeros é pouco explorado e ainda muito é desconhecido sobre sua viabilidade e características. Isto se dá, em parte, pelas demandas do mercado: a produção de peças poliméricas é em geral em larga escala (grande volume) portanto processos como injeção e extrusão se tornam mais econômicos. Adicionalmente, a questão da temperatura deve ser considerada.

Polímeros termoplásticos degradam irreversivelmente quando expostos a temperaturas elevadas, enquanto polímeros termofixos podem trincar ou fraturar diante de esforços elevados (CALLISTER e RETHWISCH, 2015). Observa-se então um *gap* na aplicação de polímeros na indústria pois, conforme pode se observar na FIGURA 1, em casos onde se é desejado maior controle dimensional, o processo recomendado dentro os mencionados ainda é a usinagem (KALPAKJIAN e SCHMID, 2010).

FIGURA 1 – COMPARATIVO DAS TOLERÂNCIAS E RUGOSIDADES OBTIDAS EM PROCESSOS DE FABRICAÇÃO



FONTE: Manufacturing Engineering and Technology (2010), adaptado de M.F. Ashby, Materials Selection in Design (1999).

LEGENDA: Linhas pontilhadas indicam fatores de custo, crescente na direção da seta, proporcional ao aumento da precisão de tolerância e acabamento superficial.

Este empecilho, porém, vem sendo reduzido com o desenvolvimento de materiais poliméricos avançados com resistência elevada ao impacto como o

UHMWPE¹ (CALLISTER e RETHWISCH, 2015) e há casos onde a usinagem é inclusive necessária no pós processamento como é o caso do CFRPs², outrora não seria possível garantir tolerâncias dimensionais e de rugosidade na peça final (CHE, SAXENA, *et al.*, 2014).

Já existem estudos detalhando o processo e parâmetros necessários para a usinagem de alta precisão de polímeros (CARR e FEGER, 1993) e usinagem em condições controladas de temperatura (KAKINUMA, KIDANI e AOYAMA, 2012) porém pouca literatura há disponível sobre a usinagem simples com ferramental comercial, as quais geralmente possuem processo e parâmetro de fabricação confidencial. Conforme Fernandes, Corrêa, *et al.* (2007), muito do que se conhece hoje sobre usinagem de plásticos industriais é obtido empiricamente através da experiência e *know-how* de empresas especializadas neste tipo de usinagem.

Observa-se que ao se utilizar ferramental e parâmetros da usinagem de metais para usinagem de polímeros, há formação irregular de cavaco e baixo acabamento superficial na peça final, devido em grande parte, a deformação e “embolamento” deste cavaco sobre o conjunto (COSTA, ATHAYDE e ALENCAR, 2017).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é, portanto, desenvolver o projeto e protótipo de um inserto (pastilha) e correspondente porta ferramenta (cabo) para usinagem de materiais poliméricos e em seguida realizar uma usinagem de teste. Este conjunto ferramenta será fabricado utilizando métodos convencionais de remoção de material em torno CNC e Centro de Usinagem disponíveis no laboratório da universidade.

¹ Ultra-high molecular-weight polyethylene. Polietileno linear com massa molar extremamente elevada. [...] tem o nome comercial de Spectra. (CALLISTER e RETHWISCH, 2015, p. 515)

² Carbon fiber reinforced polymer. Se trata de um compósito constituído por uma matriz polimérica (e.g. Epoxy) reforçado por uma cobertura de fibra de carbono.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos necessários para concluir o projeto delineado no objetivo geral são:

- a. Projetar a geometria da ferramenta;
- b. Definir o roteiro de fabricação e maquinário necessário para produção do inserto e porta ferramenta;
- c. Determinar a viabilidade do processo;
- d. Investigar a confiabilidade e repetibilidade da geometria do inserto produzido.

1.3 METODOLOGIA

Será aplicado para o desenvolvimento deste projeto a metodologia apresentada por Back, Ogliari, *et al.* (2008) que organiza o andamento de um projeto mecânico em cinco etapas, descritas a seguir:

- a. Projeto Informacional: constitui o planejamento pra a execução do projeto. Nesta etapa se busca revisar a literatura relevante e estudar as alternativas comerciais existentes ao produto que será desenvolvido, com este material serão levantados os requisitos que devem ser atendidos pelas fases posteriores.
- b. Projeto Conceitual: etapa onde se busca encontrar soluções para os requisitos e problemas levantados. Com o auxilio de ferramentas de análise, de maneira abstrata.
- c. Projeto Preliminar: nesta fase deverá ser desenvolvido o protótipo da solução estudada na etapa anterior, levando em conta suas dimensões e materiais, assim como o aspecto econômico do projeto.
- d. Projeto Detalhado: etapa onde será apresentado o modelo final da solução encontrada, assim como o detalhamento final de suas funções, desenhos técnicos, materiais e detalhes de fabricação. Todos os recursos necessários para a produção da solução deverão ser descritos nesta etapa.

- e. Construção e Testes: por fim será construído um protótipo da solução apresentada no projeto detalhado. Testes serão realizados para validar o atendimento de requisitos e podem haver modificações dependendo dos resultados obtidos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Esta seção busca apresentar os conceitos relativos a ferramentas de corte, conforme apresentados na literatura relevante, de modo a fundamentar o presente trabalho. O objetivo desta revisão bibliográfica é dar base às decisões que serão tomadas durante o projeto e posterior discussão dos resultados.

2.1 TERMINOLOGIA DAS FERRAMENTAS DE CORTE

Tendo em vista que a teoria e o estudo de ferramentas de corte é extensa e bem compreensiva e levando em conta que o foco deste trabalho não é discutir esta teoria e sim por em prática conceitos relativos a um grupo destas ferramentas, nesta seção serão discutidos apenas os termos relevantes cujo entendimento é necessário para compreensão do trabalho, conforme definidos na norma internacional ISO 3002-1 (1982) com última revisão em 2018.

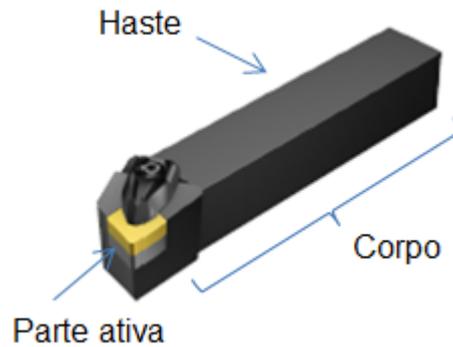
2.1.1 Elementos da Ferramenta

Corpo da ferramenta representa a parte onde estão assentadas as lâminas ou pastilhas de corte (no caso da utilização de insertos) ou onde serão produzidas as arestas cortantes (e.g. brocas).

Haste da ferramenta se trata da parte pela qual a ferramenta é fixada ao maquinário de usinagem e por onde pode ser segurada, possui função de dar rigidez ao sistema e facilidade de operação em diferentes equipamentos.

Partes ativas é o termo utilizado para definir as partes funcionais ou cortantes da ferramenta e que compreendem os elementos produtores de cavaco. No caso de ferramentas multicortantes, cada dente tem uma parte ativa (STEMMER, 1993).

FIGURA 2 – ELEMENTOS DA FERRAMENTA



FONTE: O autor. Adaptado de Sandvik (2015).

2.1.2 Superfícies da ferramenta

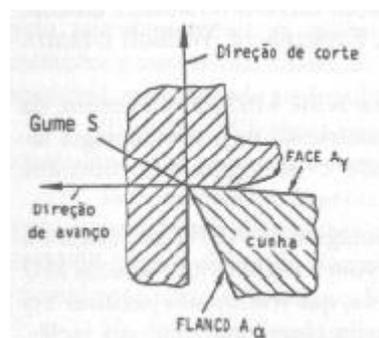
Conforme definidas por Stemmer (1993), são representadas pela letra “A” seguida de um sufixo relativo à superfície indicada.

Face (A_γ) representa a superfície por onde o cavaco escoa (“superfície de saída” na NBR 6163/80). No caso em que a face é composta por várias superfícies, estas são indicadas como primeira, segunda, terceira, etc. a partir da primeira aresta cortante.

Quebra-cavacos se trata de uma modificação da face A_γ que possui o objetivo de controlar o comprimento e conseqüentemente quebra do cavaco formado durante a usinagem. Pode ser formado por uma ranhura na face ou uma obstrução integral ou postiça.

Flanco (A_α) representa a superfície da parte cortante da ferramenta que esta voltada à superfície a ser usinada da peça. Também denominada superfície ou face de folga conforme a NBR 6163/80.

FIGURA 3 – SUPERFÍCIES DA FERRAMENTA



FONTE: Stemmer (1993).

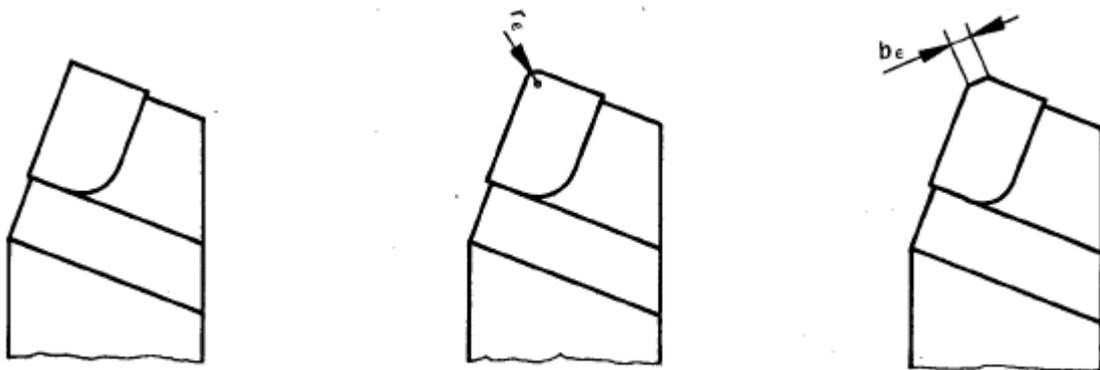
LEGENDA: Vista em corte perpendicular à Face A_γ indicando a localização das superfícies da ferramenta em relação ao material usinado.

2.1.3 Gumes (arestas de corte)

Conforme o nome indica, será uma aresta de corte (gume) aquela que é formada pela face e flanco e possui o objetivo de efetuar o corte. Como apresentado por Stemmer (1993), este gume pode ser separado em **Gume Principal da Ferramenta (S)** e **Gume Secundário da Ferramenta (S')** sendo a diferença entre eles a posição relativa a superfície sendo usinada. O Gume Principal será aquele que realiza primeiro contato com o material e se prolonga até a Quina, onde inicia o Gume Secundário. Este gume pode ser ainda denominado “ativo” dependendo de seu engajamento no corte. O Gume Principal pode ser observado na vista em corte apresentada na FIGURA 3.

Quina (“ponta de corte” conforme NBR 6163/80) será a parte da ferramenta onde ocorre o encontro do Gume Principal e Secundário. Esta quina pode ser curva (quina arredondada), reta (quina chanfrada) ou um ponto. A geometria usualmente aplicada no ferramental comercial³ é a arredondada, possuindo um raio de quina (r_ϵ) determinado dependendo do tipo de aplicação e material.

FIGURA 4 – DIFERENTES CONFIGURAÇÕES DE QUINA



FONTE: ISO-3002-1 (1982), adaptado.

LEGENDA: Em ordem, da esquerda para direita, quina em ponto, curvada e chanfrada.

2.2 ÂNGULOS DE TRABALHO E DA FERRAMENTA

Uma vez definida as faces e arestas responsáveis pelo corte, é necessário discorrer sobre os ângulos que permitem esses elementos se relacionarem. Durante

³ Conforme observado em catalogo (SANDVIK COROMANT, 2015)

o projeto de uma ferramenta, três ângulos de maior influência são os ângulos de posição, folga e saída.

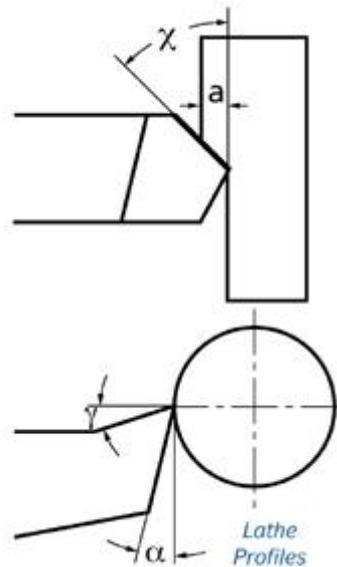
Ângulo de Direção do Gume da Ferramenta (ângulo de posição) (k_r) representa o ângulo entre o plano de trabalho, perpendicular ao eixo da ferramenta, e o plano do gume, tangente à aresta de corte.

Ângulo de Saída Normal da Ferramenta (γ_n) é o ângulo formado entre a face A_γ e o plano de referência da ferramenta (horizontal, paralelo a superfície superior da haste).

Ângulo de Incidência da Ferramenta (ângulo de folga) (α_n) é o ângulo entre o flanco (A_α) e o plano que passa pelo gume da ferramenta.

A FIGURA 5 indica estes ângulos em uma ferramenta hipotética onde o ângulo de direção k_r está representado como X .

FIGURA 5 – ÂNGULOS DA FERRAMENTA EM TORNEAMENTO



FONTE: Plasticmag (2006).

2.3 QUEBRA-CAVACOS

Conforme descrito anteriormente, quebra-cavaco representa qualquer modificação na face A_γ que possua o objetivo de alterar a direção ou quebrar o cavaco formado pela usinagem. Para este projeto pretende-se estudar quebra-

cavaco do tipo ranhura ou obstrução integral e, portanto, é necessário definir as seguintes grandezas, conforme descritas por Stemmer (1993) e ilustradas na abaixo:

Distância do Quebra-Cavacos (l_{Bn}) é a distância total entre um ponto qualquer no gume principal e um ponto na extremidade mais distante do quebra-cavacos na ferramenta.

Ângulo do Quebra-Cavacos (ρ_{BY}) representa o afastamento do quebra-cavacos do gume principal da ferramenta, medido entre um ponto no gume e a projeção sobre a face A_γ da aresta de topo ou traseira do quebra-cavacos.

Raio da Ranhura do Quebra-Cavacos (r_{Bn}) é o raio nominal da ranhura, medido no plano normal ao gume.

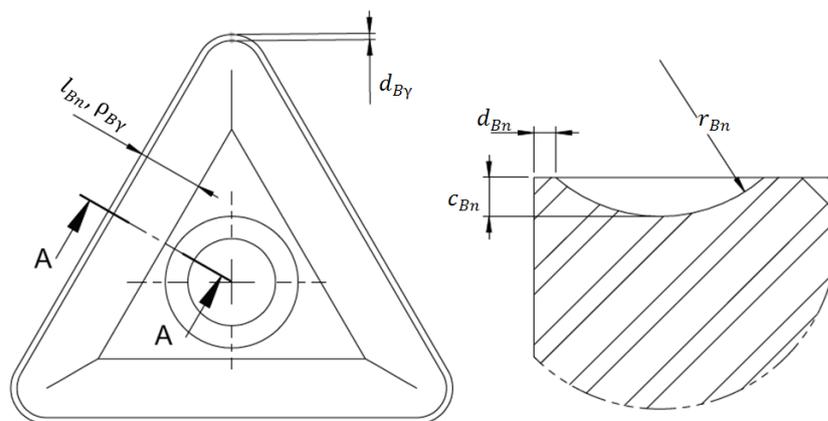
Profundidade da Ranhura do Quebra-Cavacos (c_{Bn}) representa a profundidade máxima do quebra-cavacos do tipo ranhura, medida no plano normal ao gume, a partir da face A_γ .

Largura do Friso do Quebra-Cavacos (d_{Bn}) é a menor distância entre um ponto no gume principal e o ponto formado pela intersecção do quebra-cavacos tipo ranhura com a face A_γ , medido no plano normal ao gume.

Distancia do Quebra-Cavacos da Quina da Ferramenta (d_{BY}) é a medida entre um plano tangencial ao extremo do quebra-cavacos e um plano tangencial a quina da ferramenta, ambos perpendiculares ao plano do gume principal e ao plano de referência da ferramenta (horizontal).

FIGURA 6 – FERRAMENTA COM QUEBRA-CAVACOS DO TIPO RANHURA

CORTE A-A



FONTE: O Autor (2021)

LEGENDA: Observa-se que como a ranhura é simétrica, os valores de d_{BY} e d_{Bn} são equivalentes e o ângulo ρ_{BY} é de 180° .

2.4 INFLUÊNCIA DOS ÂNGULOS DA FERRAMENTA

Dentre as maneiras de otimizar a usinagem para o material e condições de trabalho desejadas, uma delas está diretamente relacionada à geometria da ferramenta e se trata da modificação dos ângulos das faces e arestas ativas. Muito se desenvolveu em ensaios e na literatura ao longo dos anos de modo a permitir que hoje sejam projetadas ferramentas especialmente desenvolvidas para a usinagem de certas classes de materiais. As propriedades dos ângulos relevantes são discutidos a seguir.

2.4.1 Ângulo de incidência (de folga) (α_n)

Conforme Stemmer (1993), é o primeiro ângulo a se considerar. Possui como principal função reduzir o atrito entre a superfície da peça sendo usinada e o flanco (face de folga), permitindo livre movimentação do gume, onde de fato ocorre o corte. Um ângulo muito pequeno irá reduzir a penetração do gume no material, gerando atrito, aquecimento, desgaste da ferramenta e mau acabamento. Enquanto um ângulo muito grande irá gerar rápido desgaste da ferramenta ou até fratura devido a falta de apoio no material.

A determinação deste ângulo é, em termos gerais, dependente de dois fatores:

- a) Resistência do material da ferramenta;
- b) Resistência e dureza do material da peça a ser usinada.

Estas grandezas se relacionam de maneira direta com o ângulo, ou seja, ferramentas manufaturadas com materiais mais resistentes admitem ângulos maiores uma vez que absorvem melhor os esforços, da mesma forma que materiais de menor resistência como, por exemplo, o objeto de estudo deste trabalho, os polímeros, podem ser usinados com ângulos elevados sem que ocorra muito desgaste da ferramenta.

A TABELA 1 indica a faixa de ângulos recomendada para usinagem com ferramental produzido a partir de diferentes materiais.

TABELA 1 – ÂNGULOS DE INCIDÊNCIA RECOMENDADOS NO TORNEAMENTO

Material a ser cortado	Ferramentas de		
	Aço rápido Graus	Ligas fundidas Graus	Metal duro Graus
Alumínio Fundido	12-14	10-12	8-10
Bronze de Alumínio	10-12	8-10	7-9
Bronze de Manganês	9-11	7-9	6-8
Bronze Fundido	10-12	8-10	7-9
Latão	8	9	10
Ferro Fundido			
Macio (170 Brinell)	8-10	7-9	6-8
Médio (250 Brinell)	7-9	6-8	5-7
Duro (400 Brinell)	5-7	4-6	3-5
Coquilhado	3-5	2-4	2-4
Maleável	7-9	6-8	5-7
Cobre	10-12	8-10	7-9
Monel	8-10	7-9	6-8
Magnésio (Fundido)	12-14	10-12	8-10
Plásticos	14-16	11-13	9-11
Aços			
ABNT 1020	9-11	7-9	6-8
ABNT 1040	8-10	7-9	6-8
ABNT 1095 ou 52100	7-9	6-8	5-7
ABNT 2340	7-9	6-8	5-7
ABNT6150	7-9	6-8	5-7
Beneficiado (HB 350)	6-8	5-7	4-6
Inoxidável	7-9	6-8	5-10

FONTE: Stemmer (1993).

2.4.2 Ângulo de saída do cavaco (γ_n)

Se trata do ângulo que possui maior influência na força e potência necessária para o corte, no acabamento superficial e no calor gerado (STEMMER, 1993). Através do estudo da usinagem com diferentes ângulos, concluiu-se que a facilidade da remoção do cavaco está diretamente relacionada com o aumento do ângulo de saída e que o dimensionamento deste depende de quatro fatores principais, são estes:

- Resistência do material da ferramenta;

Analogamente ao ângulo de incidência (folga), ferramentas manufaturadas com materiais mais resistentes poderão conter ângulos maiores uma vez que suportam os esforços elevados que sofrerão.

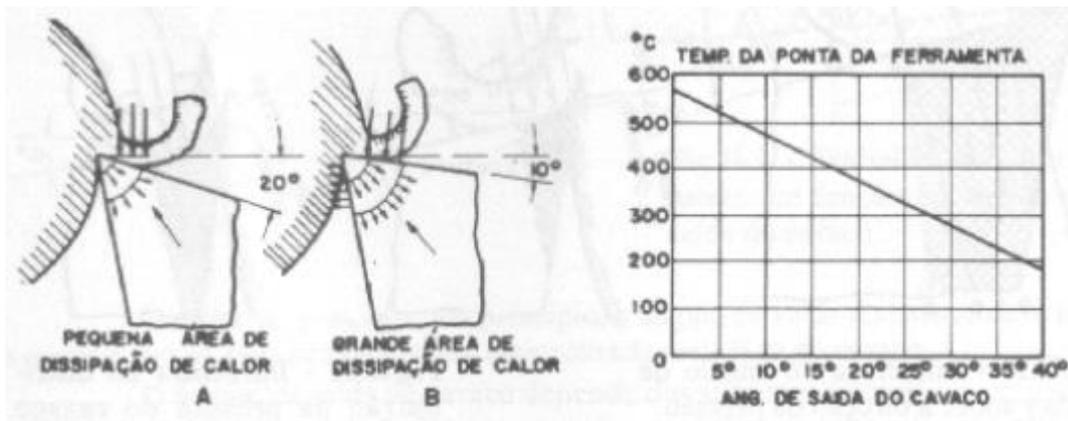
- Resistência e dureza do material da peça a ser usinada;

Por via de regra, materiais duros (maior resistência à compressão) exigirão ângulos de saída menores quando comparados a materiais macios devido as maiores pressões que exercerão na ferramenta (STEMMER, 1993). Há, entretanto, exceções onde materiais macios irão requerer pequenos ângulos de saída. Isto se da pelo comportamento do cavaco de tais matérias, que possui a tendência de enrolar ao redor da peça e, caso não controlado, danificar a superfície já usinada.

- Quantidade de calor gerado pelo corte;

Materiais que geram calor em demasiado ao serem usinados irão requerer ângulos de saída menores, de modo a distribuir melhor esse gradiente de temperatura ao longo da ferramenta. De contrário, pode haver mudança de fase do gume ou fratura por fadiga térmica.

FIGURA 7 – CORRELAÇÃO ENTRE O ÂNGULO DE SAÍDA E A TEMPERATURA NA QUINA



FONTE: Stemmer (1993).

- Aumento da velocidade de avanço.

De maneira lógica, avanços elevados irão resultar em cortes mais pesados, com mais energia envolvida e portanto, desta forma, irão requerer ângulos menores para melhor distribuir estes esforços.

A TABELA 2 a seguir indica alguns ângulos de saída recomendados para usinagem com ferramental produzido a partir de diferentes materiais.

TABELA 2 – ÂNGULOS DE SAÍDA RECOMENDADOS NO TORNEAMENTO

Material a ser cortado	Ferramenta de		
	Aço rápido Graus	Ligas fundidas Graus	Metal duro Graus
Alumínio Fundido	20-30	15-25	0-20
Bronze de Alumínio	15-20	10-15	6-12
Bronze de Manganês	10-16	8-14	4-10
Bronze Fundido	15-20	10-15	6-12
Ferro fundido			
Macio (170 Brinell)	12-18	10-16	6-12
Médio (250 Brinell)	10-15	7-12	4-9
Duro (400 Brinell)	5-10	2-7	0-5
Coquilhado	-3- +5	-5- +2	-10- 20
Maleável	10-15	7-12	5-10
Ligado	10-15	7-12	5-10
Cobre	20-30	15-25	10-20
Monel	10-15	7-12	4-9
Magnésio (Fundido)	25-35	20-30	15-25
Plásticos	20-35	15-30	10-25
Aços			
ABNT 1020	15-25	12-20	18-15
ABNT 1040	12-20	8-16	6-12
ABNT 1095 ou 52100	10-15	7-12	4-8
ABNT 2340	10-15	7-12	4-8
ABNT 6150	8-14	5-10	3-7
350 Brinell ou mais	5-10	0-6	0-4
Inoxidável	8-10	8-15	-7- +4
De corte livre	10-15	7-12	5-10
Encruáveis p/usinagem	5-12	3-8	0-5

FONTE: Stemmer (1993).

2.4.3 Ângulo de direção do gume da ferramenta (ângulo de posição) (k_r)

Para Stemmer (1993, p. 64), este ângulo possui as seguintes funções e vantagens:

- Distribuir as tensões de corte favoravelmente no início e no fim do corte;
- Diminuir a espessura do cavaco e aumentar o comprimento atuante do gume;
- Aumentar o ângulo de quina (ϵ_r), aumentando sua resistência mecânica e dissipação do calor;
- Produzir uma força passiva na ferramenta, o que ajuda a eliminar eventuais vibrações;

e) Influenciar a direção de saída do cavaco.

Sendo assim, deve-se levar em consideração não apenas a composição da matéria-prima sendo usinada como também a geometria que será produzida. Usualmente, para operações de faceamento são recomendados ângulos de 90°, 91° e 75°. Já para torneamento, recomenda-se valores entre 45° e 95° (SANDVIK COROMANT, 2015), variando de acordo com o inserto utilizado e os requisitos da peça usinada. Em outras palavras, o arranjo deste ângulo em conjunto com o ângulo de ponta do inserto, devem permitir que a ferramenta manobre toda a superfície da peça, realizando os diversos diâmetros e chanfros que se deseja usinar.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A seção a seguir busca demonstrar os materiais considerados para trabalho e o processo de projeto e planejamento utilizado para a produção da ferramenta de usinagem proposta.

3.1 MATÉRIA-PRIMA

3.1.1 AISI D6

Para a fabricação do inserto será utilizado o aço AISI D6 (DIN X210CrW12), uma classe de aço ferramenta para trabalho a frio, amplamente aplicado na fabricação de instrumentos de corte devido a sua grande estabilidade dimensional (VILLARES METALS, 2009). Conforme o fornecedor, esta classe de aço apresenta alta resistência mecânica e boa tenacidade. A adição de tungstênio (W) confere ao aço uma alta resistência ao desgaste e boa retenção de corte.

O QUADRO 1 apresenta a composição química deste aço em estado comum de fornecimento (recozido com dureza máxima de 250HB).

QUADRO 1 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA AÇO D6 (EM wt%)⁴

C	Cr	W	V	Fe
2,10	11,5	0,70	0,15	balanço

FONTE: Adaptado de Villares Metals (2009)

⁴ Quando não especificado, os limites são máximos.

O principal motivador para a seleção do aço D6 para este trabalho foi a utilização prévia do mesmo material pelo LABUSIG UFPR em projeto realizado anteriormente também sobre usinabilidade de materiais poliméricos. Adicionalmente, há a possibilidade de se aproveitar um bloco pré-usinado disponível no laboratório para a construção do porta ferramenta.

3.1.2 SAE 52100

Uma alternativa de matéria prima considerada, o aço ferramenta SAE 52100 (proprietário Villares V52100), de forma similar possui grande aplicação na fabricação de ferramentas para trabalho a frio, ferramentas para repuxo em torno, estampos, punções e ferramentas para extrusão a frio em geral (VILLARES METALS, 2009). O que permite sua aplicação em operações que necessitam alta resistência ao desgaste é seu alto teor de carbono (AÇOVISA, 2014). O QUADRO 2 apresenta a composição química deste aço em estado comum de fornecimento (recozido).

QUADRO 2 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA AÇO V52100 (EM wt%)⁵

C	Mn	Cr	Si	Fe
1,00	0,35	1,45	0,25	balanço

FONTE: Adaptado de (FAVORIT, 2019)

A vantagem na seleção de utilização do aço V52100 sobre o D6 está relacionada com o tratamento térmico, caso fosse necessário, recomendado após a usinagem do inserto. Este tratamento possui como objetivo aliviar as tensões existentes na ferramenta usinada. O tratamento recomendado para o aço D6 inclui tempera com resfriamento em óleo, banho de sal fundido ou ao ar (VILLARES METALS, 2009) enquanto o aço V52100 pode ser resfriado em água (AÇOVISA, 2014).

⁵ Quando não especificado, os limites são máximos.

3.1.3 AISI 1045

Para a fabricação do porta ferramenta, segmento da ferramenta de usinagem composta pela haste, com função de acomodar o inserto (pastilha) uma alternativa considerada se trata do aço carbono comum AISI 1045 (SAE 1045). O QUADRO 3 apresenta a composição química deste aço em estado comum de fornecimento.

QUADRO 3 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA AÇO AISI 1045 (EM wt%)⁶

C	Mn	P	S	Fe
0,45	0,75	0,040	0,050	balanço

FONTE: Adaptado de Favorit (2021)

Uma vez que este componente não sofrerá esforços mecânicos nem possui superfícies ativas de corte, o aço AISI 1045 é um bom candidato devido ao à fácil usabilidade e grande disponibilidade no mercado, à baixo custo (FAVORIT, 2021).

3.1.4 POLIPROPILENO

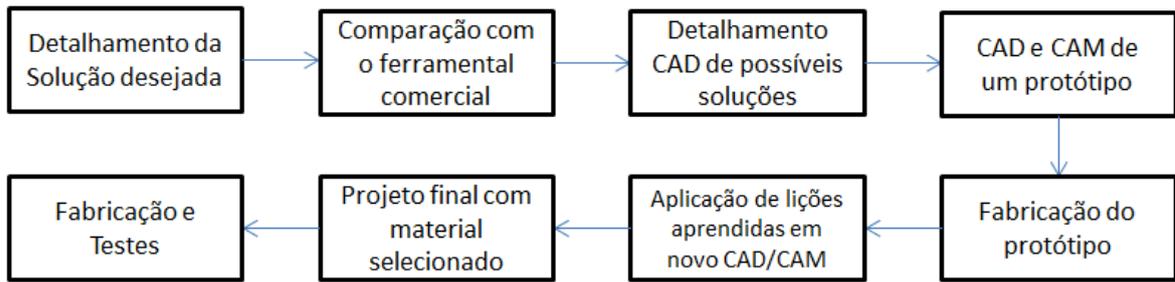
Selecionado como o polímero para os ensaios, o polipropileno (PP) (C_3H_6)_n é um termoplástico de grande aplicação no dia-a-dia devido a sua fácil fabricação, atoxicidade e por ser antiaderente. Adicionalmente, se trata de um bom candidato para ensaios uma vez que seu comportamento mecânico se assemelha ao do polietileno e do polipropileno de alto impacto (HIPS), amplamente utilizados na indústria mecânica (Neuplast, 2018).

3.2 PROJETO CONCEITUAL E PRELIMINAR

Segundo Back, Ogliari, et al. (2008) durante o projeto conceitual e preliminar, se busca determinar o princípio da solução e delinear suas funções e modo de operação. Em seguida se apresenta um protótipo resultante desta análise. Para este projeto, foi determinado o seguinte workflow de trabalho apresentado na FIGURA 8.

⁶ Quando não especificado, os limites são máximos.

FIGURA 8 - WORKFLOW DO PROJETO



FONTE: O autor (2021).

Nesta seção se buscará atingir os objetivos (a) e (b) dos objetivos específicos deste trabalho, apresentados na seção 1.2.2.

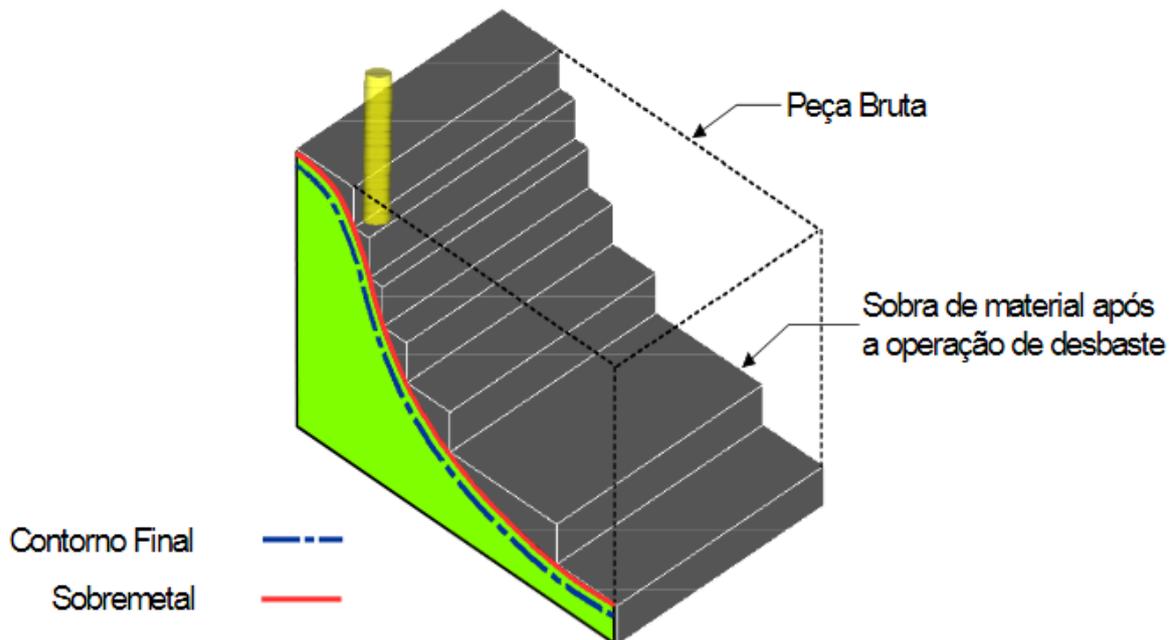
3.2.1 Geometria Inicial

De início, para a realização deste trabalho, considerou-se duas alternativas de fabricação da ferramenta de corte: (a) projeto de um conjunto inserto/porta ferramenta ou (b) projeto de uma ferramenta monocortante, onde as superfícies ativas de corte estão inclusas em um único elemento que também funciona como haste.

A motivação para a seleção da alternativa (a) se deve ao melhor acabamento superficial obtido quando considerado os métodos de fabricação disponíveis. Conforme observado em trabalho similar realizado pelo LABUSIG⁷, no qual foram fabricadas ferramentas monocortantes, para construção da superfície do flanco com o ângulo desejado foi necessário o emprego do método de “usinagem em escada”. Esta estratégia de remoção de material por interpolação representa, como o nome sugere, múltiplas passadas de uma fresa sobre o componente, gerando uma superfície angulada que aparenta ser plana em escala macrométrica porém na realidade composta de diversos planos. Para uma ferramenta de usinagem isto não é recomendado uma vez que a região que realiza o corte pode estar ou não com o ângulo desejado dependendo da situação de operação. A FIGURA 9 exemplifica essa situação onde uma superfície de geometria curvada é usinada com uma ferramenta vertical com apenas 3 graus de liberdade.

⁷ avaliação da influência da geometria de ferramenta na usinabilidade de materiais poliméricos (2019)

FIGURA 9 - SUPERFÍCIE PRODUZIDA POR MÚLTIPLOS PASSES “EM ESCADA”



FONTE: Capla (2006)

Adicionalmente, a opção pela fabricação de insertos/porta ferramentas permite maior longevidade operacional, uma vez que este sistema pode possuir múltiplas superfícies de corte e o desgaste operacional ocorre apenas no inserto. Os pontos negativos desta opção, porém, é a maior complexidade na fabricação e a necessidade de construir múltiplos conjuntos para estudar diferentes ângulos.

Múltiplos conjuntos se fazem necessários devido à compatibilidade que o porta ferramenta deve possuir com o inserto. Um inserto que possui ângulo de incidência de e.g. 7° deve ser acomodado em um porta ferramenta com uma superfície preparada que represente o negativo deste ângulo. Esta é a única maneira de existir alinhamento perfeito e de contrário poderá haver vibração durante a usinagem ou ainda desgaste precoce do inserto devido à má distribuição de tensões.

3.2.2 Pesquisa de Mercado

Com isso em mente, buscou-se soluções comerciais já existentes que permitissem a intercambiabilidade de insertos. Uma alternativa de destaque se encontra ilustrada na FIGURA 10 e descrita a seguir.

FIGURA 10 - FERRAMENTA MODULAR PRIMeturning SANDVIK



FONTE: Sandvik (2015)

O sistema *Primeturning* da fabricante Sandvik possui um conceito novo de usinagem em duas direções, onde o mesmo inserto é utilizado em dois sentidos de desbaste com avanços distintos. Esta configuração reduziria a quantidade de insertos necessários para ensaio porém a opção foi descartada devido ao custo elevado e a geração de uma nova variável para estudo que seria a da relação direção do avanço vs. velocidade de avanço. Adicionalmente, para utilizar tal ferramenta, seria necessário uma programação especial em CAM para programar este “retorno” em desbaste.

Apesar disso, alguns dos conceitos aplicados nesta ferramenta podem ser transferidos para o projeto, em especial a geometria da interface entre ferramenta e inserto. Observa-se que há apenas uma superfície de apoio e que as forças resultantes do contato do inserto com o material são transferidas à face lateral devido ao ângulo de saída e fixação do parafuso. Reduzir as faces de contato representa uma simplificação no projeto e fabricação do porta ferramenta, visto que representa uma etapa de usinagem a menos e um envelope externo simplificado.

3.2.3 Seleção do formato do inserto

Como visto, os recursos financeiros e de fabricação também são relevantes para a seleção do material. Conclui-se portanto que a melhor alternativa para o projeto seria a fabricação dos insertos e de porta ferramentas personalizados. Uma vez que o porta ferramenta também será projetado e usinado durante o desenvolvimento do trabalho, através da manipulação de sua geometria será possível reduzir os custos produtivos realizando cortes simples e de fácil execução.

Optou-se pelo projeto de um inserto de geometria triangular. Esta seleção foi realizada por eliminação, baseada na premissa que se trata de uma geometria mais fácil de ser construída que aquelas não inteiramente simétricas (e.g. diamante e rômica), porém, ainda permitindo múltiplas arestas cortantes e diversidade de aplicação, ao contrário do inserto redondo. Constatou-se também que ferramentas com inserto triangulares convencionais acabam tendo melhores resultados na usinagem de polímeros. Como apresenta Vanat e Junior (2014), ao comparar experimentalmente o resultado da usinagem com diferentes insertos comerciais de tipo rômico (CCGT, CCMT, VCMT)⁸ e triangular (TNMG, TNUX), aqueles de geometria triangular obtiveram melhores resultados na formação do cavaco.

FIGURA 11 – MODELOS DE INSERTOS PARA TORNEAMENTO



FONTE: Sandvik (2015)

3.2.4 Fixação do Inserto

Uma redução expressiva no investimento na fabricação já pode ser observada no sistema de fixação do inserto no porta ferramenta. Uma vez que os esforços são baixos, a fixação rígida por parafuso pode ser utilizada. Ao se estudar as recomendações dos fabricantes comerciais constatou-se que estes parafusos e suas respectivas roscas no corpo são padronizados, podendo ser replicados e reutilizados facilmente.

Dos fabricantes pesquisados (Iscar, Sandvik) ambos utilizam em todos os seus sistemas parafusos do tipo Torx®, marca registrada da fabricante Camcar Textron, caracterizado pelo padrão em formato de estrela de 6 pontas em sua “cabeça” que requer uma chave especial para torque. A vantagem e motivo de preferência por estes parafusos em aplicações como a usinagem é devido à menor ocorrência de desgaste durante o torque que essa configuração proporciona quando comparado a outras alternativas i.e. parafusos cruz, Phillips, Allen (ISO 10664, 2014).

⁸ Nomenclatura conforme padrão ISO-13399. (SANDVIK COROMANT, 2015, p. 1222)

Em seus outros elementos, estes parafusos possuem rosca padrão métrica ISO convencional e ângulo de assentamento no inserto variando entre 30° e 60°.

3.2.5 Geometrias do Inserto

Um dos pontos de maior análise durante o projeto preliminar da solução proposta envolve a fabricação das pequenas geometrias que compõe o inserto. Em especial, o maior desafio observado foi na seleção da técnica de fabricação destas geometrias.

FIGURA 12 – FRESA DE PERFIL ANGULAR COM HASTE CILINDRICA



FONTE: O autor (2021)

Para o ângulo de incidência, estudou-se a utilização de fresas angulares cilíndricas especiais (fresas “rabo de andorinha”) que permitem em um único passe perfilar toda a superfície externa já no ângulo desejado. Ao se utilizar destas fresas se evita o problema decorrente da usinagem em rampa, onde a face não possui uma inclinação uniforme. Basta afiar fresas no negativo dos ângulos pretendidos para os insertos, e se elimina essa variável de imperfeição durante a fabricação. Analogamente, para a fabricação do porta ferramenta, pode-se utilizar fresas angulares afiadas no ângulo do inserto a ser produzido. A FIGURA 12 apresenta fresas afiadas sob medida para porta ferramentas de 5° e 7°.

Para a superfície de saída e quebra-cavacos, dois desafios se encontraram presentes, (a) a seleção de uma ferramenta capaz de criar essa geometria no topo da pastilha sem danificar as faces já construídas e sem gerar colisões e (b) garantir a altura e ângulo desejado após conclusão da usinagem deste perfil. Não deve haver rebarbas nem imperfeições.

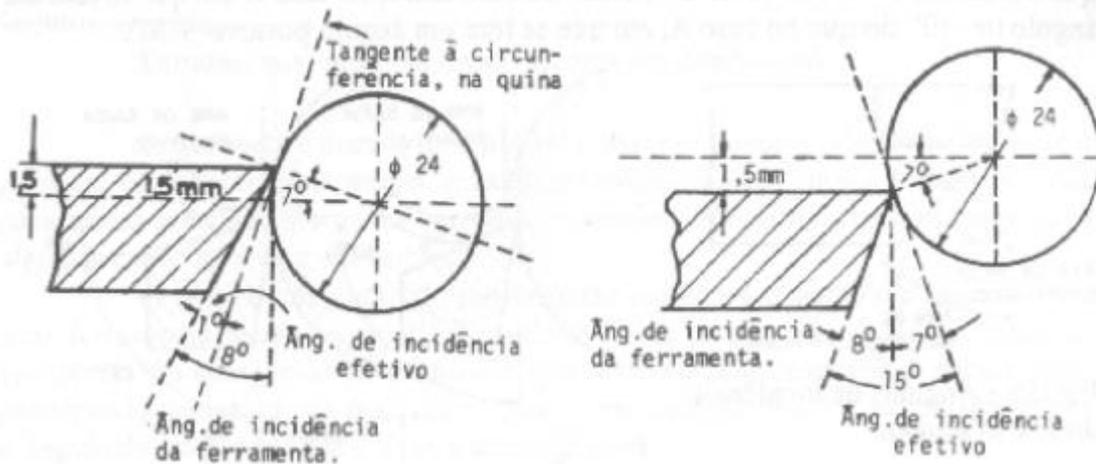
Buscando atender o requisito levantado em (a), se estudou fresas comerciais de topo esféricas. Esta escolha se deu por fatores lógicos, uma vez que

é a única geometria capaz de gerar um rebaixo no topo do inserto sem danificar as faces laterais. Com isso, nota-se também que tanto a superfície de saída quanto o quebra cavaco podem ser construídos na mesma operação. Esta é a solução que mais se aproxima dos insertos comerciais, produzidos por sinterização e metalurgia do pó, onde toda a superfície da ferramenta é contínua.

Para o requisito levantado em (b), diversas soluções foram aplicadas ao projeto. Para garantir que erros decorrentes do processo de fabricação da matéria prima não encadeiem em erros maiores durante o processo, buscou-se trabalhar com barras de matéria prima retificadas, possibilitando paralelismo entre as faces do material que irão se tornar o topo e base do inserto. Adicionalmente, um dos motivos pela opção da usinagem do flanco através de uma fresa angular foi a redução no número de operações durante a fabricação. Conforme é explorado na seção 3.2.8, ao realizar a usinagem do flanco como um dos primeiros passos do processo garante grande precisão geométrica uma vez que o sistema de referência não foi modificado.

A altura final da pastilha é de grande importância uma vez que o desalinhamento do conjunto em relação ao material sendo usinado pode acarretar em esforços demasiados no sistema e baixo acabamento superficial do produto final. Em casos extremos, na operação de faceamento, caso a altura do sistema esteja incorreta e não esteja centrada com a peça, isso afetará o ângulo de incidência. Se a ferramenta ficar abaixo do centro da peça, ocorrerá uma usinagem incompleta, e caso fique acima, ocorrerá demasiado atrito no flanco (STEMMER, 1993). A FIGURA 13 indica essa situação esquematicamente, apresentando a modificação que este desalinhamento faz no ângulo de incidência.

FIGURA 13 – DESALINHAMENTO DO INSERTO



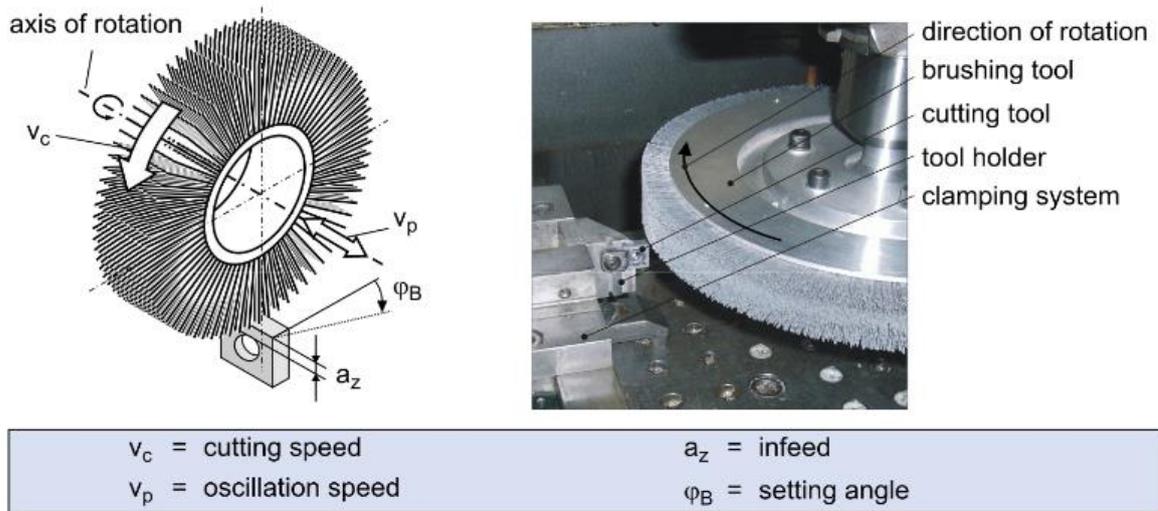
FONTE: Stemmer (1993)

Inevitavelmente, durante o fresamento destas características do inserto, ocorrerá a formação de rebarbas por onde houver remoção de material. Para garantir que o inserto final realize a operação de usinagem com os ângulos e dimensões desejadas, é necessário remover estas rebarbas. Pesquisou-se na literatura diversos métodos de remoção destas rebarbas como ataque químico, ultrassom, eletro-erosão, tamboreamento (*drag finish*) e adoçamento do ângulo via deformação (RAMESH, 2014). Este ponto será aprofundado no item 3.2.6 a seguir.

3.2.6 Remoção de rebarbas

Um dos processos mais viáveis para a remoção de rebarbas estudado se trata do adoçamento de ângulos (*cutting edge honning*) através da deformação plástica da superfície. Uma maneira de relativo baixo custo de realizar este processo é com a aplicação de escovas abrasivas (*abrasive brushing*) (SANTANA, 2015). A remoção da rebarba e o conseqüente arredondamento das arestas pode ser controlado através da modificação da velocidade de rotação da escova em contato com o inserto e a profundidade do contato entre ambos (DENKENA, LEÓN, *et al.*, 2010). A FIGURA 14 apresenta um exemplo de *setup* experimental para o processo.

FIGURA 14 – SETUP DE OPERAÇÃO



Re/58828 © IFW

FONTE: Denkena et al (2010).

Conforme descreve Denkena *et al.* (2010), este processo de preparação do gume é comumente realizado com o emprego de escovas construídas a partir de material polimérico extrudado com 30-40% de micropartículas abrasivas (e.g. SiC, PCD)⁹ adicionadas a sua constituição. A relação entre os parâmetros (velocidade, direção, aproximação) altera a energia cinética sendo transferida pelos filamentos da escova para a aresta de corte do inserto e conseqüentemente modifica a remoção de material, podendo dar ao gume diferente tamanho e forma.

Em seu estudo, Denkena *et al.* (2010) conclui que com uma escova de SiC#240 ($\varnothing=300\text{mm}$) sobre um inserto de metal duro¹⁰, durante uma operação de 28 segundos, com velocidade instantânea nos filamentos de $V_c = 30\text{m/s}$ e penetração $a_z = 1\text{mm}$, obteve-se remoção de $60\mu\text{m}$ de material do gume principal. Para simples remoção de rebarbas e suavização da superfície do gume, estima-se que, utilizando uma escova SiC#240 ou similar os mesmos parâmetros seriam suficientes.

O autor considera que para fins de praticidade, uma maneira simples de realizar esta remoção de rebarbas é fixando a escova no eixo rotativo de um torno manual, sendo assim possível controlar sua velocidade e a manter constante, e com a ferramenta fixada no apoio normal de fixação, realizar a aproximação como de

⁹ *Silicon Carbide* (SiC), carbureto de silício, é um material comumente encontrado em forma pulverizada e utilizado como abrasivo. *Polycrystalline Diamond* (PCD), diamante policristalino, se trata de diamante industrial pulverizado, usualmente empregado ligado a aços para manufatura de ferramentas de corte avançadas.

¹⁰ SNMG-160616-NM9 (WALTER, 201-?)

costume em uma operação normal de usinagem. Deste modo, todos os parâmetros relevantes podem ser controlados e, caso necessário, modificados.

3.2.7 Dimensionamento dos ângulos do Inserto

Com base na literatura levantada, selecionou-se portanto os ângulos para estudo conforme QUADRO 4 apresentado abaixo.

QUADRO 4 – ÂNGULOS DE TRABALHO

Ângulo de incidência (α_n)	Ângulo de posição (k_r)
5°	45°
7°	60°
11°	90°

FONTE: O autor (2021).

Stemmer (1993, p. 54) recomenda para a usinagem de “plásticos” com ferramentas de ligas fundidas, 11-13° para o ângulo de incidência. Entretanto o autor não especifica quais plásticos e uma breve pesquisa em manuais e artigos de múltiplos fabricantes¹¹ presentes atualmente no mercado demonstrou que a abrangência deste ângulo para polímeros é de fato maior, partindo em alguns casos de 5°, corroborando assim a escolha desta distribuição de ângulos (5°, 7°, 11°) para a elaboração deste trabalho.

Para a determinação do ângulo de posição (k_r), uma análise semelhante foi realizada. Com base nas mesmas fontes, observou-se que há maior liberdade para a seleção e que apenas deve ser respeitado o limite superior de 90°. Sendo assim, valores intermediários de 60° e 75° foram selecionados.

O raio de quina utilizado será de $r = 1,6mm$ de modo a facilitar a modelagem CAD. Este valor também atende a faixa sugerida para insertos de desgaste e acabamento conforme padronização observada nos catálogos Sandvik (2015). Adicionalmente, também está dentro do limite recomendado para usinagem de polímeros conforme as publicações pesquisadas (VALENTIM e SILVA, 2007).

¹¹ Catálogos e manuais de fabricação consultados disponíveis nas referências. (PLASTICSMAG, 2006), (CURBELL PLASTICS), (QUADRANT ENGINEERING), (ALRO PLASTICS), (FERNANDES, CORRÊA, *et al.*, 2007).

A determinação do ângulo de saída (γ_n) será desenvolvida durante o projeto detalhado, uma vez que esta superfície será construída através da remoção de material com uma fresa de topo, há diversos graus de liberdade que deverão ser calculados para se obter o valor do ângulo final (diâmetro da fresa, penetração no material, distância do centro). Será entretendo, construído um ângulo que atenda as recomendações das fontes aqui citadas. A TABELA 3 apresentada abaixo contém um compilado das diferentes fontes consultadas pelo autor e busca demonstrar de maneira geral os ângulos indicados para polímeros de maior popularidade no mercado.

TABELA 3 – GEOMETRIAS PARA TORNEAMENTO DE POLÍMEROS

Material Polimérico	Ângulo de incidência (α_n)	ângulo de saída (γ_n)	Ângulo de posição (k_r)	Velocidade de Corte (m/min)	Avanço ¹² (mm/rev)
ABS	5-15°	25-30°	15°	198-500	0,5
Acetal	6-8°	0-10°	0-60°	298-500	0,05-0,5
Nylon	6-15°	0-15°	0-60°	280-500	0,05-0,5
PAI	2-5°	0-5°	7-10°	97-118	0,5
PEEK	6-15°	0-5°	45-60°	200-400	0,05-0,5
PET	5-10°	0-5°	45-60°	298-396	0,5
Polycarbonate	5-10°	6-8°	45-60°	298	0,5
Polyethylene	6-10°	0-5°	45-60°	280-500	0,5
PPS/PC/PEI/PSU	5-15°	0-10°	0-45°	200-400	0,05-0,4
PTFE	10°-15°	0-8°	60°	150-500	0,5
UHMW	15°-25°	0-15°	0-60°	280-500	0,4

FONTE: O autor (2021).

Nota-se grande variedade e distribuição de ângulos entre cada polímero, salientando a ideia que assim como aços, material poliméricos apresentam diferentes características entre si. Com isso em mente, se buscará construir no projeto detalhado um protótipo capaz de trabalhar o maior número de matérias-primas possíveis.

3.2.8 Sequência de Operação

Um esboço da sequência de operações de usinagem para fabricação do projeto encontra-se na TABELA 4 a seguir.

¹² Quando não especificado, os limites são máximos.

TABELA 4 - ROTEIRO DE FABRICAÇÃO GENÉRICO PROPOSTO

Operação	Ferramenta	Fixação
Serrar o tarugo de matéria prima em comprimento adequado para fresamento	Serra disco	-
Facear para remover imperfeições	Fresa de topo	1
Zerar máquina e realizar pré-furo	-	1
Furar \varnothing para passagem do parafuso	Broca	1
Perfilar o envelope externo do inserto	Fresa angular	1
Realizar usinagem do quebra-cavacos	Fresa esférica	
Sangrar inserto do restante do tarugo	Bedame	2
Retificar superfície inferior do inserto	Dispositivo/Retifica/Lima	3
Remover rebarbas	Escova	4

FONTE: O autor (2021).

Observa-se que os pontos críticos da fabricação estão em garantir a precisão do comprimento final do inserto na mudança da 1ª para a 2ª fixação. Visto que compreendem maquinários diferentes, deve-se tentar reduzir ao máximo erros de medição nesta etapa. No pior dos casos, um comprimento maior que o desejado será corrigido durante a retificação na 3ª fixação e as rebarbas da aresta cortante removidas na 4ª fixação, com o inserto já apoiado e fixado no porta ferramentas.

3.2.9 Programação CAM

Para a usinagem dos flancos e da face e quebra-cavacos do inserto, assim como para o perfilhamento dos porta ferramentas, será utilizado o software EdgeCam. Este programa proprietário da Vero Software, é capaz de gerar a sequência de uma usinagem em código NC MACH 9 a partir de geometrias selecionadas e programadas por um usuário em um computador. O software se faz necessário neste projeto devido à programação complexa que a geometria externa do inserto requer, gerar o código manualmente e inseri-lo linha à linha no centro de usinagem seria um processo demorado e sujeito a erros.

De modo a testar a viabilidade do processo, foi realizado uma usinagem piloto. Utilizando um tarugo de diâmetro 31,7mm, com matéria prima de aço SAE 1045, programou-se a usinagem dos flancos sem angulação ($\alpha_n=0^\circ$) e do conjunto face/quebra-cavacos com profundidade de 1 mm.

A usinagem se deu em duas etapas, primeiro no centro de usinagem, Romi Discovery 4022, foi realizado um faceamento e desbaste com fresa de topo (d=20mm) de metal duro para criar o envelope externo triangular e um rasgo com a fresa esférica (d=4mm) de material SAE 12L14 para a criar o perfil de saída e

quebra-cavacos. Adicionalmente, foi realizado um furo central de 7mm para facilitar a segunda etapa. A segunda etapa foi realizada no torno CNC e se tratou da separação do inserto do restante do tarugo. Para isso foi utilizado um bedame Sandvik 151.2-21-40 com inserto h= 4mm. A FIGURA 15 apresenta o inserto piloto obtido.

FIGURA 15 – INSERTO PILOTO PRODUZIDO EM SAE 1045



FONTE: O autor (2021).

Observa-se a presença de rebarbas como esperado do processo e devido a maleabilidade da matéria prima utilizada, porém o ensaio atingiu seu objetivo de comprovar a possibilidade da operação.

3.3 PROJETO DETALHADO

Nesta seção será descrito o resultado de todas as conclusões obtidas ao longo do trabalho, resumidas em um projeto final cujo objetivo é atender aos critérios estudados ao longo das etapas anteriores. Conforme explica BACK, OGLIARI, *et al.* (2008), compõem entregas desta etapa o roteiro de fabricação e desenhos técnicos relevantes. Esta seção busca concluir o objetivo (c) dos objetivos específicos deste trabalho, apresentados na seção 1.2.2.

3.3.1 Dimensionamento do Quebra-Cavacos

Um dos pontos críticos do projeto e que requisitou maior atenção –portanto sua discussão durante o projeto detalhado, se tratou do dimensionamento e fabricação do quebra-cavacos. Uma vez que o objetivo do projeto se trata da fabricação de um inserto utilizando maquinário comercial de fácil aquisição, e tendo

em vista que se optou por utilizar uma fresa esférica para a fabricação da superfície de saída, algumas considerações se fizeram necessárias.

FIGURA 16 – FRESA ESFÉRICA UTILIZADA E VISTA EM CORTE DO INSERTO



FONTE: O autor (2021).

Estudou-se o projeto de um quebra-cavacos do tipo ranhura. Esta opção é sustentada pela relativa facilidade de dimensionamento e grande utilização no mercado (STEMMER, 1993, p. 76). Um ponto de atenção neste tipo de quebra-cavacos, conforme pode ser observado na FIGURA 16, é a posição da fresa esférica em relação ao gume. Caso a ranhura seja construída muito afastada do gume, a superfície de saída (região entre o gume e o quebra-cavacos) resultará obrigatoriamente em uma superfície plana (0°). Enquanto isso não é necessariamente um ponto negativo, uma vez que diversos materiais poliméricos podem ser usinados com superfícies de saída 0° (vide TABELA 3) a ausência deste ângulo não é recomendada, conforme exposto na revisão da literatura, devido aos esforços adicionais e possíveis efeitos negativos no acabamento superficial que causará durante a usinagem.

Sendo assim, estudou-se o projeto de um quebra-cavacos do tipo obstrução integrada, onde o quebra-cavacos é constituído por um rebaixo na própria superfície de saída. Desta forma, é possível obter diferentes ângulos de saída ajustando a profundidade de trabalho da fresa esférica sobre o inserto. Conforme Stemmer (1993, p. 73) os três fatores a se considerar neste rebaixo são: a distância da obstrução, a altura da obstrução e o raio da curvatura de concordância do fundo com a face ativa do quebra-cavacos.

A distância da obstrução não deve ser muito longa uma vez que possuirá função de dobrar o cavaco e conseqüentemente propiciar sua ruptura. O avanço e

profundidade de corte do material possuem influência nesta geometria uma vez que estão diretamente relacionados com o formato do cavaco gerado. A altura da obstrução, por sua vez, auxilia neste dobramento, sendo dimensionada considerando uma fração da distância. Materiais mais elásticos requerem alturas maiores. Por fim, o raio de curvatura é responsável pela união destes dois fatores.

Para o projeto, o dimensionamento foi construído a partir da fresa utilizada, adaptando os valores de corte para as dimensões sugeridas para um inserto com objetivo de usinar polímeros. O detalhamento geométrico encontra-se nos desenhos de fabricação expostos nos apêndices deste trabalho.

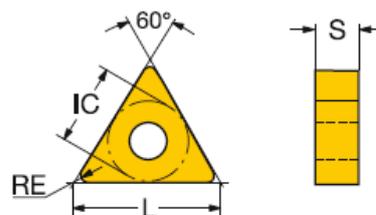
3.3.2 Processo de Fabricação

O processo de fabricação seguiu o roteiro descrito no item 3.2.8. Os porta-ferramentas foram projetados no padrão 20x20x125¹³ de modo a permitir utilização no maquinário disponível na universidade. Os códigos de comando numérico NC gerados com auxílio do EdgeCam e utilizados para a usinagem estão apresentados no Apêndice 1.

3.3.3 Desenhos de Fabricação e Montagem

Para projeto do inserto foi utilizado como referência um inserto genérico Sandvik do tipo médio triangular 60° (TNMG160408-PF), recomendado para desbaste e acabamento de aços em geral. Para o porta-ferramentas, a referência utilizada foi a haste genérica DTGNR/L 2020K 16 adaptada para os ângulos de direção desejados. As propriedades geométricas relevantes deste inserto estão indicadas na FIGURA 17 e seguem padronização conforme ISO-13399 onde $IC = 9,525mm$, $S = 4,76mm$, $Re = 0,8mm$ e $L = 16mm$.

FIGURA 17 – GEOMETRIA DO INSERTO



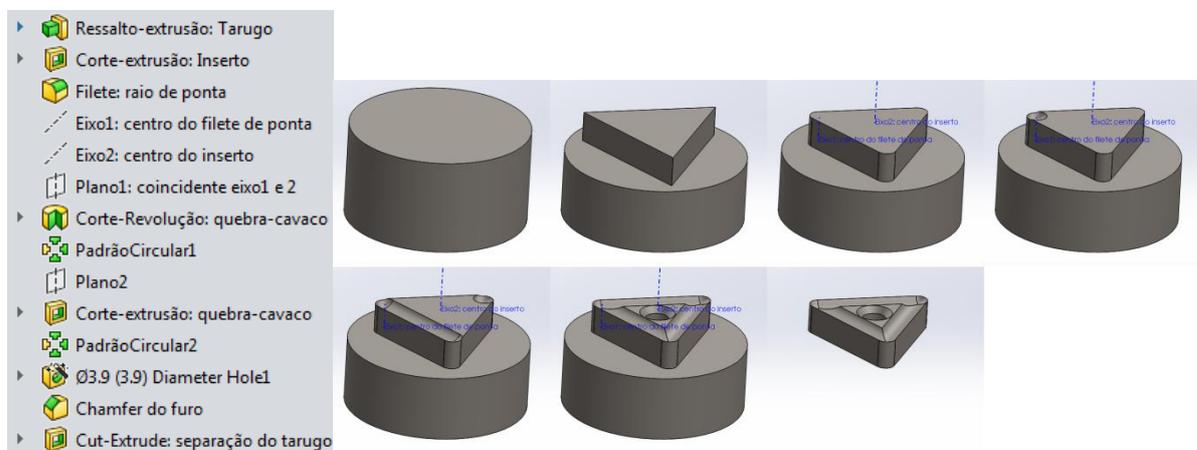
FONTE: Sandvik (2015)

¹³ Largura 20mm x Altura 20mm x Comprimento 125mm.

Para elaboração dos modelos 3D inseridos no *software* EdgeCam e para criação dos desenhos técnicos foi utilizado o *software* SolidWorks. Os desenhos de estudo geométrico elaborados durante o projeto conceitual e preliminar, assim como os desenhos finais de fabricação e montagem estão apresentados no Apêndice 2.

A FIGURA 18 a seguir demonstra a sequência utilizada na modelagem. A ordem dos processos se deu de acordo com a metodologia de Design for Manufacturing onde o componente é modelado considerando sempre a remoção de material.

FIGURA 18 – SEQUENCIA DE MODELAGEM NO SOLIDWORKS



FONTE: O Autor (2021)

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Esta seção busca apresentar os resultados obtidos após a fabricação e operação de um conjunto de usinagem (inserto e porta ferramenta) para a remoção de material de um tarugo de material polimérico. Esta seção conclui o objetivo (d) dos objetivos específicos deste trabalho e assim, pretende dar uma resposta satisfatória para o objetivo geral, apresentado na seção 1.2.

Da mesma forma que realizado para teste do projeto CAM na seção 3.2.9, a usinagem do produto final foi realizada no LABUSIG da UFPR. Foram construídos 4 insertos e um porta-ferramentas. Os respectivos desenhos do projeto estão incluídos no apêndice 2 e o processo de fabricação ocorreu conforme descrito nos itens a seguir.

Devido ao cronograma e complexidade do projeto, para comprovar a repetibilidade e confiabilidade do processo, se optou por realizar a usinagem de insertos apenas com flancos sem angulação ($\alpha_n=0^\circ$). Sugere-se para trabalhos futuros a continuação dos ensaios nas diferentes geometrias estudadas.

FIGURA 19 – MATÉRIA-PRIMA PARA PROTÓTIPO FINAL



FONTE: O Autor (2021)

LEGENDA: Na esquerda, tarugo utilizado para fabricação dos insertos. Na direita, material pré-usinado utilizado para o porta ferramenta.

4.1 PREPARAÇÃO

Utilizando um tarugo de aço AISI D6, diâmetro 31,75mm ($1\frac{1}{4}$ ") previamente serrado com ± 70 mm de comprimento, como visto na FIGURA 19,

realizou-se a primeira fixação no centro de usinagem Romi Discovery 4022. Para remover as imperfeições na superfície resultantes da serra, se realizou uma operação de faceamento com fresa de topo $\varnothing=64\text{mm}$. Em sequência, com um conjunto de broca de centro e broca $\varnothing=5\text{mm}$ se construiu o pré-furo e furo passante do inserto. As ferramentas utilizadas podem ser observadas na FIGURA 20 a seguir.

FIGURA 20 – FERRAMENTAL UTILIZADO



FONTE: O Autor (2021)

LEGENDA: Da esquerda para direita, broca de centro, broca 5mm, fresa esférica, fresa 20mm, fresa 64mm.

4.2 DESBASTE E PERFILAMENTO

Após concluídas estas operações, se realizou com fresa de topo $\varnothing=20\text{mm}$ o desbaste lateral para gerar o perfil externo do inserto. Este desbaste foi simulado e programado no *software* EdgeCam com pós processador MACH 9. Em sequência, utilizou-se uma fresa esférica $\varnothing=4\text{mm}$ e outro programa para construção do perfil do quebra-cavacos e removeu-se a peça para a segunda fixação.

A segunda fixação se deu no torno Mazak Quick Turn Nexus 100-II onde, com utilização de um bedame de comprimento 4mm se realizou o corte do inserto do restante do tarugo.

Estas operações foram então repetidas mais três vezes, totalizando 4 insertos produzidos. As duas primeiras iterações do processo tiveram parâmetros idênticos, com o objetivo de evidenciar a repetibilidade do processo e as iterações posteriores (3 e 4) utilizaram programas ligeiramente diferentes de desbaste do quebra-cavacos, onde se variou a profundidade de corte conforme QUADRO 5.

QUADRO 5 – INSERTOS PRODUZIDOS

Identificador	Profundidade do desbaste	Espessura inicial medida (aprox.)	Espessura final medida (incerteza $\pm 0,01$)
Inserto 1	0,8 mm	4,85 mm	4,76mm
Inserto 2	0,8 mm	4,80 mm	4,75mm
Inserto 3	0,6 mm	4,78 mm	4,76mm
Inserto 4	1,0 mm	4,80 mm	4,75mm

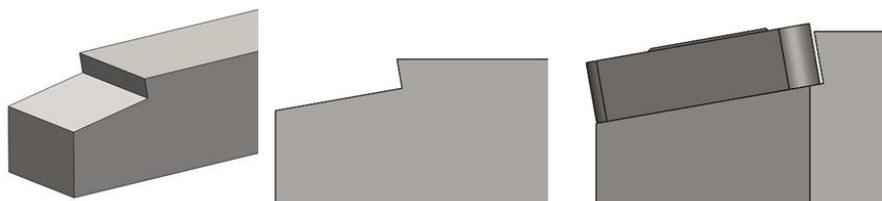
FONTE: O autor (2021).

Realizou-se então a medição da espessura (S) dos insertos com auxílio de um paquímetro. Constatou-se que devido a presença da rebarba na geometria da aresta de corte, esta medição se tornou dificultada. Entretanto, em pontos onde a rebarba se apresentava menos protuberante foi possível obter valores próximos do alvo de $S = 4,76mm$.

4.3 PORTA FERRAMENTA

Concluída a fabricação dos insertos, se realizou o corte do porta ferramenta. Como matéria-prima foi utilizado um bloco de aço AISI D6 previamente retificado de dimensões $20 \times 20,5 \times 124,5 \text{ mm}$. O desbaste do assento para o inserto foi programado no *software* EdgeCam, com pós processador MACH 9, e realizado com fresa de topo $\varnothing=64\text{mm}$ no centro de usinagem Romi Discovery 4022. Uma vez que o inserto protótipo não possui ângulo de incidência, para evitar que os flancos do inserto fiquem em contato com a peça usinada e “raspem” contra a mesma durante operação, o desbaste do assento foi realizado com o material do porta ferramenta levemente inclinado. O resultado portanto é uma superfície inclinada de $\pm 2^\circ$ em relação ao plano da face superior da ferramenta. A FIGURA 21 a seguir ilustra, em uma ferramenta hipotética, esta operação. Observa-se a inclinação que o inserto assume em relação a vertical, e o afastamento do flanco da peça trabalhada.

FIGURA 21 – REPRESENTAÇÃO DO DESBASTE DO ASSENTO EM ESCALA EXAGERADA



FONTE: O Autor (2021)

Em seguida, realizou-se o pré-furo e furo passante que receberá a rosca. Utilizando, portanto, 3 machos de rosca métrica M5x0,8 se construiu a superfície roscada no porta ferramenta.

Por fim, verificou-se as interfaces do produto e corrigiu-se interferências ao realizar a montagem do conjunto (inserto, parafuso e porta ferramenta).

FIGURA 22 – MACHOS DE ROSCA UTILIZADOS



FONTE: O Autor (2021)

4.4 REBARBAÇÃO

A operação de rebarbação foi realizada em torno mecânico Ferrari Universal BV-20, com o emprego de uma escova 3" de nylon grão #80 com abrasivo de óxido de alumínio. Foi aplicada rotação de 1384 rpm à escova e o comprimento da interface inserto x escova foi alternado entre 3 e 4 mm. Esta operação teve duração de ± 30 s por aresta. A montagem do sistema se deu conforme apresentado na FIGURA 23 a seguir. Após finalizado os ciclos de rebarbação nos 4 insertos, se mediu novamente a espessura de cada item e foram obtidos os valores apresentados no QUADRO 5.

FIGURA 23 – SETUP PARA REMOÇÃO DA REBARBA



FONTE: O Autor (2021)

A condição do gume no inserto antes e depois da operação de remoção da rebarba pode ser observada na FIGURA 24 a seguir.

FIGURA 24 – INSERTO nº1 ANTES E DEPOIS DA OPERAÇÃO



FONTE: O Autor (2021)

4.5 TORNEAMENTO DE POLÍMERO

Concluída todas as etapas de fabricação e inspeção, por fim realizou-se o torneamento longitudinal de um tarugo de Polipropileno $\varnothing=56\text{mm}$ de maneira a validar a funcionalidade dos insertos construídos e constatar a influência da profundidade do quebra-cavacos.

De modo a simular um ângulo de incidência na ferramenta, se fez uso de um calço, resultado em uma inclinação lateral de $\pm 5^\circ$ em relação à horizontal.

Realizou-se com cada inserto dois desbastes longitudinais de comprimento 30mm e profundidade de corte 1mm, sob rotação de 255rpm. Primeiro com avanço 0,3mm/rev e em seguida com avanço 0,1mm/rev. O cavaco formado em cada operação pode ser observado nas figuras a seguir.

FIGURA 25 – FORMAÇÃO DO CAVACO EM AVANÇO $f=0,1\text{mm/rev}$



FONTE: O Autor (2021)

LEGENDA: Esquerda: cavaco helicoidal formado pelo inserto 3. Direita: cavaco helicoidal fino formado pelo inserto 1.

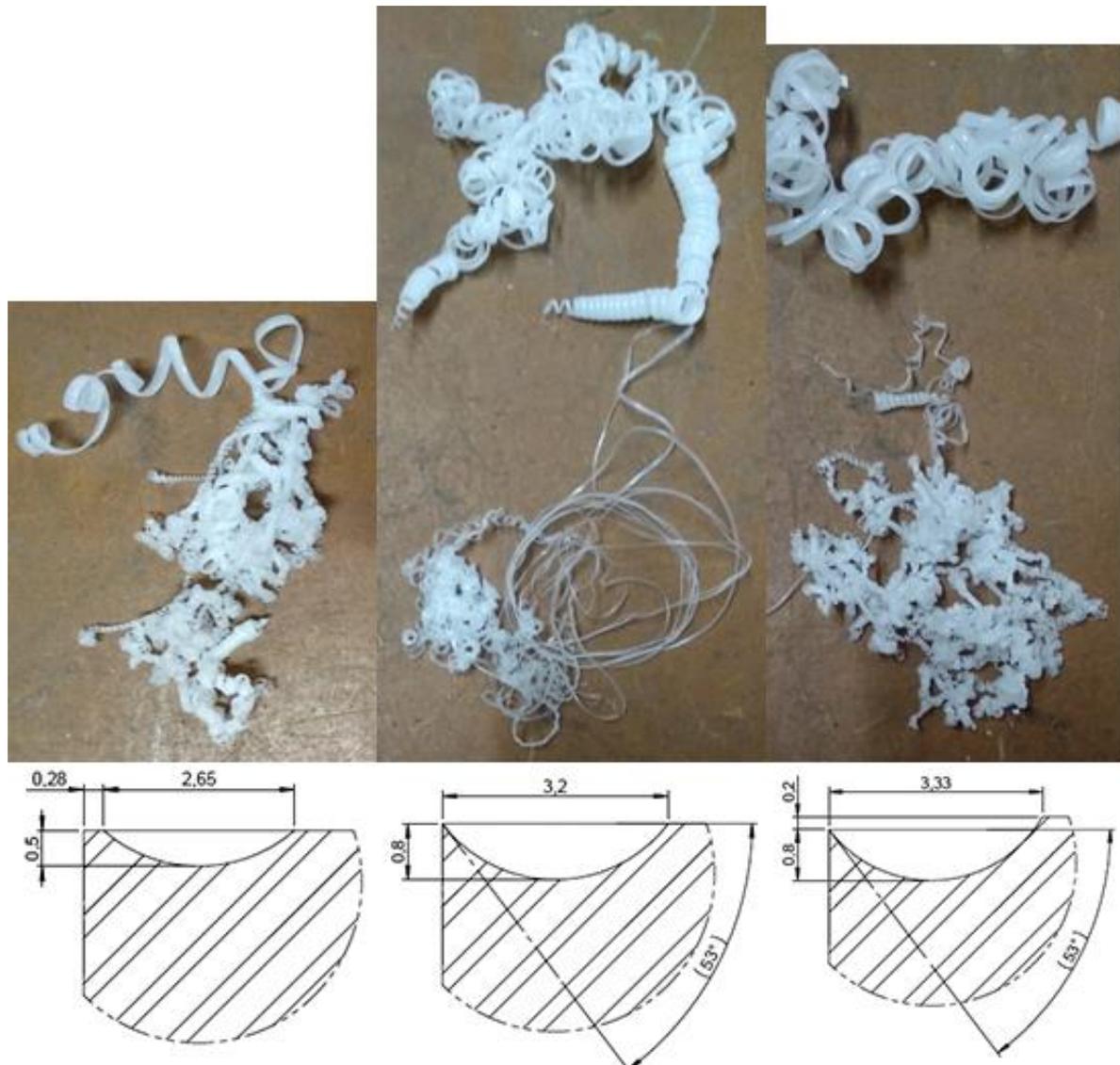
FIGURA 26 – FORMAÇÃO DO CAVACO EM AVANÇO $f=0,3\text{mm/rev}$



FONTE: O Autor (2021)

LEGENDA: Cavaco helicoidal formado pelo inserto 4.

FIGURA 27 – CAVACOS GERADOS EM AMBAS VELOCIDADES DE AVANÇO



FONTE: O Autor (2021)

LEGENDA: Da esquerda para direita: Cavaco formado pelo inserto 3, inserto 1, inserto 4. Em cima, cavaco formado em $f=0,3\text{mm/rev}$, ao centro cavaco formado em $f=0,1\text{mm/rev}$ e embaixo vista em corte do quebra-cavacos correspondente.

Com os testes realizados, constatam-se diversos pontos. De início, confirma-se os objetivos (c) e (d) propostos no início do projeto. Também se prova a viabilidade da produção de insertos para usinagem de polímeros utilizando estes processos e, adicionalmente, prova-se que este processo possui repetibilidade nas tolerâncias solicitadas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para as condições de ensaio utilizadas neste trabalho, conclui-se que:

Como era esperado, nos ensaios com avanço de 0,3mm/ver, o acabamento superficial da peça foi prejudicado e a superfície adquiriu aparência “roscada” devido ao ângulo de ponta.

Destacam-se como pontos positivos da geometria construída o fato do cavaco ser formado na direção paralela a peça e com orientação para a esquerda e para baixo. Isto é resultado do conjunto de ângulos e benéfico para operação pois reduz a chance de enroscamento do cavaco na peça. Em todos os ensaios realizados observou-se apenas enroscamento do cavaco em um caso com o inserto 1 ao se reduzir significativamente o avanço.

Constatou-se também que o cavaco formado possuiu características similares em todos os avanços e geometrias. Observa-se com o auxílio da FIGURA 28 que o cavaco é majoritariamente helicoidal e contínuo (tubular).

Observou-se que a variação da profundidade do quebra-cavacos teve maior influência na espessura do cavaco formado, no comprimento removido até ocorrer o rompimento e no emaranhamento da espiral formada.

FIGURA 28 – COMPRIMENTO DE CAVACO USUAL OBTIDO DURANTE OS ENSAIOS COM O INSERTO 1



FONTE: O Autor (2021)

Na usinagem com o inserto 3 (quebra-cavacos com profundidade 0,6mm e superfície de saída neutra) notou-se que houve menos dobramento do cavaco e

consequentemente menor emaranhamento das fitas, ao contrário do inserto 1 e 4 que favorecem maior dobramento.

Conclui-se, por fim, que os resultados estão condizentes com a literatura estudada e com trabalhos similares pesquisados (VANAT e JUNIOR, 2014).

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Durante a execução deste trabalho, enfrentaram-se alguns desafios que se tornaram lições aprendidas e estão descritas abaixo:

O projeto detalhado e estudos iniciais foram desenvolvidos para insertos de tamanho 16mm ($IC = 9,525mm$), entretanto para o protótipo final, se optou por insertos maiores de tamanho 22mm. O motivo da escolha por um tamanho maior para o protótipo se deu pela maior folga de tolerâncias e pelo fato do inserto de 22mm suportar um quebra-cavacos mais profundo. Uma dúvida que existia antes da construção do protótipo era se a profundidade do quebra-cavacos seria significativa para influenciar no cavaco formado. Adicionalmente, a programação do inserto de 16mm no *software* CAM apresentou diversas inconsistências, sendo necessário revisão do processo repetidas vezes para evitar que o código final não apresentasse erros. Sugere-se para trabalhos futuros, estudar a fabricação dos insertos com 16mm e possivelmente testar o comportamento em outros *softwares* CAM.

Com o objetivo de se reduzir as situações que podem acarretar em perda de tolerâncias dimensionais, se sugere a utilização de uma fresa de disco em substituição ao bedame para realizar a separação do inserto do tarugo durante operação no centro de usinagem, reduzindo assim o nº de fixações necessárias.

Sugere-se para melhor acabamento e precisão do inserto final, o estudo da utilização de outros aços como matéria-prima do inserto (e.g. SAE 52100). Aços que não necessitem de tratamento térmico para obter rigidez ou que gerem pouca rebarba quando usinados são recomendados.

Como sugestão para trabalhos futuros, sugere-se dar continuidade ao protótipo desenvolvido no projeto detalhado e estudar a variação do ângulo de incidência, uma vez observado que polímeros admitem uma grande variação deste parâmetro. Para tal, recomenda-se aquisição de fresas “rabo de andorinha” no início do projeto e/ou cotação do serviço com empresas especializadas. Adicionalmente, podem ser levantados dados sobre a viabilidade econômica do projeto.

REFERÊNCIAS

- LABUSIG UFPR, TCC Welton**, 2019. Disponível em: <<http://www.labusig.ufpr.br/projetos/USBLD.html>>. Acesso em: 20 Março 2021.
- AÇOVISA. Tabelas Técnicas AÇOS LIGADOS PARA CEMENTAÇÃO. **Açovisa 52100**, 2014. Disponível em: <<http://www.acovisa.com.br/tabela/acovisa-52100/>>. Acesso em: 5 Fevereiro 2021.
- ALRO PLASTICS. Alro Guides. **Alro Plastics Processing**. Disponível em: <<https://www.alro.com/Resources/WebResources/AlroCom/PlasticsReferenceCatalog/PDFs/008%20Plastics%20Processing.pdf>>. Acesso em: 6 Fevereiro 2021.
- BACK, N. et al. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. 1. ed. Barueri: Editora Manole, 2008.
- CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia de Materiais uma Introdução**. 8. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2015.
- CAPLA, R. L. **ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO SOBREMETAL EXCEDENTE DE DESBASTE NA OPERAÇÃO DE ACABAMENTO APLICANDO USINAGEM COM ALTAS VELOCIDADES**, 2006. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18145/tde-13022007-172927/publico/RenatoLemesCapla.pdf>>. Acesso em: 10 Fevereiro 2021.
- CARR, J. W.; FEGER, C. **Ultraprecision machining of polymers, Precision Engineering**, 1993. ISSN 0141-6359. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/0141-6359\(93\)90105-J](https://doi.org/10.1016/0141-6359(93)90105-J)>. Acesso em: 5 Fevereiro 2021.
- CHE, D. et al. **Machining of Carbon Fiber Reinforced Plastics/Polymers: A Literature Review.**, 2014. ISSN MANU-13-1309. Disponível em: <<https://doi.org/10.1115/1.4026526>>. Acesso em: 5 Fevereiro 2021.
- COSTA, D. D. D.; ATHAYDE, J. N.; ALENCAR, S. D. A. 9º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação. **AVALIAÇÃO DA USINABILIDADE DO POLIETILENO DE ULTRA ALTO PESO MOLECULAR (UHMWPE)**, 2017. Disponível em: <http://www.labusig.ufpr.br/projetos/cobef2017_uhmwpe.pdf>. Acesso em: 5 Fevereiro 2021.
- CURBELL PLASTICS. **Plastic Turning Machining Guidelines**. Disponível em: <<https://www.curbellplastics.com/Research-Solutions/Industry->

Solutions/Fabrication-Machined-Parts/Plastic-Machining-Guidelines/Plastic-Turning-Machining-Guidelines>. Acesso em: 5 Fevereiro 2021.

DENKENA, B. et al. **Cutting Edge Preparation by Means of Abrasive Brushing**, 2010. Disponível em:

<<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.438.1>>. Acesso em: 8 Fevereiro 2021.

FAVORIT. AISI 52100. **Catálogo Aços Ferramenta**, 2019. Disponível em: <https://favorit.com.br/sites/default/files/tabelas/acos_ferramentas_favorit_0.html>. Acesso em: 5 Fevereiro 2021.

FAVORIT. Produtos: Aço construção mecânica. **Aço SAE 1045**, 2021. Disponível em: <<https://favorit.com.br/produtos/acos-construcao-mecanica/aco-sae-1045>>. Acesso em: 5 Fevereiro 2021.

FERNANDES, M. O. et al. USINAGEM DE PLÁSTICOS DE ENGENHARIA. UMA OPÇÃO DE PROCESSAMENTO. **9º Congresso Brasileiro de Polímeros**, Campina Grande, 2007.

FERRARI. Torno Universal BV-20 Manual, 2014. Disponível em: <<https://b2b.ferrarinet.com.br/assets/MANUAL-AAT1020001.pdf>>. Acesso em: 15 Março 2021.

FORRARESI, D. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. 1 ed. ed. [S.l.]: Editora Blucher, 1970.

ISO 10664. **ISO 10664: 2014 - Hexalobular internal driving feature for bolts and screws**. [S.l.]: [s.n.], 2014.

ISO 3002-1, I. O. F. S. **Basic quantities in cutting and grinding - Part 1: Geometry of the active part of cutting tools**. [S.l.]: [s.n.], 1982.

JÖNSSON, I. **FASTENING ARRANGEMENT FOR CUTTING INSERTS**. 6,155,754, 5 Dezembro 2000.

KAKINUMA, Y.; KIDANI, S.; AOYAMA, T. Ultra-precision cryogenic machining of viscoelastic polymers. **CIRP Annals**, 2012. 79-82.

<https://doi.org/10.1016/j.cirp.2012.03.039>.

KALPAKJIAN, S.; SCHMID, S. R. **Manufacturing Engineering and Technology**. 6. ed. New Jersey: Pearson, 2010. p. 1150.

KREITH, F.; IDOL, A. D.; LEHMAN, R. L. **Mechanical Engineering Handbook**. 1. ed. Boca Raton: CRC Press LLC, 1999.

MITSUBISHI CHEMICAL. Manual para Usinagem de Plásticos. **Mitsubishi Chemical Advanced Materials**, 2007. Disponível em: <<https://www.mcam.com/pt-br/suporte/informacoes-usinagem-de-pecas/manual-para-usinagem-de-plasticos/#c198264>>. Acesso em: 20 Janeiro 2021.

NEUPLAST. **Polipropileno**, 2018. Disponível em: <<https://www.neuplast.com.br/blog/polipropileno-conheca-as-caracteristicas-e-vantagens-desse-material/>>. Acesso em: 15 Março 2021.

PLASTICSMAG. Plastics Distributor & Fabricator - The Plastic Shapes Industry Magazine and News Source. **Machining Nylon and Acetal Parts from Stock Shapes**, 2006. Disponível em: <<http://www.plasticmag.com/features.asp?flissue=May/Jun-06>>. Acesso em: 5 Fevereiro 2021.

PRESS, T. N. A. **Polymer Science and Engineering: The Shifting Research Frontiers**, 1994. Disponível em: <<https://www.nap.edu/read/2307/chapter/5#66>>. Acesso em: 5 Fevereiro 2021.

QUADRANT ENGINEERING. The Plastic Shop UK. **MACHINING INSTRUCTIONS FOR ENGINEERING PLASTICS**. Disponível em: <https://www.theplasticshop.co.uk/plastic_technical_data_sheets/engineering_plastics_machining_guide.pdf>. Acesso em: 5 Fevereiro 2021.

RAMESH, V. Bangalore Institute of Technology. **CUTTING EDGE PREPARATION**, 2014. ISSN ISBN 978-93-84209-42-1. Disponível em: <https://www.digitalxplore.org/up_proc/pdf/97-140799617548-52.pdf>. Acesso em: 6 Fevereiro 2021.

SANDVIK COROMANT. **Catálogo Ferramentas para Torneamento**. [S.l.]. 2015.

SANTANA, M. I. D. **INFLUÊNCIA DA PREPARAÇÃO DAS ARESTAS DE CORTE DE BROCAS HELICOIDAIS NO PROCESSO DE FURAÇÃO**. UTFPR. Curitiba. 2015.

STEMMER, C. E. **Ferramentas de Corte I**. 3 ed. ed. Florianópolis: Editora UFSC, 1993.

VALENTIM, F. G.; SILVA, E. R. D. Universidade de Rio Verde. **INFLUÊNCIA DO RAIOS DE PONTA DAS FERRAMENTAS DE CORTE NA RUGOSIDADE SUPERFICIAL DE PEÇAS DE POLÍMEROS USINADOS POR TORNEAMENTO**, 2007. Disponível em:

<<https://www.unirv.edu.br/conteudos/fckfiles/files/FRANCISCO%20GLEBSON%20VALENTIM.pdf>>. Acesso em: 6 Fevereiro 2021.

VANAT, K. J.; BRAGHINI JR, A. O USO DE FERRAMENTAS DE METAL DURO NO TORNEAMENTO DO NYLON, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4322/tmm.2014.007>>. Acesso em: 20 Março 2021.

VANAT, K. J.; JUNIOR, A. B. **O USO DE FERRAMENTAS DE METAL DURO NO TORNEAMENTO DO NYLON**, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4322/tmm.2014.007>>. Acesso em: 11 Fevereiro 2021.

VILLARES METALS. Ficha Técnica V52100. **Villares Metals Products**, 2009. Disponível em: <<https://www.villaresmetals.com.br/pt/Produtos/Acos-Ferramenta/Aplicacoes/Aplicacao-mecanica/V52100>>. Acesso em: 5 Fevereiro 2021.

VILLARES METALS. Ficha Técnica VC131. **Villares Metals Products**, 2009. Disponível em: <https://www.villaresmetals.com.br/division_stahl/content/download/28447/288001/file/VC131-pt.pdf>. Acesso em: 5 Fevereiro 2021.

WALTER. **Catálogo Walter - Torneamento**, 201-?. Disponível em: <http://www.fercmetal.com.br/catalogos_walter/torneamento_walter.pdf>. Acesso em: 11 Fevereiro 2021.

APÊNDICE 1 – CÓDIGOS NC

APÊNDICE 1A

Programação utilizada para fabricação do inserto de teste apresentado no item 3.2.9 deste trabalho.

OP0 – Preparação para fresamento

G99	Z10.
G90	G81R2.Z-6.5F150
G17	GXY
G71	G80
G66	M5
GZ0	H30
H10	N20
T1M6	T3M6
O1S1500M3	O3S1500M3
GXY80.	GXY
Z10.	Z10.
G1Z-1.F500	G81Z-8.R2.F150
Y-35.	GXY
M5	G80
N10	M5
T2M6	N30
O2S1500M3	GZ0
GXY	M2

OP1 – Fresamento e perfilamento externo com fresa de topo 20mm.

```

G99
G71
G66
G90
G17
;(DEFINIR OPERAÇÕES : OPERAÇÃO DE
DESBASTE)
GZO
T04 M6 ;(ENDMILL ;20.0 MM SLOT DRILL - 2
FLUTE ;20.0 MM DIA SLOT DRILL - 2 FLUTE
O4 S2000 M3
G0 X-25.997 Y-12.504
Z10.0 M9
G0
Z-1.2
G1 Z-2.2 F150
G3 X-26.103 Y-9.82 I-30.862 J-11.352 F600
; * WARNING - CUTTER COMPENSATION
ACTIVE - LEAD MOVE NOT 90 DEGREE
G1 X-26.251 Y-9.36
G1 X-25.838 Y-9.1
G1 X-25.115 Y-8.465
G3 X-22.802 Y-5.438 I-36.978 J2.995
G3 X-21.389 Y-2.954 I-53.491 J13.668
G1 X-20.958 Y-2.105
G1 X-20.284 Y-0.75
G3 X-20.188 Y0.787 I-22.068 J0.134
G2 X-8.933 Y17.33 I-8.227 J4.75
G2 X-6.077 Y17.433 I-4.847 J-56.481
G2 X-3.221 Y17.36 I-5.658 J-21.867
G3 X-2.912 Y17.35 I-2.912 J22.35
G1 X8.227
G2 X19.47 Y-0.939 I8.227 J4.75
G2 X18.13 Y-3.464 I-47.226 J32.824
G2 X16.652 Y-5.871 I-15.535 J15.554
G3 X16.517 Y-6.091 I20.848 J-8.591
G1 X10.912 Y-15.8
G2 X-10.912 I0.0 J-9.5
G1 X-19.139 Y-1.55
G2 X-19.446 Y-0.987 I-8.227 J4.75
G2 X-19.971 Y0.183 I-8.227 J4.75
G3 X-21.592 Y2.26 I-24.583 J-1.747
G0
Z10.0
G0 X-11.484 Y17.948
G0
Z-1.2
G1 Z-2.2 F150
G3 X-8.933 Y17.33 I-9.073 J22.328 F600
G2 X-8.227 Y17.35 I-8.227 J4.75
G1 X-2.912
G3 X0.09 Y18.352 I-2.912 J22.35
G0
Z10.0
G0 X21.272 Y0.955
G0
Z-1.2
G1 Z-2.2 F150
G3 X19.47 Y-0.939 I23.867 J-3.319 F600
G2 X19.139 Y-1.55 I8.227 J4.75
G1 X16.517 Y-6.091
G3 X15.848 Y-8.591 I20.848 J-8.591
G0
Z10.0
G0 X-25.997 Y-12.504
G0
Z-3.2
G1 Z-4.2 F150
G3 X-26.103 Y-9.82 I-30.862 J-11.352 F600
G1 X-26.251 Y-9.36
G1 X-25.838 Y-9.1
G1 X-25.115 Y-8.465
G3 X-22.802 Y-5.438 I-36.978 J2.995
G3 X-21.389 Y-2.954 I-53.491 J13.668

```

G1 X-20.958 Y-2.105
 G1 X-20.284 Y-0.75
 G3 X-20.188 Y0.787 I-22.068 J0.134
 G1 X-20.374 Y1.4
 G2 X-8.933 Y17.33 I-8.227 J4.75
 G2 X-6.077 Y17.433 I-4.847 J-56.481
 G2 X-3.221 Y17.36 I-5.658 J-21.867
 G3 X-2.912 Y17.35 I-2.912 J22.35
 G1 X8.227
 G1 X8.921 Y17.331
 G2 X19.47 Y-0.939 I8.227 J4.75
 G2 X18.13 Y-3.464 I-47.226 J32.824
 G2 X16.652 Y-5.871 I-15.535 J15.554
 G3 X16.517 Y-6.091 I20.848 J-8.591
 G1 X10.912 Y-15.8
 G1 X10.548 Y-16.392
 G2 X-10.912 Y-15.8 I0.0 J-9.5
 G1 X-19.139 Y-1.55
 G1 X-19.446 Y-0.987
 G2 X-19.971 Y0.183 I-8.227 J4.75
 G3 X-21.592 Y2.26 I-24.583 J-1.747
 G0
 Z10.0
 G0 X-11.484 Y17.948
 G0
 Z-3.2
 G1 Z-4.2 F150
 G3 X-8.933 Y17.33 I-9.073 J22.328 F600
 G1 X-8.227 Y17.35
 G1 X-2.912
 G3 X0.09 Y18.352 I-2.912 J22.35
 G0
 Z10.0
 G0 X21.272 Y0.955
 G0
 Z-3.2
 G1 Z-4.2 F150
 G3 X19.47 Y-0.939 I23.867 J-3.319 F600
 G1 X19.139 Y-1.55
 G1 X16.517 Y-6.091
 G3 X15.848 Y-8.591 I20.848 J-8.591
 G0
 Z10.0
 G0 X-25.997 Y-12.504
 G0
 Z-4.0
 G1 Z-5.0 F150
 G3 X-26.103 Y-9.82 I-30.862 J-11.352 F600
 G1 X-26.251 Y-9.36
 G1 X-25.838 Y-9.1
 G1 X-25.115 Y-8.465
 G3 X-22.802 Y-5.438 I-36.978 J2.995
 G3 X-21.389 Y-2.954 I-53.491 J13.668
 G1 X-20.958 Y-2.105
 G1 X-20.284 Y-0.75
 G3 X-20.188 Y0.787 I-22.068 J0.134
 G1 X-20.374 Y1.4
 G2 X-8.933 Y17.33 I-8.227 J4.75
 G2 X-6.077 Y17.433 I-4.847 J-56.481
 G2 X-3.221 Y17.36 I-5.658 J-21.867
 G3 X-2.912 Y17.35 I-2.912 J22.35
 G1 X8.227
 G1 X8.921 Y17.331
 G2 X19.47 Y-0.939 I8.227 J4.75
 G2 X18.13 Y-3.464 I-47.226 J32.824
 G2 X16.652 Y-5.871 I-15.535 J15.554
 G3 X16.517 Y-6.091 I20.848 J-8.591
 G1 X10.912 Y-15.8
 G1 X10.548 Y-16.392
 G2 X-10.912 Y-15.8 I0.0 J-9.5
 G1 X-19.139 Y-1.55
 G1 X-19.446 Y-0.987
 G2 X-19.971 Y0.183 I-8.227 J4.75
 G3 X-21.592 Y2.26 I-24.583 J-1.747
 G0
 Z10.0
 G0 X-11.484 Y17.948
 G0
 Z-4.0
 G1 Z-5.0 F150

G3 X-8.933 Y17.33 I-9.073 J22.328 F600
 G1 X-8.227 Y17.35
 G1 X-2.912
 G3 X0.09 Y18.352 I-2.912 J22.35
 G0
 Z10.0
 G0 X21.272 Y0.955
 G0
 Z-4.0
 G1 Z-5.0 F150
 G3 X19.47 Y-0.939 I23.867 J-3.319 F600
 G1 X19.139 Y-1.55
 G1 X16.517 Y-6.091
 G3 X15.848 Y-8.591 I20.848 J-8.591
 G0
 Z10.0

;(OPERAÇÃO DE PERFILAR)
 G0 X-17.919 Y11.124
 G1 Z-6.0 F150
 G2 X-8.227 Y16.35 I-8.227 J4.75 F263
 G1 X8.227 F350
 G2 X18.273 Y-1.05 I8.227 J4.75 F263
 G1 X10.046 Y-15.3 F350
 G2 X-10.046 I0.0 J-9.5 F263
 G1 X-18.273 Y-1.05 F350
 G2 X-17.919 Y11.124 I-8.227 J4.75 F263
 G0
 Z10.0
 M5
 GZO
 M2

OP2 – Rasgo com fresa esférica 4mm.

G99
 G71
 G66
 G90
 G17
 ;(DEFINIR OPERAÇÕES : OPERAÇÃO DE RASGOS)
 GZO
 T05 M6 ;(BALLNOSE ;4.0 MM BALL NOSE MILL ;4.0 MM DIA BALL NOSE MILL
 O5 S2000 M3
 G1 X0.0 Y0.0 Z5.0 F5000
 ; * WARNING - CUTTER COMPENSATION ACTIVE - LEAD MOVE NOT 90 DEGREE
 G1 X1.038 Y-7.695
 G1 X2.116 Y-5.827 Z4.811 F350
 G1 X-0.003 Y-9.497 Z4.441
 G1 X2.116 Y-5.827 Z4.07
 G1 X-0.003 Y-9.497 Z3.699
 G1 X2.116 Y-5.827 Z3.328

G1 X-0.003 Y-9.497 Z2.957
 G1 X2.116 Y-5.827 Z2.587
 G1 X-0.003 Y-9.497 Z2.216
 G1 X2.116 Y-5.827 Z1.845
 G1 X-0.003 Y-9.497 Z1.474
 G1 X2.116 Y-5.827 Z1.104
 G1 X-0.003 Y-9.497 Z0.733
 G1 X2.116 Y-5.827 Z0.362
 G1 X-0.003 Y-9.497 Z-0.009
 G1 X2.116 Y-5.827 Z-0.379
 G1 X-0.002 Y-9.496 Z-0.75
 G1 X-8.223 Y4.75
 G1 X8.225 Y4.746
 G1 X-0.002 Y-9.496
 ;(DEFINIR OPERAÇÕES : OPERAÇÃO DE RASGOS)
 G1 Z5.0
 G1 X0.386 Y-8.824
 G1 X-0.003 Y-9.497 Z4.932
 G1 X2.116 Y-5.827 Z4.561

G1 X-0.003 Y-9.497 Z4.191
G1 X2.116 Y-5.827 Z3.82
G1 X-0.003 Y-9.497 Z3.449
G1 X2.116 Y-5.827 Z3.078
G1 X-0.003 Y-9.497 Z2.707
G1 X2.116 Y-5.827 Z2.337
G1 X-0.003 Y-9.497 Z1.966
G1 X2.116 Y-5.827 Z1.595
G1 X-0.003 Y-9.497 Z1.224
G1 X2.116 Y-5.827 Z0.854
G1 X-0.003 Y-9.497 Z0.483

G1 X2.116 Y-5.827 Z0.112
G1 X-0.003 Y-9.497 Z-0.259
G1 X2.116 Y-5.827 Z-0.629
G1 X-0.002 Y-9.496 Z-1.0
G1 X-8.223 Y4.75
G1 X8.225 Y4.746
G1 X-0.002 Y-9.496
M5
GZO
M2

APÊNDICE 1B

Programação utilizada para fabricação do inserto de validação do projeto apresentado no item 4 deste trabalho.

PROGRAMA 1 – Desbaste e perfilhamento externo com fresa de topo 20mm.

```

;P1
G99
G71
G66
G90
G17
;(DEFINE OPERATION : ROUGH MILL
OPERATION)
GZO
T4 M6 ;(ENDMILL ;20.0 MM SLOT DRILL - 2
FLUTE ;20.0 MM DIA SLOT DRILL - 2 FLUTE
O4 S2000 M3
G0 X200.0 Y200.0
Z10.0 M9
G0 X-25.926 Y-12.715
G0
Z-2.0
G1 Z-3.0 F150
G3 X-26.061 Y-9.984 I-30.797 J-11.587 F600
; * WARNING - CUTTER COMPENSATION
ACTIVE - LEAD MOVE NOT 90 DEGREE
G1 X-26.216 Y-9.526
G3 X-24.718 Y-8.297 I-29.735 J-3.713
G3 X-22.999 Y-5.975 I-37.022 J2.613
G3 X-21.123 Y-2.614 I-51.669 J12.227
G1 X-20.248 Y-0.814
G3 X-20.166 Y0.728 I-22.039 J0.054
G1 X-20.188 Y0.787
G2 X-8.933 Y17.33 I-8.227 J4.75
G2 X-6.047 Y17.44 I-4.745 J-54.758
G2 X-3.152 Y17.367 I-5.58 J-21.433
G3 X-2.741 Y17.35 I-2.741 J22.35
G1 X8.227
G2 X19.47 Y-0.939 I8.227 J4.75
G2 X18.121 Y-3.493 I-45.737 J31.844
G2 X16.611 Y-5.955 I-15.965 J15.73
G3 X16.419 Y-6.261 I20.749 J-8.761
G1 X10.912 Y-15.8
G2 X-10.912 I0.0 J-9.5
G1 X-19.139 Y-1.55
G2 X-19.446 Y-0.987 I-8.227 J4.75
G2 X-19.97 Y0.183 I-8.227 J4.75
G3 X-21.592 Y2.26 I-24.583 J-1.747
G0
Z10.0
G0 X-11.483 Y17.947
G0
Z-2.0
G1 Z-3.0 F150
G3 X-8.933 Y17.33 I-9.073 J22.328 F600
G2 X-8.227 Y17.35 I-8.227 J4.75
G1 X-2.741
G3 X0.253 Y18.345 I-2.741 J22.35
G0
Z10.0
G0 X21.289 Y0.965
G0
Z-2.0
G1 Z-3.0 F150
G3 X19.47 Y-0.939 I23.867 J-3.319 F600
G2 X19.139 Y-1.55 I8.227 J4.75
G1 X16.419 Y-6.261
G3 X15.75 Y-8.761 I20.75 J-8.761
G0
Z10.0
G0 X-25.926 Y-12.715
G0
Z-4.0
G1 Z-5.0 F150
G3 X-26.061 Y-9.984 I-30.797 J-11.587 F600
G1 X-26.216 Y-9.526
G3 X-24.718 Y-8.297 I-29.735 J-3.713
G3 X-22.999 Y-5.975 I-37.022 J2.613
G3 X-21.123 Y-2.614 I-51.669 J12.227

```

G1 X-20.248 Y-0.814
 G3 X-20.166 Y0.728 I-22.039 J0.054
 G1 X-20.188 Y0.787
 G2 X-8.933 Y17.33 I-8.227 J4.75
 G2 X-6.047 Y17.44 I-4.745 J-54.758
 G2 X-3.152 Y17.367 I-5.58 J-21.433
 G3 X-2.741 Y17.35 I-2.741 J22.35
 G1 X8.227
 G1 X8.921 Y17.331
 G2 X19.47 Y-0.939 I8.227 J4.75
 G2 X18.121 Y-3.493 I-45.737 J31.844
 G2 X16.611 Y-5.955 I-15.965 J15.73
 G3 X16.419 Y-6.261 I20.749 J-8.761
 G1 X10.912 Y-15.8
 G1 X10.548 Y-16.392
 G2 X-10.912 Y-15.8 I0.0 J-9.5
 G1 X-19.139 Y-1.55
 G1 X-19.446 Y-0.987
 G2 X-19.97 Y0.183 I-8.227 J4.75
 G3 X-21.592 Y2.26 I-24.583 J-1.747
 G0
 Z10.0
 G0 X-11.483 Y17.947
 G0
 Z-4.0
 G1 Z-5.0 F150
 G3 X-8.933 Y17.33 I-9.073 J22.328 F600
 G1 X-8.227 Y17.35
 G1 X-2.741
 G3 X0.253 Y18.345 I-2.741 J22.35
 G0
 Z10.0
 G0 X21.289 Y0.965
 G0
 Z-4.0
 G1 Z-5.0 F150
 G3 X19.47 Y-0.939 I23.867 J-3.319 F600
 G1 X19.139 Y-1.55
 G1 X16.419 Y-6.261
 G3 X15.75 Y-8.761 I20.75 J-8.761
 G0
 Z10.0
 G0 X-25.926 Y-12.715
 G0
 Z-4.06
 G1 Z-5.06 F150
 G3 X-26.061 Y-9.984 I-30.797 J-11.587 F600
 G1 X-26.216 Y-9.526
 G3 X-24.718 Y-8.297 I-29.735 J-3.713
 G3 X-22.999 Y-5.975 I-37.022 J2.613
 G3 X-21.123 Y-2.614 I-51.669 J12.227
 G1 X-20.248 Y-0.814
 G3 X-20.166 Y0.728 I-22.039 J0.054
 G1 X-20.188 Y0.787
 G2 X-8.933 Y17.33 I-8.227 J4.75
 G2 X-6.047 Y17.44 I-4.745 J-54.758
 G2 X-3.152 Y17.367 I-5.58 J-21.433
 G3 X-2.741 Y17.35 I-2.741 J22.35
 G1 X8.227
 G1 X8.921 Y17.331
 G2 X19.47 Y-0.939 I8.227 J4.75
 G2 X18.121 Y-3.493 I-45.737 J31.844
 G2 X16.611 Y-5.955 I-15.965 J15.73
 G3 X16.419 Y-6.261 I20.749 J-8.761
 G1 X10.912 Y-15.8
 G1 X10.548 Y-16.392
 G2 X-10.912 Y-15.8 I0.0 J-9.5
 G1 X-19.139 Y-1.55
 G1 X-19.446 Y-0.987
 G2 X-19.97 Y0.183 I-8.227 J4.75
 G3 X-21.592 Y2.26 I-24.583 J-1.747
 G0
 Z10.0
 G0 X-11.483 Y17.947
 G0
 Z-4.0
 G1 Z-5.0 F150
 G3 X-8.933 Y17.33 I-9.073 J22.328 F600
 G1 X-8.227 Y17.35
 G1 X-2.741
 G3 X0.253 Y18.345 I-2.741 J22.35
 G0
 Z10.0
 G0 X21.289 Y0.965
 G0
 Z-4.0
 G1 Z-5.0 F150
 G3 X19.47 Y-0.939 I23.867 J-3.319 F600
 G1 X19.139 Y-1.55
 G1 X16.419 Y-6.261
 G3 X15.75 Y-8.761 I20.75 J-8.761

G3 X0.253 Y18.345 I-2.741 J22.35	G1 X2.612 Y5.114
G0	G1 X2.951 Y4.187
Z10.0	G1 X3.184 Y3.228
G0 X21.289 Y0.965	G2 X3.408 Y0.281 I-10.862 J0.681
G0	G2 X3.097 Y-2.66 I-14.641 J0.698
Z-4.06	G1 X3.051 Y-2.791
G1 Z-5.06 F150	G0
G3 X19.47 Y-0.939 I23.867 J-3.319 F600	Z10.0
G1 X19.139 Y-1.55	;(PROFILE MILL OPERATION)
G1 X16.419 Y-6.261	G0 X-0.674 Y-21.08
G3 X15.75 Y-8.761 I20.75 J-8.761	G0
G0	Z9.0
Z10.0	G1 Z-6.06 F150
G0 X-21.626 Y2.332	G2 X-10.046 Y-15.3 I0.0 J-9.5 F263
G0	G1 X-18.273 Y-1.05 F350
Z1.0	G2 X-8.227 Y16.35 I-8.227 J4.75 F263
G1 Z0.0 F150	G1 X8.227 F350
G3 X-20.635 Y2.558 I-22.238 J7.294 F600	G2 X18.273 Y-1.05 I8.227 J4.75 F263
G3 X-18.775 Y3.214 I-32.81 J40.061	G1 X10.046 Y-15.3 F350
G2 X-16.947 Y3.959 I47.249 J-156.194	G2 X-0.674 Y-21.08 I0.0 J-9.5 F263
G2 X-11.248 Y5.54 I-4.911 J-28.369	G0
G2 X-6.37 Y6.28 I0.789 J-57.356	Z9.0
G2 X-0.47 Y6.781 I5.835 J-102.298	M5
G1 X0.517 Y6.805	GZO
G1 X1.501 Y6.732	M2
G1 X2.145 Y5.984	

PROGRAMA 2 – Formação do quebra-cavacos com fresa esférica 4mm.

G99	O5 S2000 M3
G71	G1 X200.0 Y200.0 Z7.01 F5000
G66	; * WARNING - CUTTER COMPENSATION
G90	ACTIVE - LEAD MOVE NOT 90 DEGREE
G17	G1 X-7.436 Y3.387
;(DEFINE OPERATION : SLOT MILL	G1 Z5.0
OPERATION)	G1 X-6.104 Y1.081 Z4.53 F350
GZO	G1 X-6.104 Y1.081 Z0.047
T5 M6 ;(BALLNOSE ;4.0 MM BALL NOSE MILL	G1 X-8.223 Y4.75 Z-0.7
;4.0 MM DIA BALL NOSE MILL	G1 X8.225 Y4.746

```

G1 X-0.002 Y-9.496
G1 X-8.223 Y4.75
;(DEFINE OPERATION : SLOT MILL
OPERATION)
G1 Z1.0
G1 X-6.411 Y1.612
G1 X-6.104 Y1.081 Z-0.429
G1 X-8.223 Y4.75 Z-0.8
G1 X8.225 Y4.746
G1 X-0.002 Y-9.496
G1 X-8.223 Y4.75
M5
GZO
M2

```

PROGRAMA 3 – Fresamento do assento no porta ferramenta.

```

G99
G71
G66
G90
G17
;(DEFINE OPERATION : ROUGH MILL
OPERATION)
GZO
T01 M6 ;(ENDMILL ;64.0 MM MULTI-FLUTE
END MILL ;64.0 MM DIA MULTI-FLUTE END
MILL
O1 S600 M3
G0 X200.0 Y200.0
Z9.76 M9
G0 X48.301 Y-25.062
G0
Z2.0
G1 Z-0.76 F150
G2 X44.014 Y-25.65 I44.006 J-9.664 F300
; * WARNING - CUTTER COMPENSATION
ACTIVE - LEAD MOVE NOT 90 DEGREE
G1 X-15.991
G3 X-23.991 Y-27.794 I-15.991 J-41.65
G0
Z9.76
G0 X48.301 Y-25.062
G0
Z2.0
G1 Z-4.76 F150
G2 X44.025 Y-25.65 I44.017 J-9.664 F300
G1 X-15.981
G2 X44.014 Y-25.65 I44.006 J-9.664 F300
G1 X-15.991
G3 X-23.991 Y-27.794 I-15.991 J-41.65
G0
Z9.76
G0 X48.301 Y-25.062
G0
Z2.0
G1 Z-3.76 F150
G2 X44.014 Y-25.65 I44.006 J-9.664 F300
G1 X-15.991
G3 X-23.991 Y-27.794 I-15.991 J-41.65
G0
Z9.76
G0 X48.301 Y-25.062
G0
Z2.0
G1 Z-2.76 F150
G2 X44.014 Y-25.65 I44.006 J-9.664 F300
G1 X-15.991
G3 X-23.991 Y-27.794 I-15.991 J-41.65
G0
Z9.76
G0 X48.301 Y-25.062
G0
Z2.0
G1 Z-1.76 F150

```

G3 X-23.981 Y-27.794 I-15.981 J-41.65

G0

Z9.76

M5

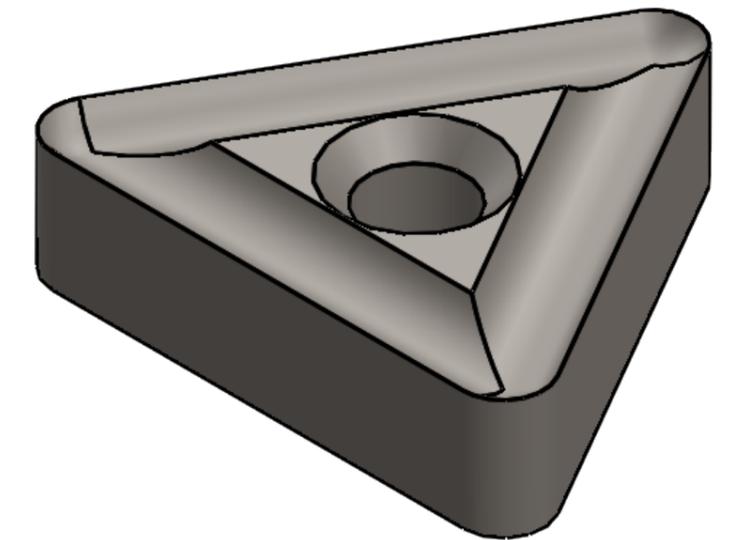
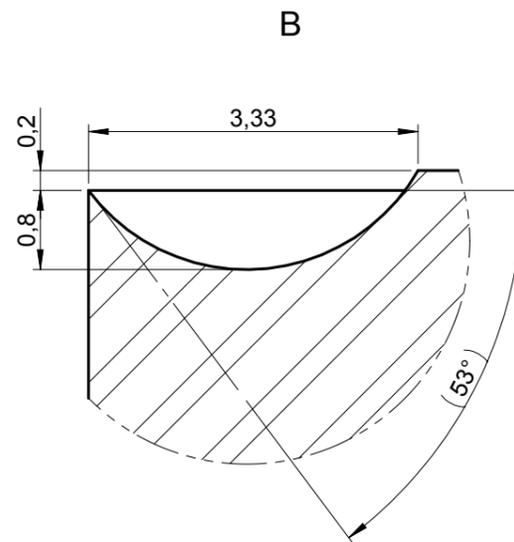
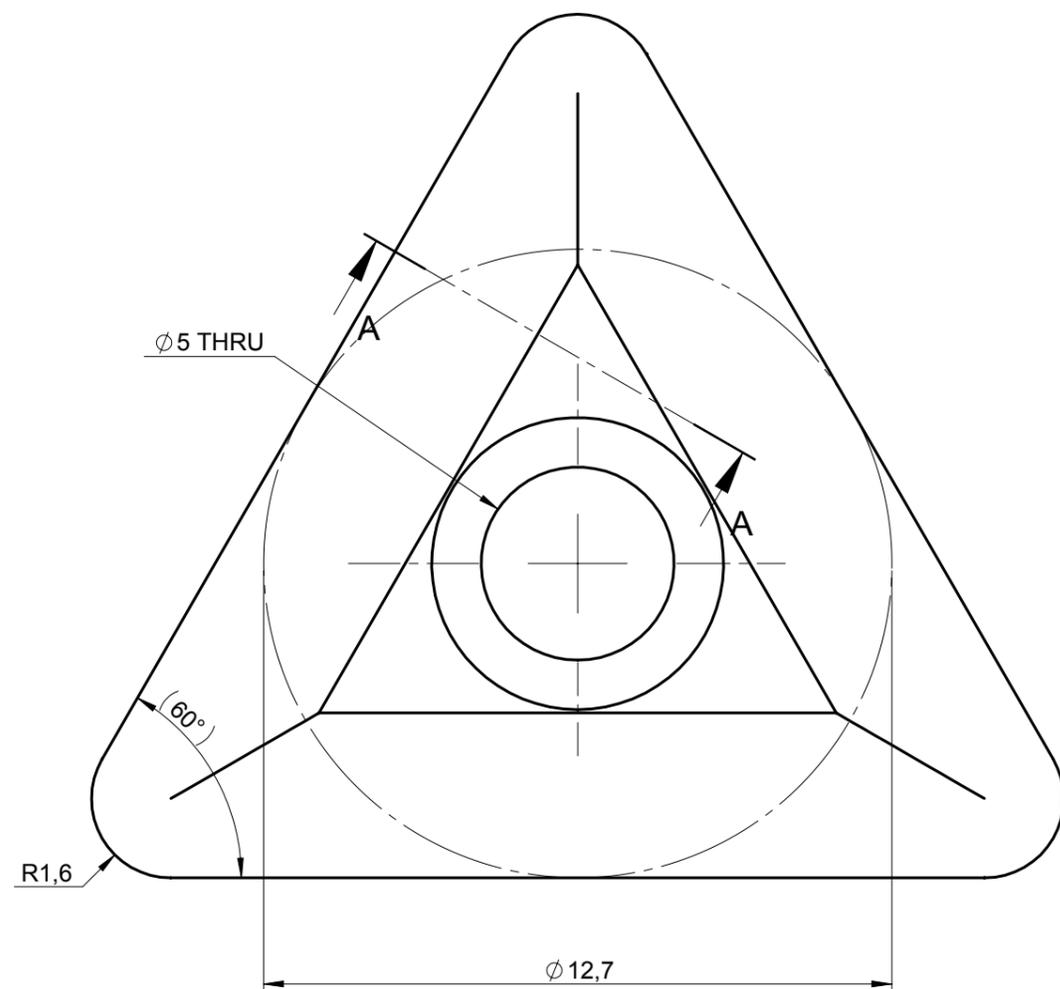
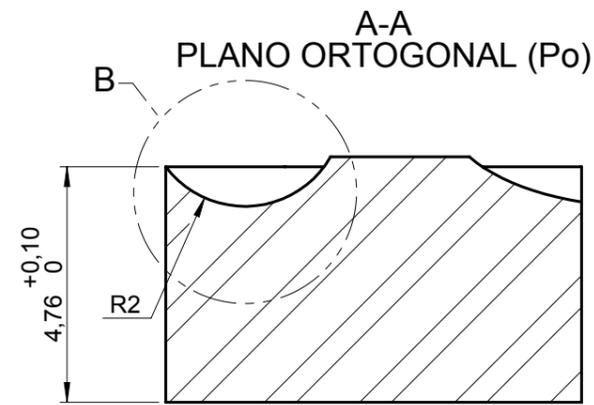
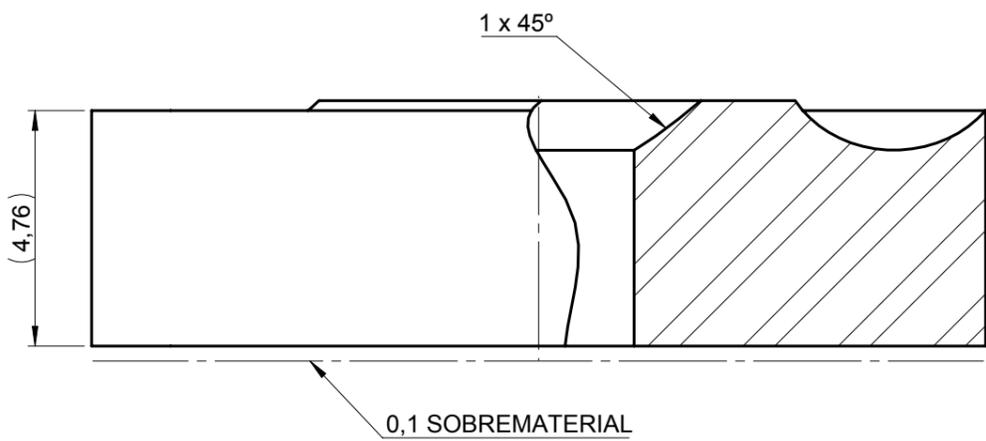
GZO

M2

APÊNDICE 2 – DESENHOS TÉCNICOS

SEÇÃO A

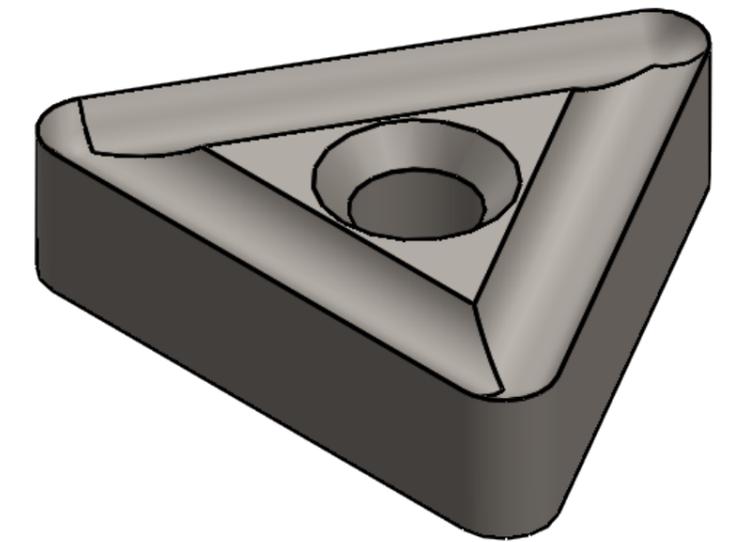
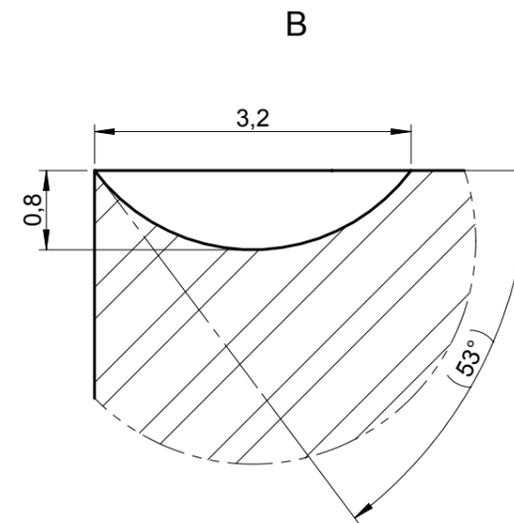
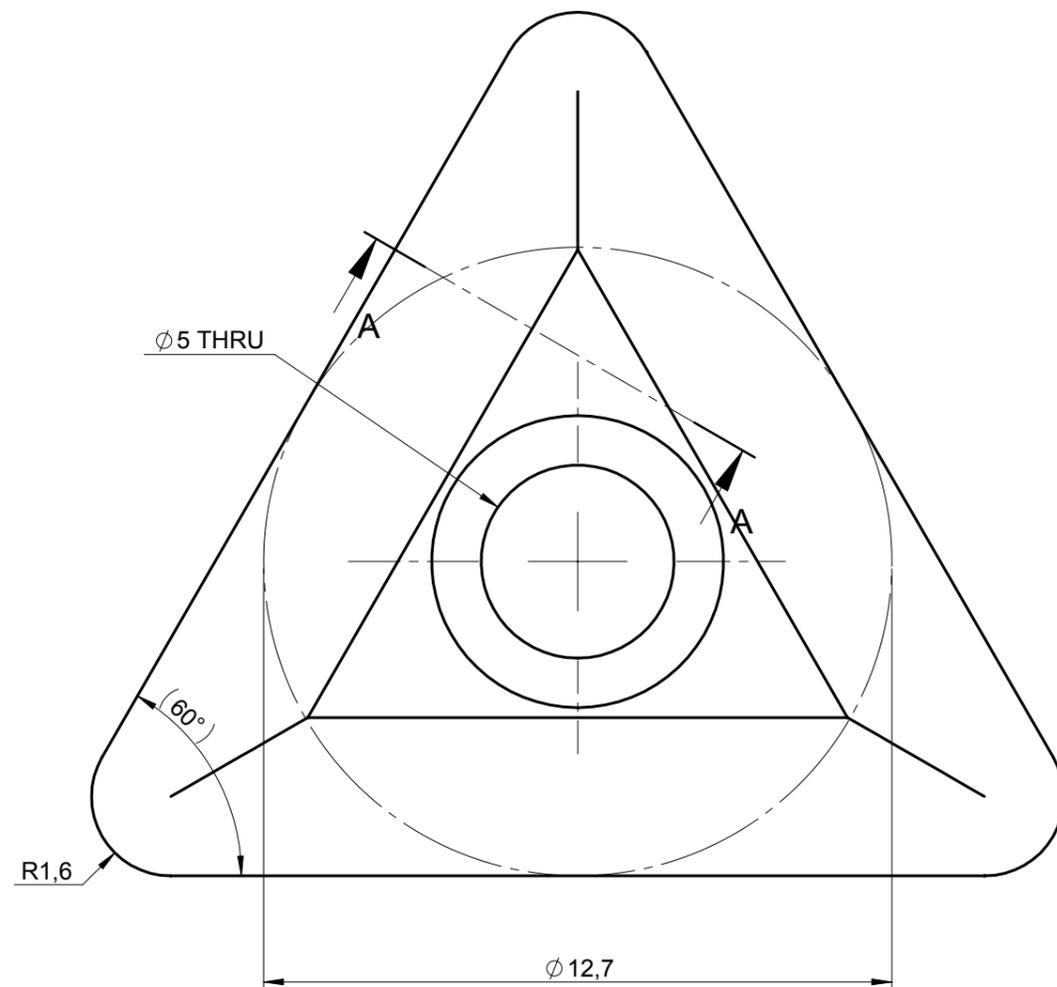
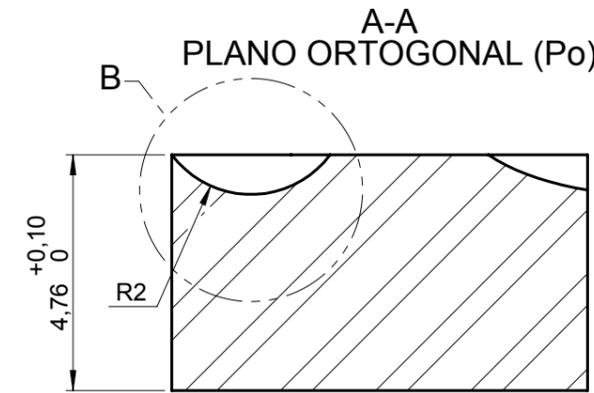
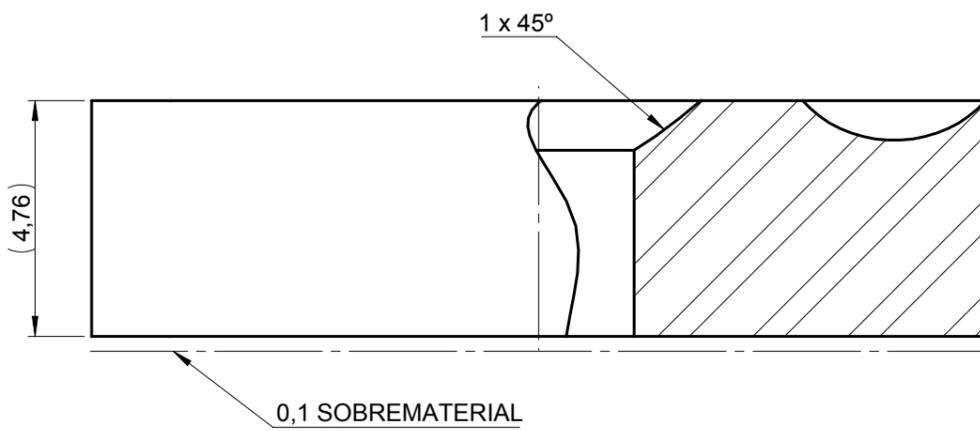
**DESENHOS DE FABRICAÇÃO E MONTAGEM DO PROTÓTIPO DE VALIDAÇÃO
DO TRABALHO.**



NOTAS

1. SE NÃO ESPECIFICADO, DIMENSÕES EM MILÍMETROS, TOLERÂNCIA GERAL DE $\pm 0,2\text{mm}$, $\pm 0^\circ 20'$.
2. QUEBRAR CANTOS VIVOS NA SUPERFÍCIE INFERIOR DO INSERTO E FURAÇÃO.
3. GD&T: ISO 1101
4. PLANO ORTOGONAL DA FERRAMENTA (PLANO DE MEDIÇÃO) REPRESENTA O PLANO PERPENDICULAR AO PLANO DE REF. DA FERRAMENTA (Pr) E PERPENDICULAR AO PLANO DO GUME (Ps).

1	1	MACHINING INSERT	AISI D6	
ITEM NO.	QTY.	DESCRIPTION	MATERIAL	
Title		INSERTO ÂNG. INCIDÊNCIA NEUTRO VER. A - AISI D6		
Modified by	-	Originator	LUCAS B. KASAI	Drawing no. 01 Ver. 02 Unit mm
Checked by	-	Drawing type	-	Release date 11/03/2021 Scale 7:1
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ		Estimated Weight	-	Size A3 Sheet no. 1 of 1

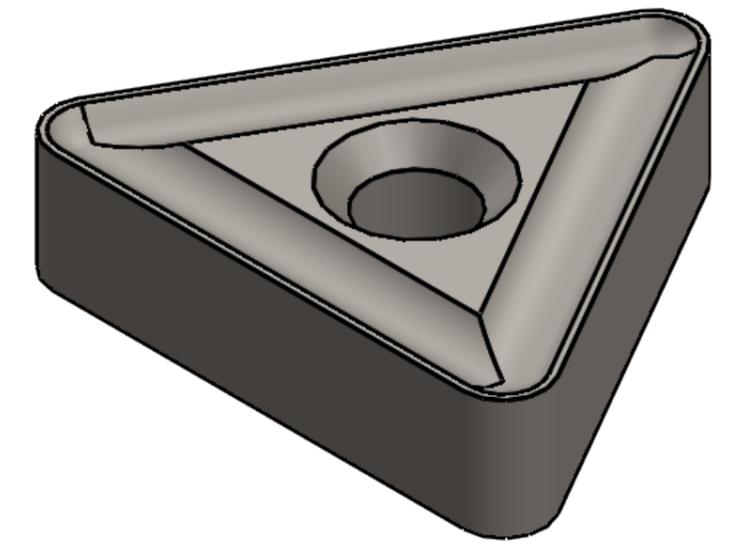
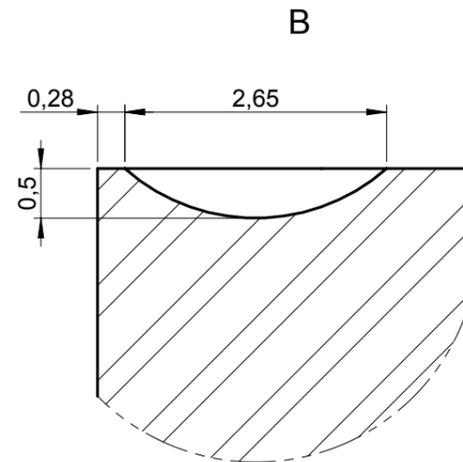
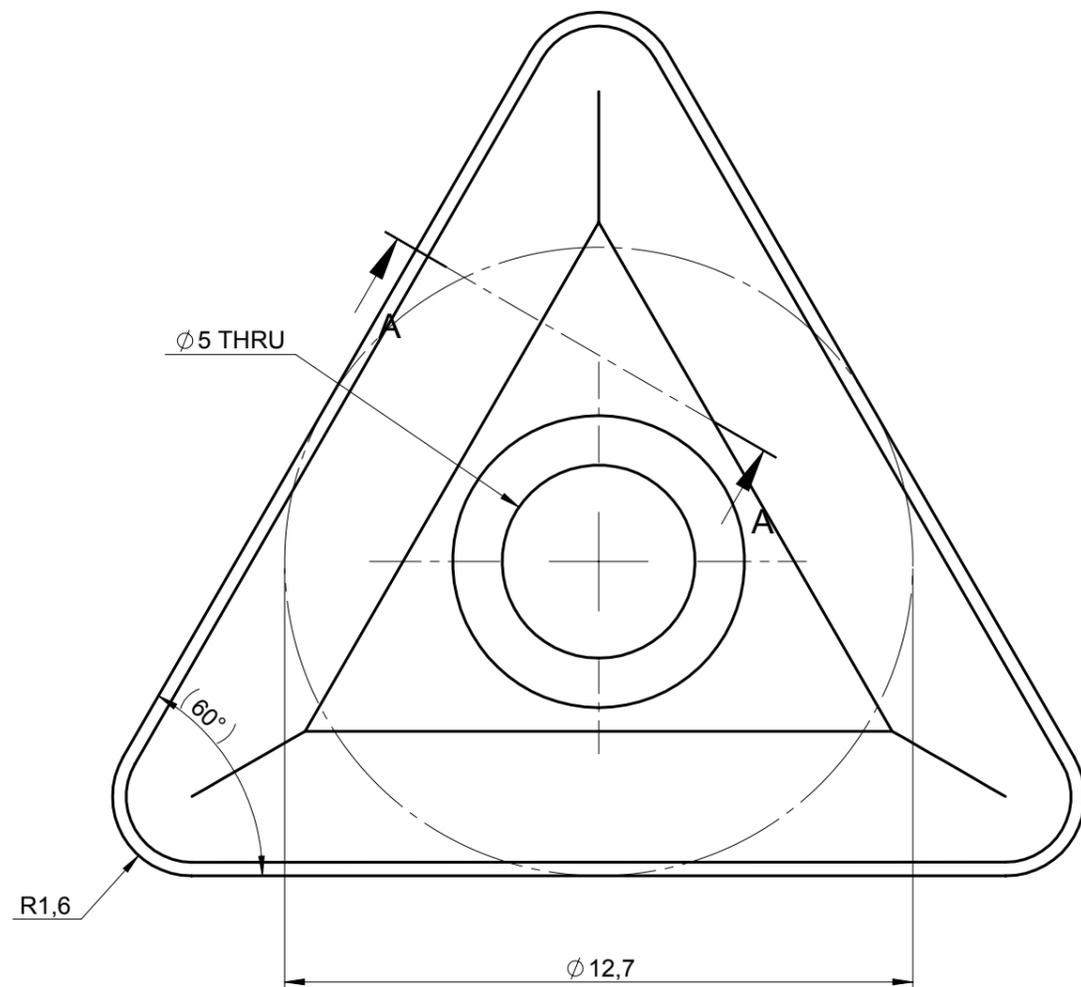
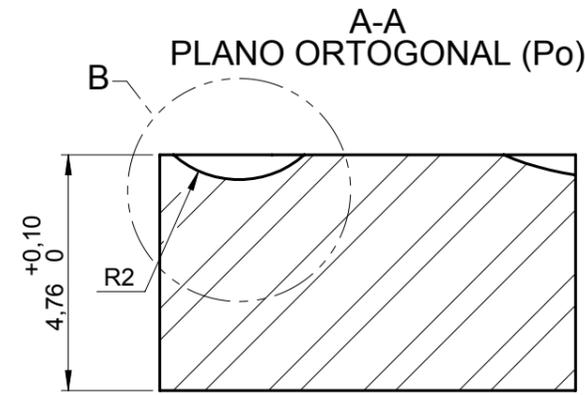
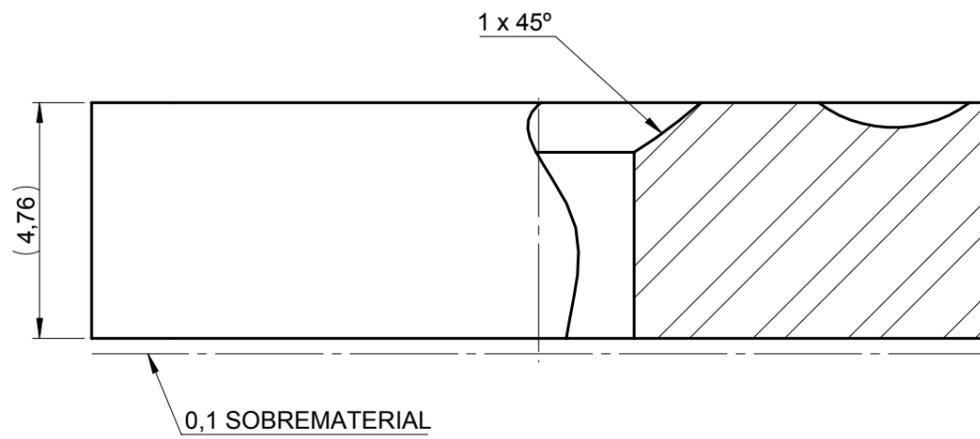


NOTAS

1. SE NÃO ESPECIFICADO, DIMENSÕES EM MILÍMETROS, TOLERÂNCIA GERAL DE $\pm 0,2\text{mm}$, $\pm 0^\circ 20'$.
2. QUEBRAR CANTOS VIVOS NA SUPERFÍCIE INFERIOR DO INSERTO E FURAÇÃO.
3. GD&T: ISO 1101
4. PLANO ORTOGONAL DA FERRAMENTA (PLANO DE MEDIÇÃO) REPRESENTA O PLANO PERPENDICULAR AO PLANO DE REF. DA FERRAMENTA (Pr) E PERPENDICULAR AO PLANO DO GUME (Ps).

1	1	MACHINING INSERT	AISI D6
ITEM NO.	QTY.	DESCRIPTION	MATERIAL

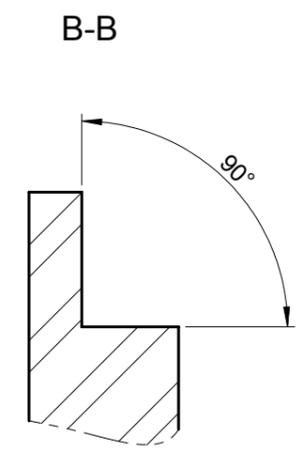
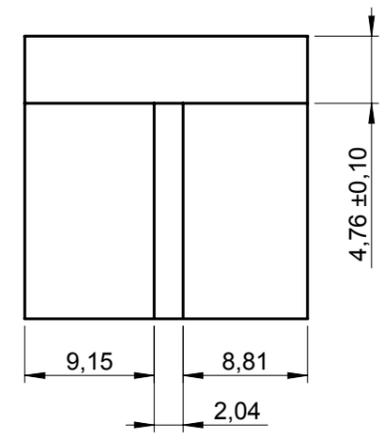
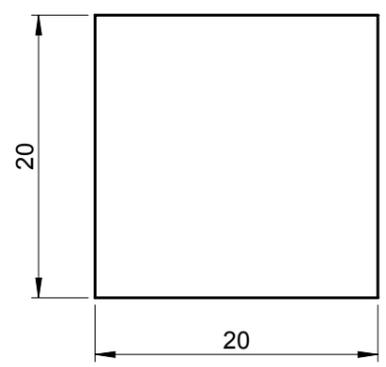
Title		INSERTO ÂNG. INCIDÊNCIA NEUTRO VER. B - AISI D6							
Modified by	-	Originator	LUCAS B. KASAI	Drawing no.	02	Ver.	02	Unit	mm
Checked by	-	Drawing type	-	Release date	11/03/2021	Scale	7:1		
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ				Estimated Weight	-	Size	A3	Sheet no.	1 of 1



NOTAS

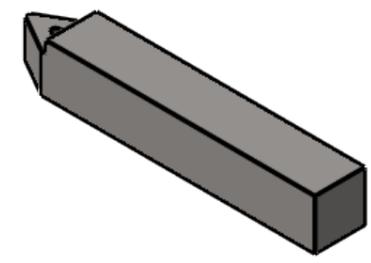
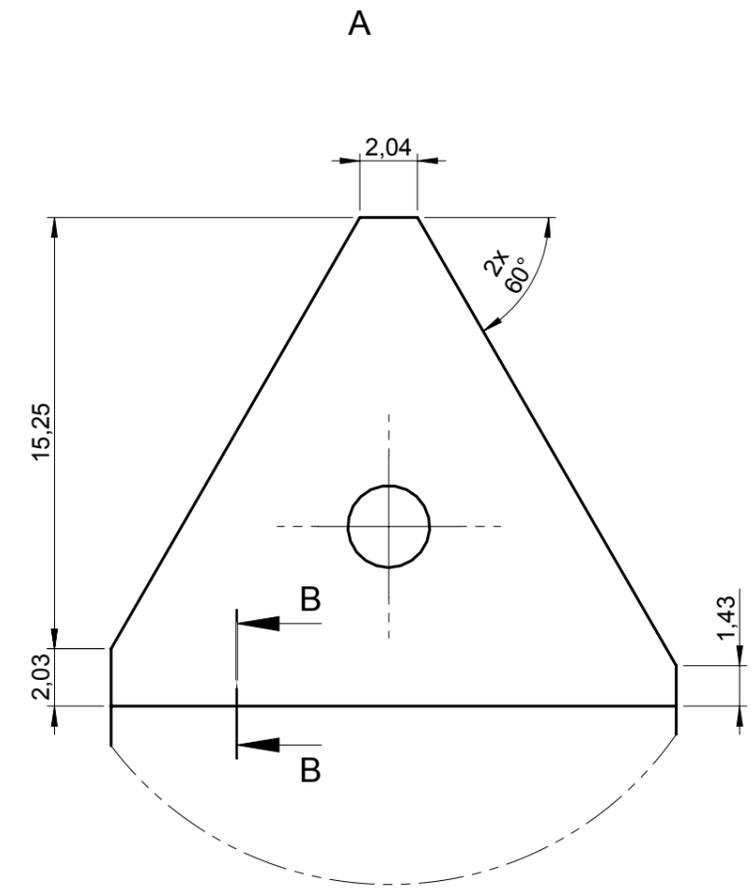
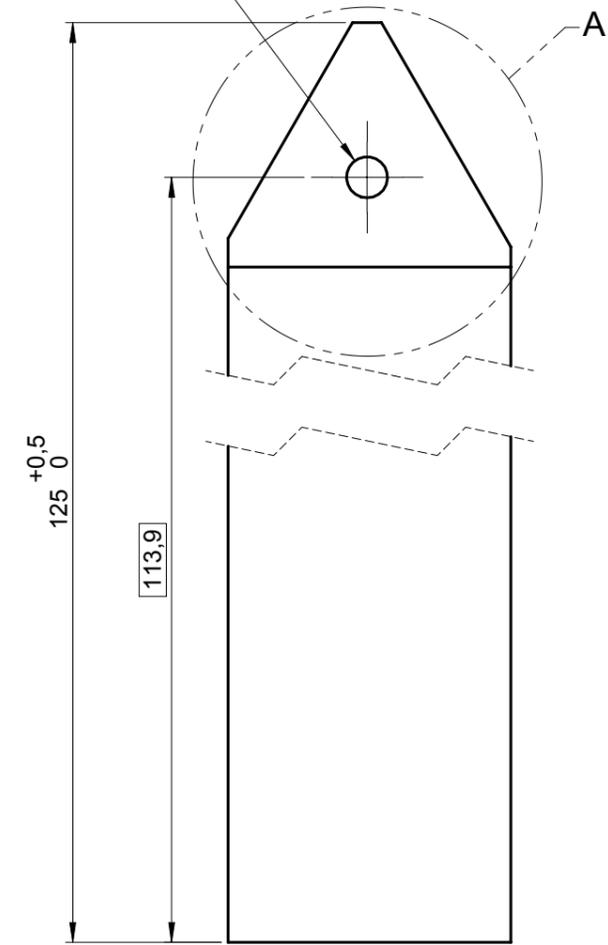
1. SE NÃO ESPECIFICADO, DIMENSÕES EM MILÍMETROS, TOLERÂNCIA GERAL DE $\pm 0,2\text{mm}$, $\pm 0^\circ 20'$.
2. QUEBRAR CANTOS VIVOS NA SUPERFÍCIE INFERIOR DO INSERTO E FURAÇÃO.
3. GD&T: ISO 1101
4. PLANO ORTOGONAL DA FERRAMENTA (PLANO DE MEDIÇÃO) REPRESENTA O PLANO PERPENDICULAR AO PLANO DE REF. DA FERRAMENTA (Pr) E PERPENDICULAR AO PLANO DO GUME (Ps).

1	1	MACHINING INSERT	AISI D6
ITEM NO.	QTY.	DESCRIPTION	MATERIAL
Title		INSERTO ÂNG. INCIDÊNCIA NEUTRO VER. C - AISI D6	
Modified by	-	Originator LUCAS B. KASAI	Drawing no. 03
Checked by	-	Drawing type	Ver. 02
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ		Release date 11/03/2021	Unit mm
		Estimated Weight	Scale 7:1
			Size A3
			Sheet no. 1 of 1



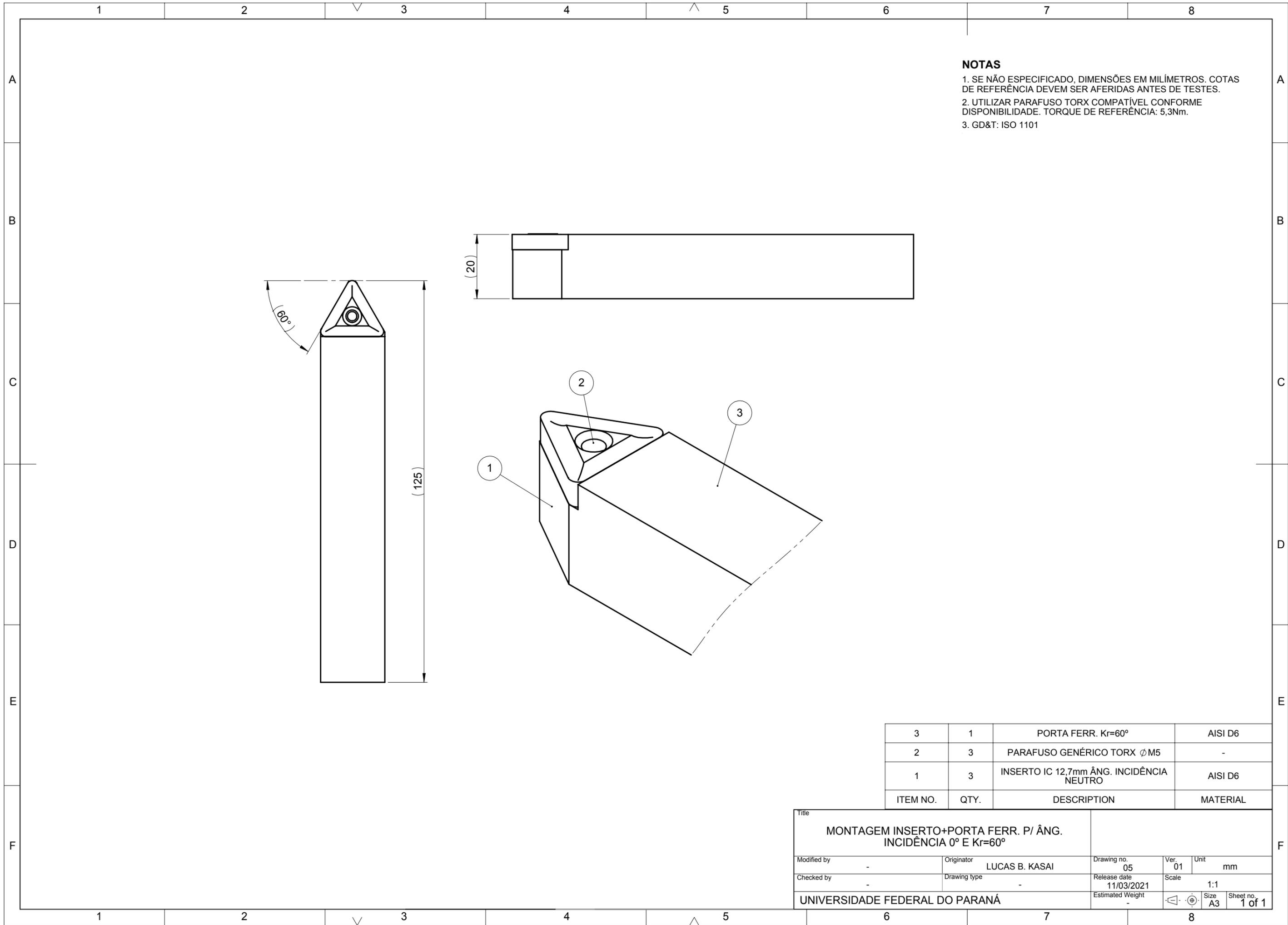
- NOTAS**
1. SE NÃO ESPECIFICADO, DIMENSÕES EM MILÍMETROS, TOLERÂNCIA GERAL DE $\pm 0,5\text{mm}$, $\pm 0^\circ 20'$.
 2. SE NÃO ESPECIFICADO, QUEBRAR CANTOS VIVOS.
 3. GD&T: ISO 1101

$\oplus \ominus 0,2$ $\varnothing 4,8$ THRU
ISO M5x0.8



1	1	PORTA FERRAMENTA 0°	AISI D6
ITEM NO.	QTY.	DESCRIPTION	MATERIAL

Title		PORTA FERRAMENTA Kr=60°							
Modified by	-	Originator	LUCAS B. KASAI	Drawing no.	04	Ver.	02	Unit	mm
Checked by	-	Drawing type	-	Release date	11/03/2021	Scale	2:1		
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ				Estimated Weight	-	Size	A3	Sheet no.	1 of 1



NOTAS

- 1. SE NÃO ESPECIFICADO, DIMENSÕES EM MILÍMETROS. COTAS DE REFERÊNCIA DEVEM SER AFERIDAS ANTES DE TESTES.
- 2. UTILIZAR PARAFUSO TORX COMPATÍVEL CONFORME DISPONIBILIDADE. TORQUE DE REFERÊNCIA: 5,3Nm.
- 3. GD&T: ISO 1101

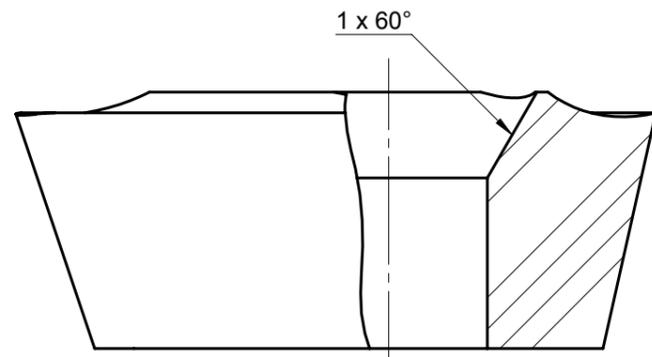
3	1	PORTA FERR. Kr=60°	AISI D6
2	3	PARAFUSO GENÉRICO TORX Ø M5	-
1	3	INSERTO IC 12,7mm ÂNG. INCIDÊNCIA NEUTRO	AISI D6
ITEM NO.	QTY.	DESCRIPTION	MATERIAL

Title			
MONTAGEM INSERTO+PORTA FERR. P/ ÂNG. INCIDÊNCIA 0° E Kr=60°			
Modified by	-	Originator	LUCAS B. KASAI
Checked by	-	Drawing type	-
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ		Drawing no.	05
		Ver.	01
		Unit	mm
		Release date	11/03/2021
		Scale	1:1
		Estimated Weight	-
		Size	A3
		Sheet no.	1 of 1

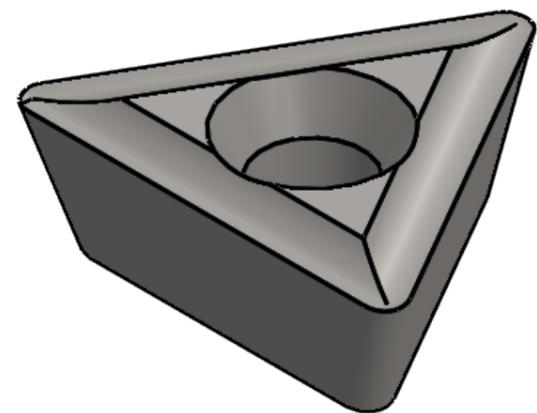
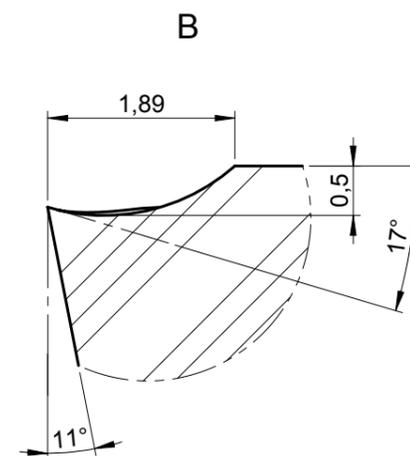
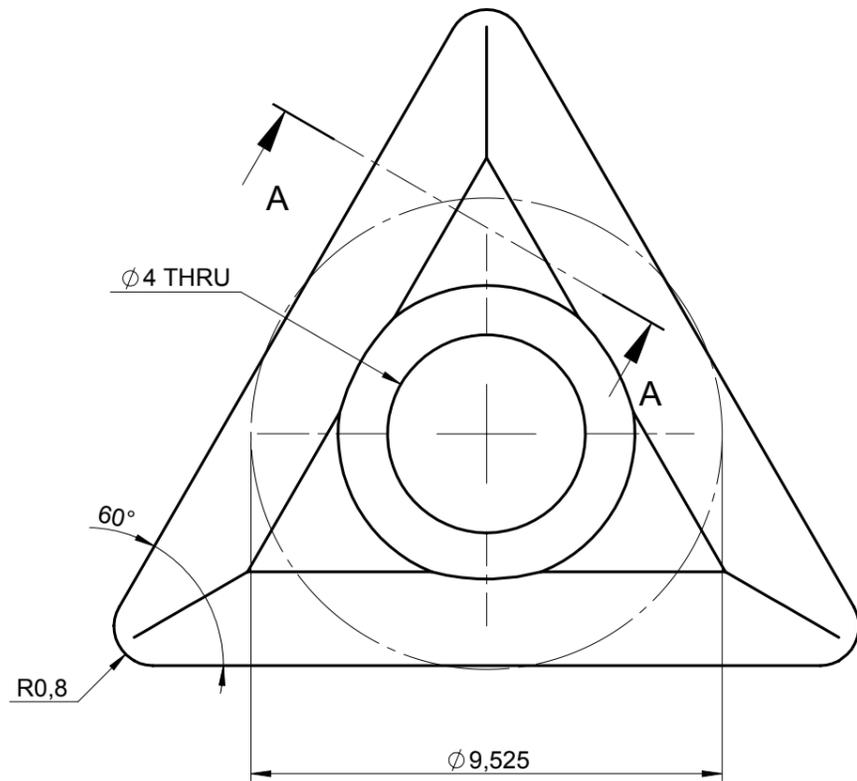
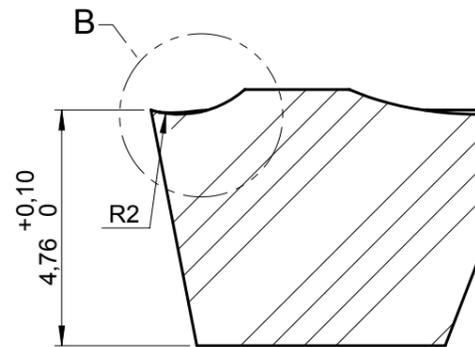
SEÇÃO B

PROJETO DETALHADO

DESENHOS DE FABRICAÇÃO E MONTAGEM DO PROJETO DETALHADO.



A-A
PLANO ORTOGONAL (P₀)

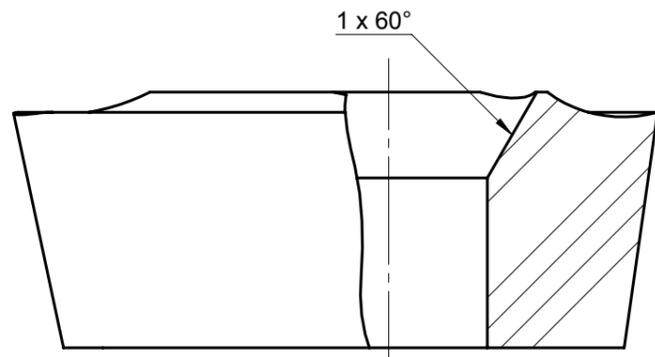


NOTAS

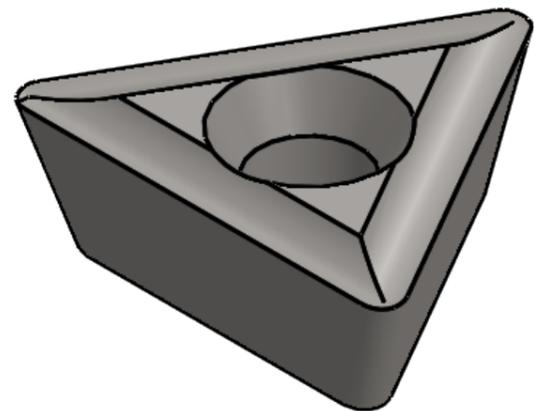
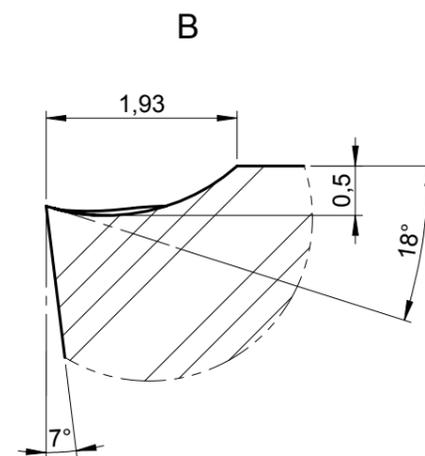
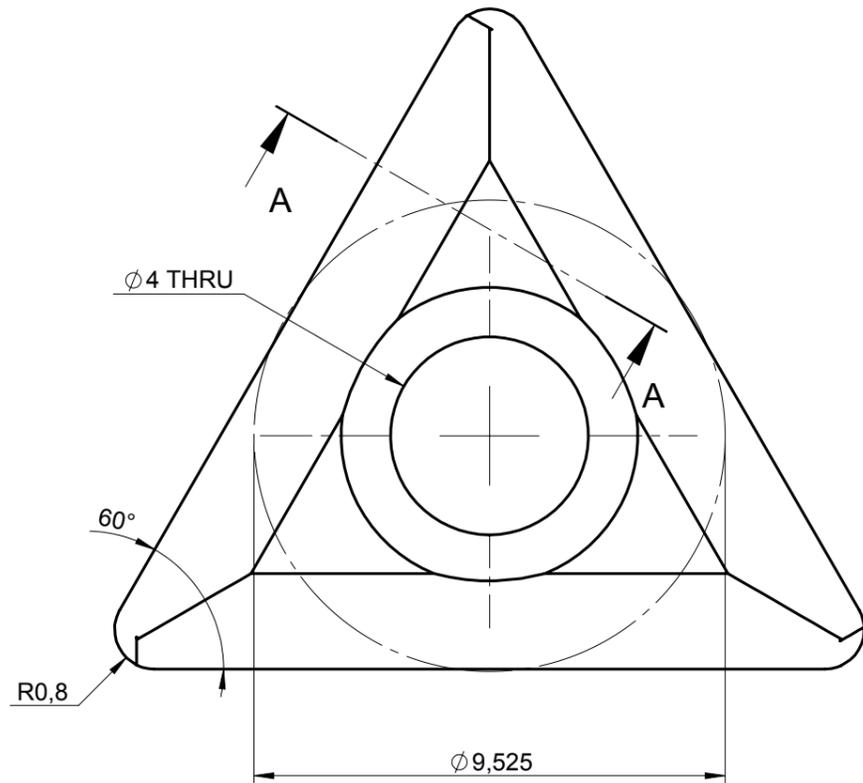
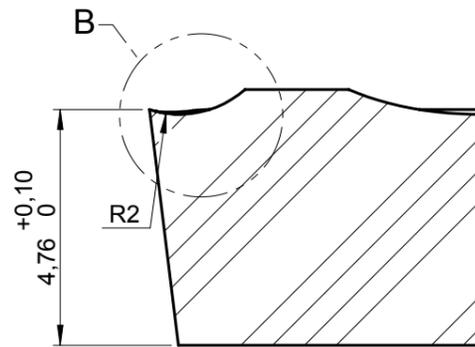
1. SE NÃO ESPECIFICADO, DIMENSÕES EM MILÍMETROS, TOLERÂNCIA GERAL DE $\pm 0,2\text{mm}$, $\pm 0^\circ 20'$.
2. QUEBRAR CANTOS VIVOS NA SUPERFÍCIE INFERIOR DO INSERTO E FURAÇÃO.
3. GD&T: ISO 1101
4. PLANO ORTOGONAL DA FERRAMENTA (PLANO DE MEDIÇÃO) REPRESENTA O PLANO PERPENDICULAR AO PLANO DE REF. DA FERRAMENTA (P_r) E PERPENDICULAR AO PLANO DO GUME (P_s).

1	1	MACHINING INSERT	AISI D6
ITEM NO.	QTY.	DESCRIPTION	MATERIAL

Title		INSERTO ÂNG. INCIDÊNCIA 11° - AISI D6		
Modified by	-	Originator	LUCAS B. KASAI	Drawing no.
Checked by	-	Drawing type	-	Ver.
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ		Release date	10/02/2021	Unit
		Estimated Weight	-	Scale
				7:1
				Size
				A3
				Sheet no.
				1 of 1



A-A
PLANO ORTOGONAL (P₀)

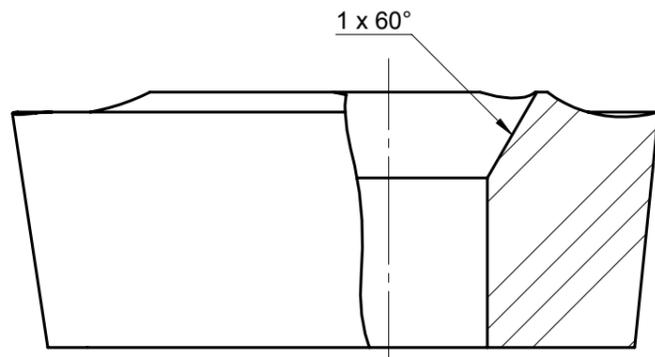


NOTAS

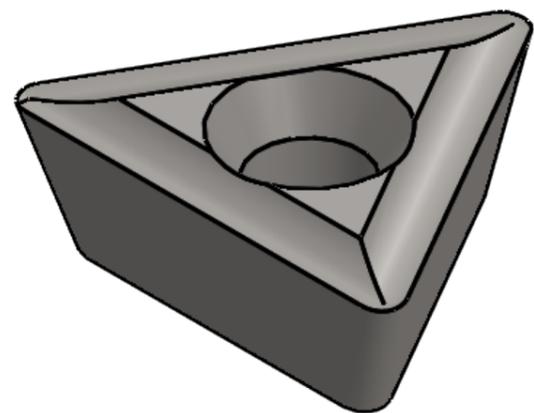
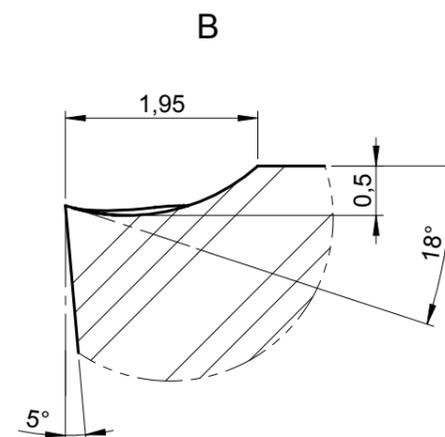
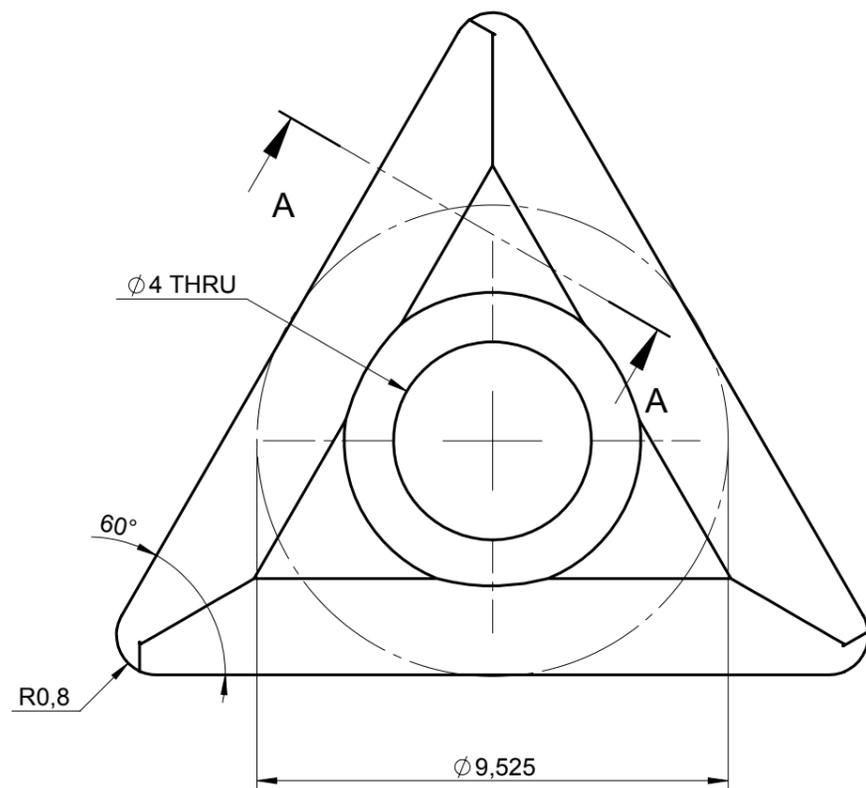
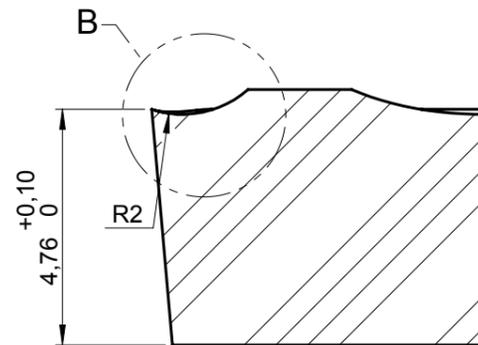
1. SE NÃO ESPECIFICADO, DIMENSÕES EM MILÍMETROS, TOLERÂNCIA GERAL DE $\pm 0,2\text{mm}$, $\pm 0^\circ 20'$.
2. QUEBRAR CANTOS VIVOS NA SUPERFÍCIE INFERIOR DO INSERTO E FURAÇÃO.
3. GD&T: ISO 1101
4. PLANO ORTOGONAL DA FERRAMENTA (PLANO DE MEDIÇÃO) REPRESENTA O PLANO PERPENDICULAR AO PLANO DE REF. DA FERRAMENTA (P_r) E PERPENDICULAR AO PLANO DO GUME (P_s).

1	1	MACHINING INSERT	AISI D6
ITEM NO.	QTY.	DESCRIPTION	MATERIAL

Title		INSERTO ÂNG. INCIDÊNCIA 7° - AISI D6							
Modified by	-	Originator	LUCAS B. KASAI	Drawing no.	02	Ver.	01	Unit	mm
Checked by	-	Drawing type	-	Release date	10/02/2021	Scale	7:1		
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ				Estimated Weight	-	Size	A3	Sheet no.	1 of 1



A-A
PLANO ORTOGONAL (P₀)

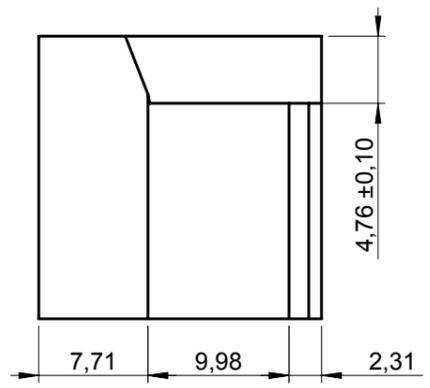
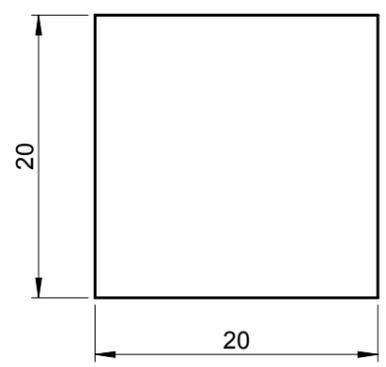


NOTAS

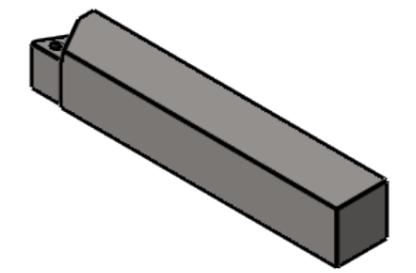
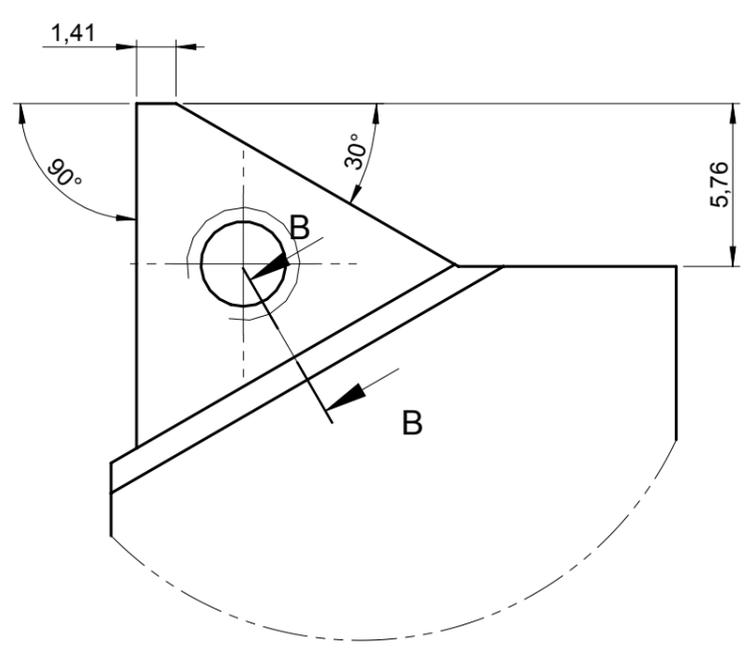
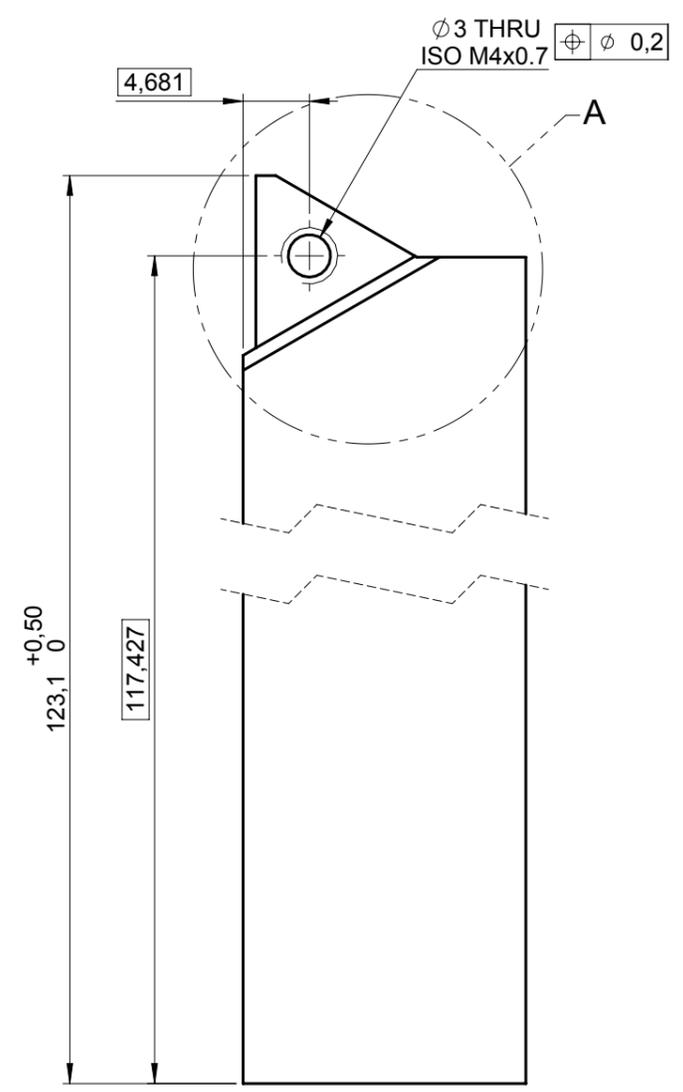
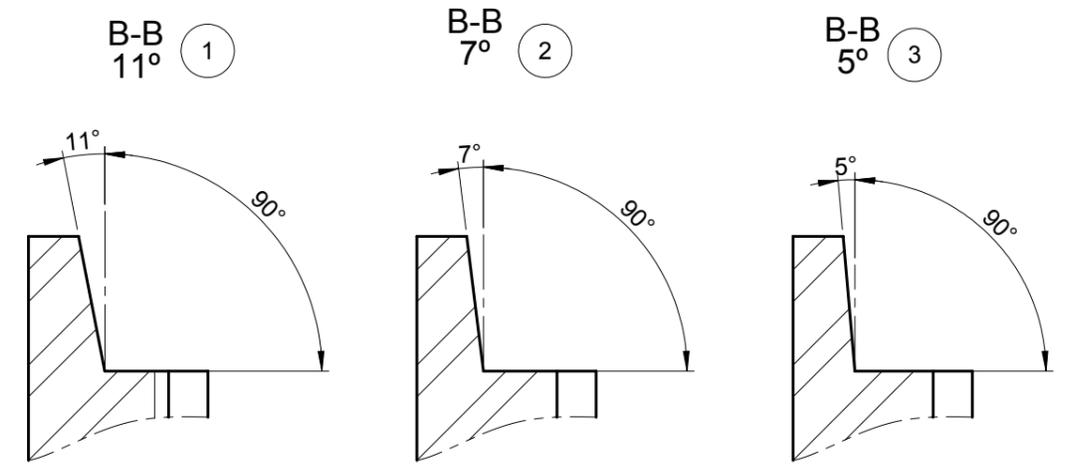
1. SE NÃO ESPECIFICADO, DIMENSÕES EM MILÍMETROS, TOLERÂNCIA GERAL DE $\pm 0,2\text{mm}$, $\pm 0^\circ 20'$.
2. QUEBRAR CANTOS VIVOS NA SUPERFÍCIE INFERIOR DO INSERTO E FURAÇÃO.
3. GD&T: ISO 1101
4. PLANO ORTOGONAL DA FERRAMENTA (PLANO DE MEDIÇÃO) REPRESENTA O PLANO PERPENDICULAR AO PLANO DE REF. DA FERRAMENTA (P_r) E PERPENDICULAR AO PLANO DO GUME (P_s).

1	1	MACHINING INSERT	AISI D6
ITEM NO.	QTY.	DESCRIPTION	MATERIAL

Title		INSERTO ÂNG. INCIDÊNCIA 5° - AISI D6							
Modified by	-	Originator	LUCAS B. KASAI	Drawing no.	03	Ver.	01	Unit	mm
Checked by	-	Drawing type	-	Release date	10/02/2021	Scale	7:1		
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ				Estimated Weight	-	Size	A3	Sheet no.	1 of 1



NOTAS
 1. SE NÃO ESPECIFICADO, DIMENSÕES EM MILÍMETROS, TOLERÂNCIA GERAL DE ±0,5mm, ±0°20'.
 2. SE NÃO ESPECIFICADO, QUEBRAR CANTOS VIVOS.
 3. GD&T: ISO 1101



ITEM NO.	QTY.	DESCRIPTION	MATERIAL
1	1	PORTA FERRAMENTA 11°	SAE 1020
2	1	PORTA FERRAMENTA 7°	SAE 1020
3	1	PORTA FERRAMENTA 5°	SAE 1020

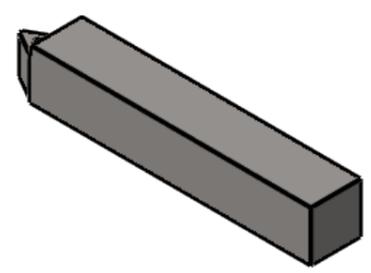
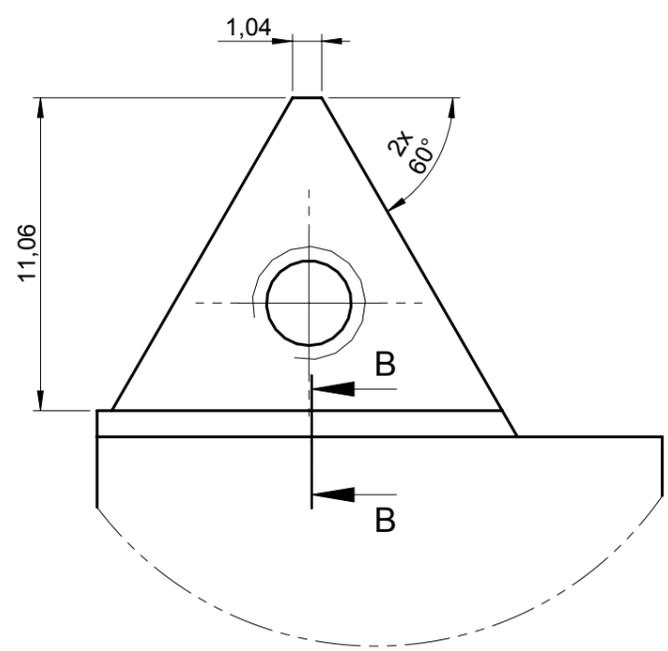
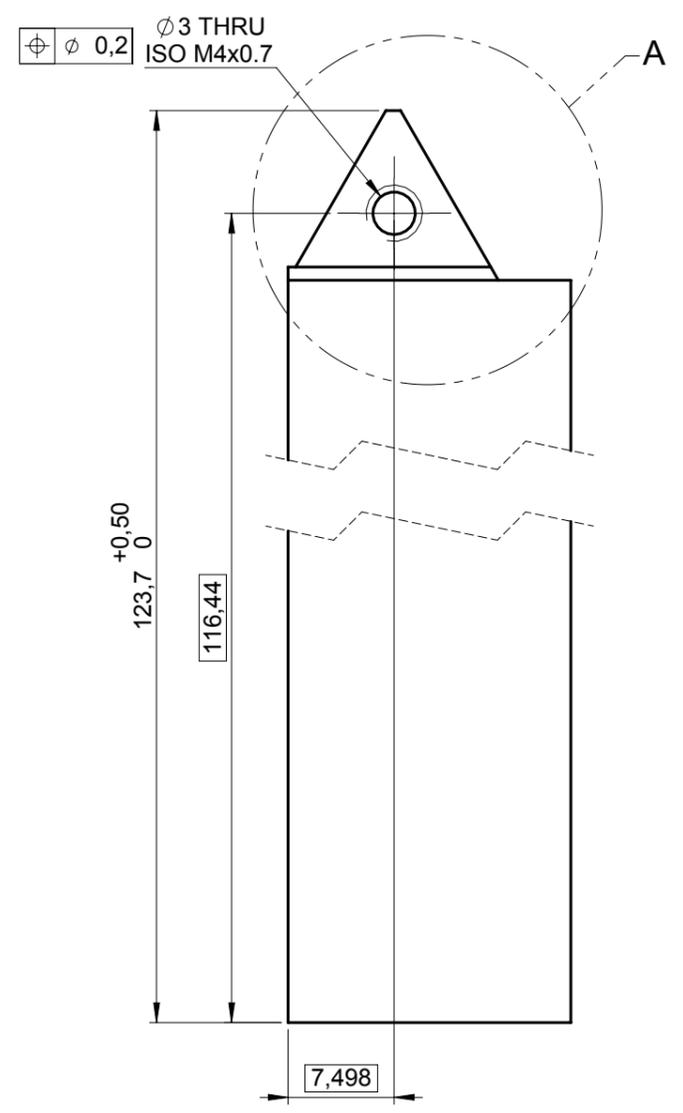
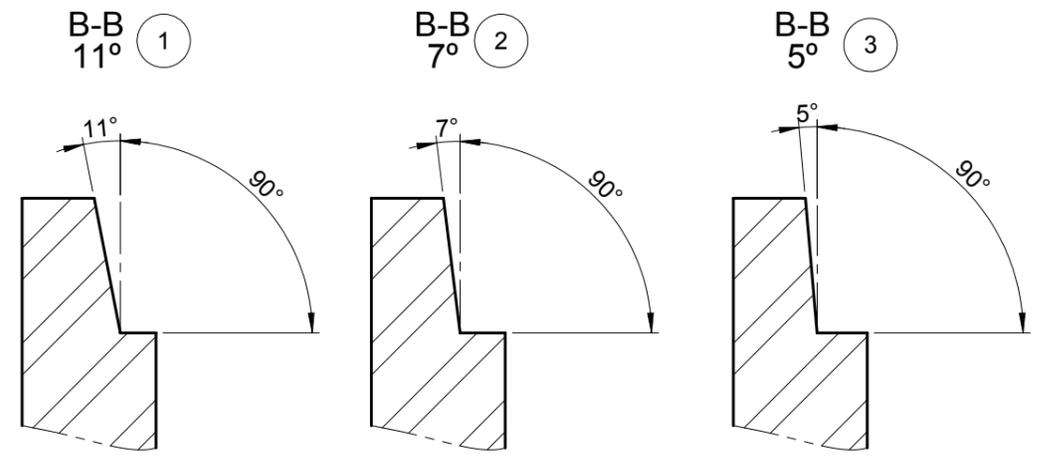
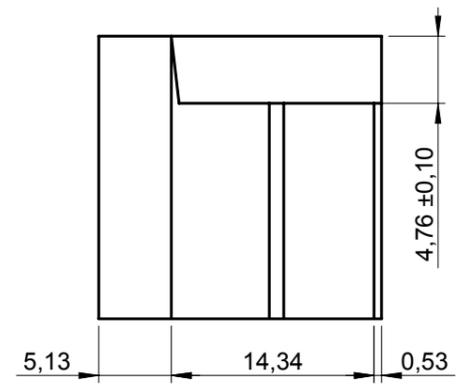
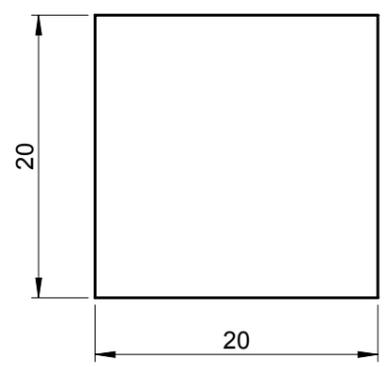
Title									
PORTA FERRAMENTA Kr=90°: 3 CONFIGURAÇÕES									
Modified by	-	Originator	LUCAS B. KASAI	Drawing no.	04	Ver.	01	Unit	mm
Checked by	-	Drawing type	-	Release date	10/02/2021	Scale	2:1		
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ				Estimated Weight	-	Size	A3	Sheet no.	1 of 1

1 2 3 4 5 6 7 8

A B C D E F

A B C D E F

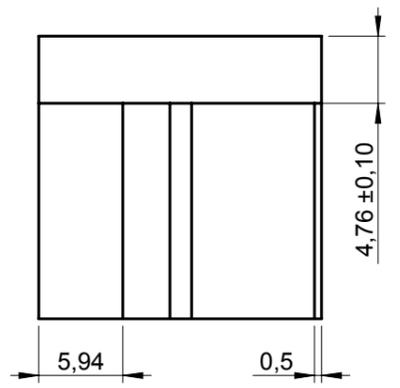
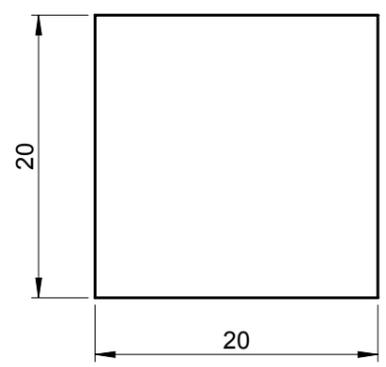
NOTAS
 1. SE NÃO ESPECIFICADO, DIMENSÕES EM MILÍMETROS, TOLERÂNCIA GERAL DE $\pm 0,5\text{mm}$, $\pm 0^\circ 20'$.
 2. SE NÃO ESPECIFICADO, QUEBRAR CANTOS VIVOS.
 3. GD&T: ISO 1101



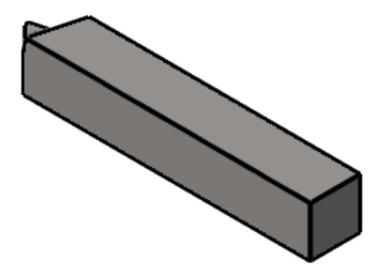
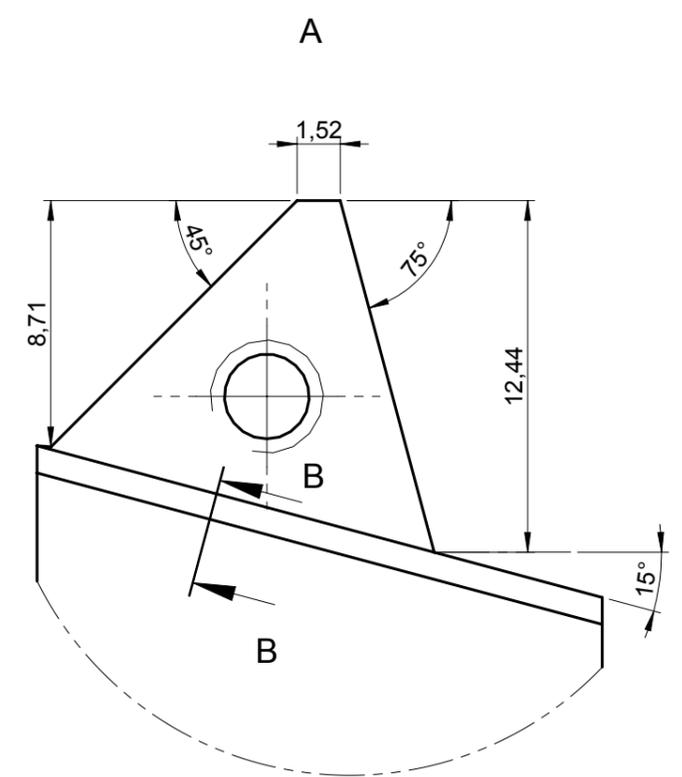
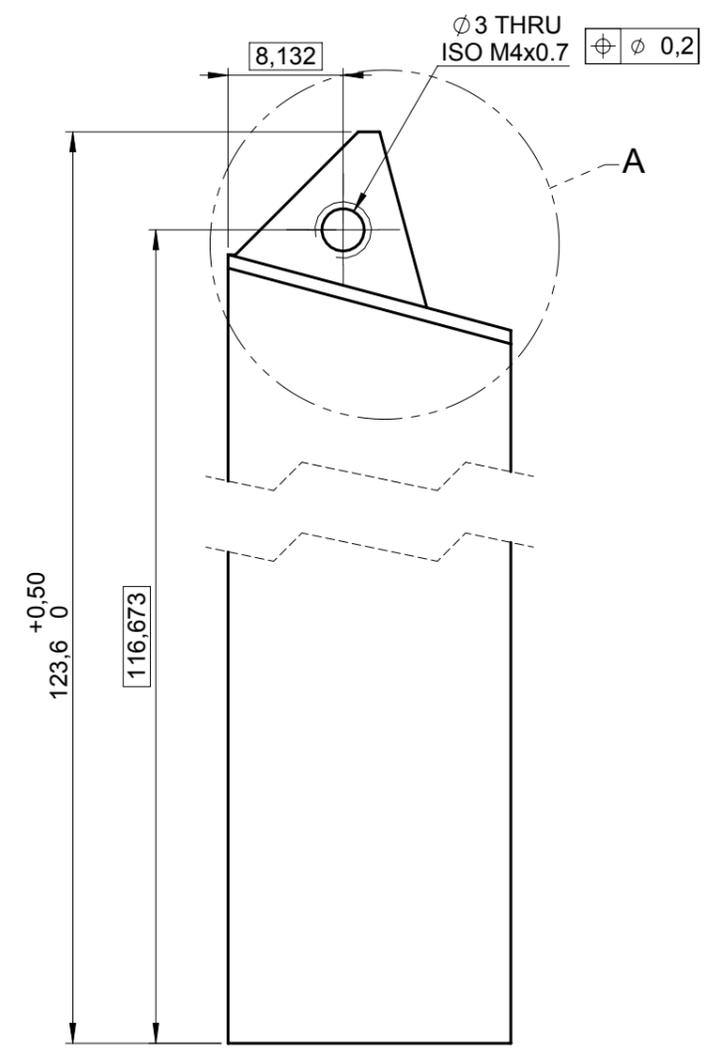
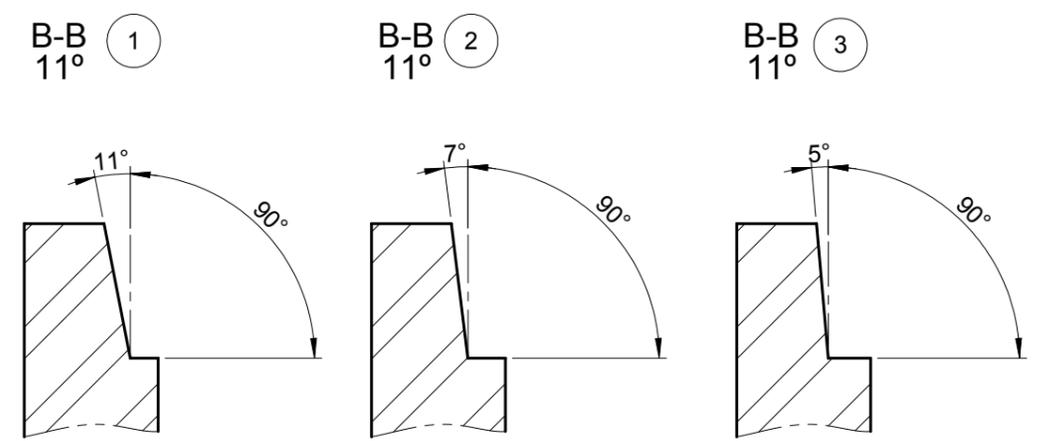
1	1	PORTA FERRAMENTA 11°	SAE 1020
2	1	PORTA FERRAMENTA 7°	SAE 1020
3	1	PORTA FERRAMENTA 5°	SAE 1020
ITEM NO.	QTY.	DESCRIPTION	MATERIAL

Title									
PORTA FERRAMENTA Kr=60°: 3 CONFIGURAÇÕES									
Modified by	-	Originator	LUCAS B. KASAI	Drawing no.	05	Ver.	01	Unit	mm
Checked by	-	Drawing type	-	Release date	10/02/2021	Scale	2:1		
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ				Estimated Weight	-	Size	A3	Sheet no.	1 of 1

1 2 3 4 5 6 7 8

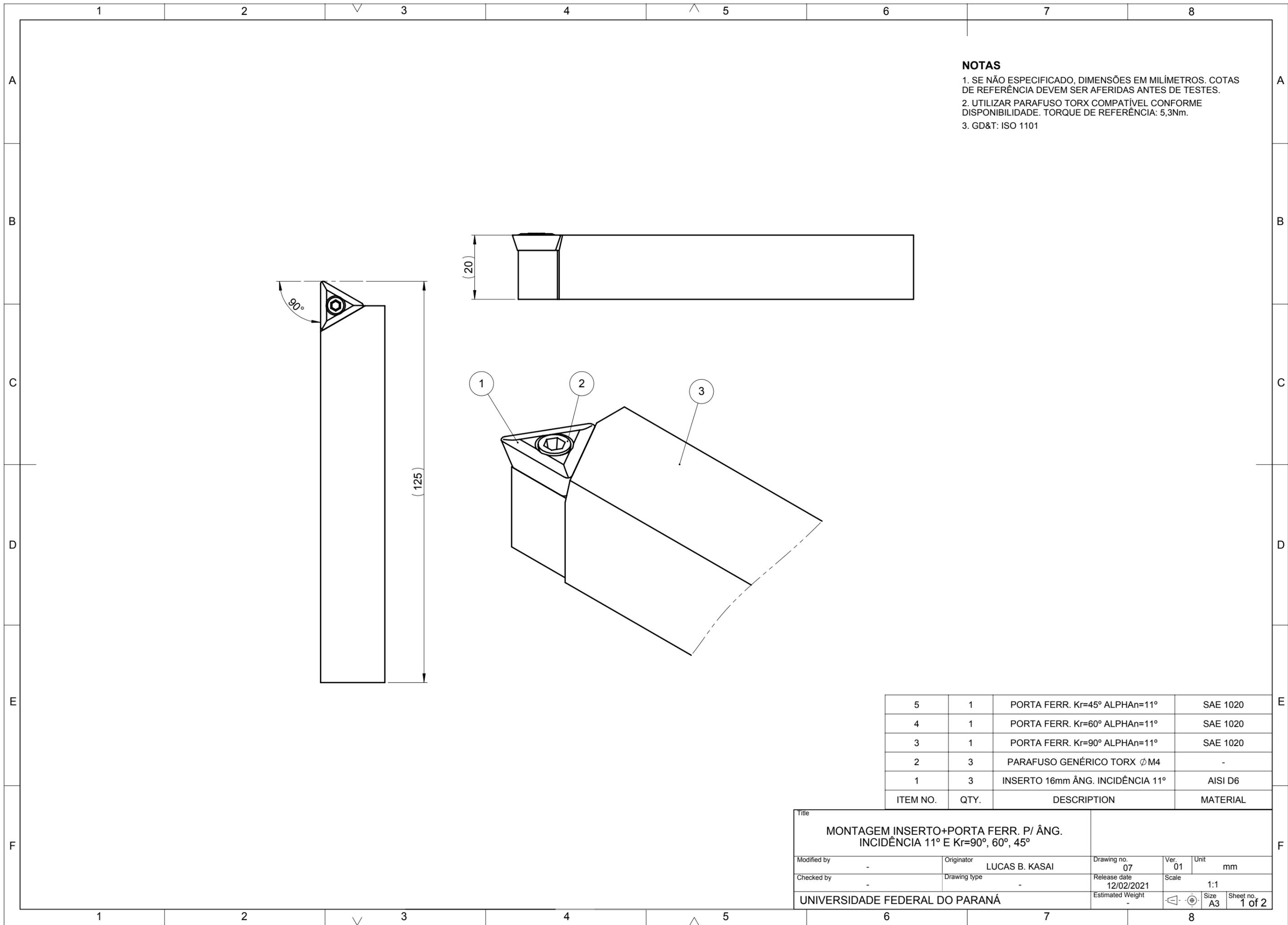


NOTAS
 1. SE NÃO ESPECIFICADO, DIMENSÕES EM MILÍMETROS, TOLERÂNCIA GERAL DE ±0,5mm, ±0°20'.
 2. SE NÃO ESPECIFICADO, QUEBRAR CANTOS VIVOS.
 3. GD&T: ISO 1101



1	1	PORTA FERRAMENTA 11°	SAE 1020
2	1	PORTA FERRAMENTA 7°	SAE 1020
3	1	PORTA FERRAMENTA 5°	SAE 1020
ITEM NO.	QTY.	DESCRIPTION	MATERIAL

Title PORTA FERRAMENTA Kr=45°: 3 CONFIGURAÇÕES				
Modified by -	Originator LUCAS B. KASAI	Drawing no. 06	Ver. 01	Unit mm
Checked by -	Drawing type -	Release date 10/02/2021	Scale 2:1	
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ		Estimated Weight -	Size A3	Sheet no. 1 of 1

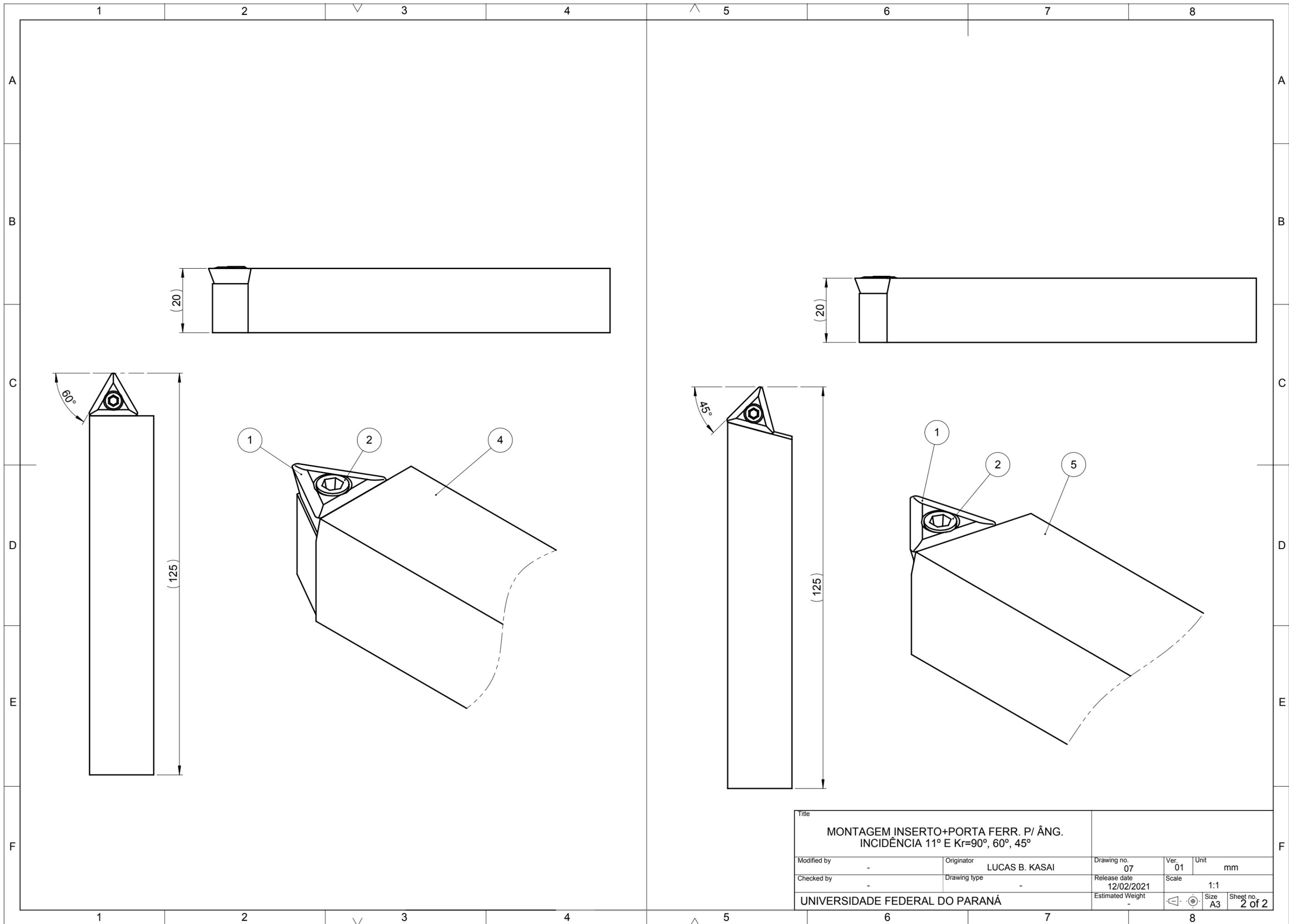


NOTAS

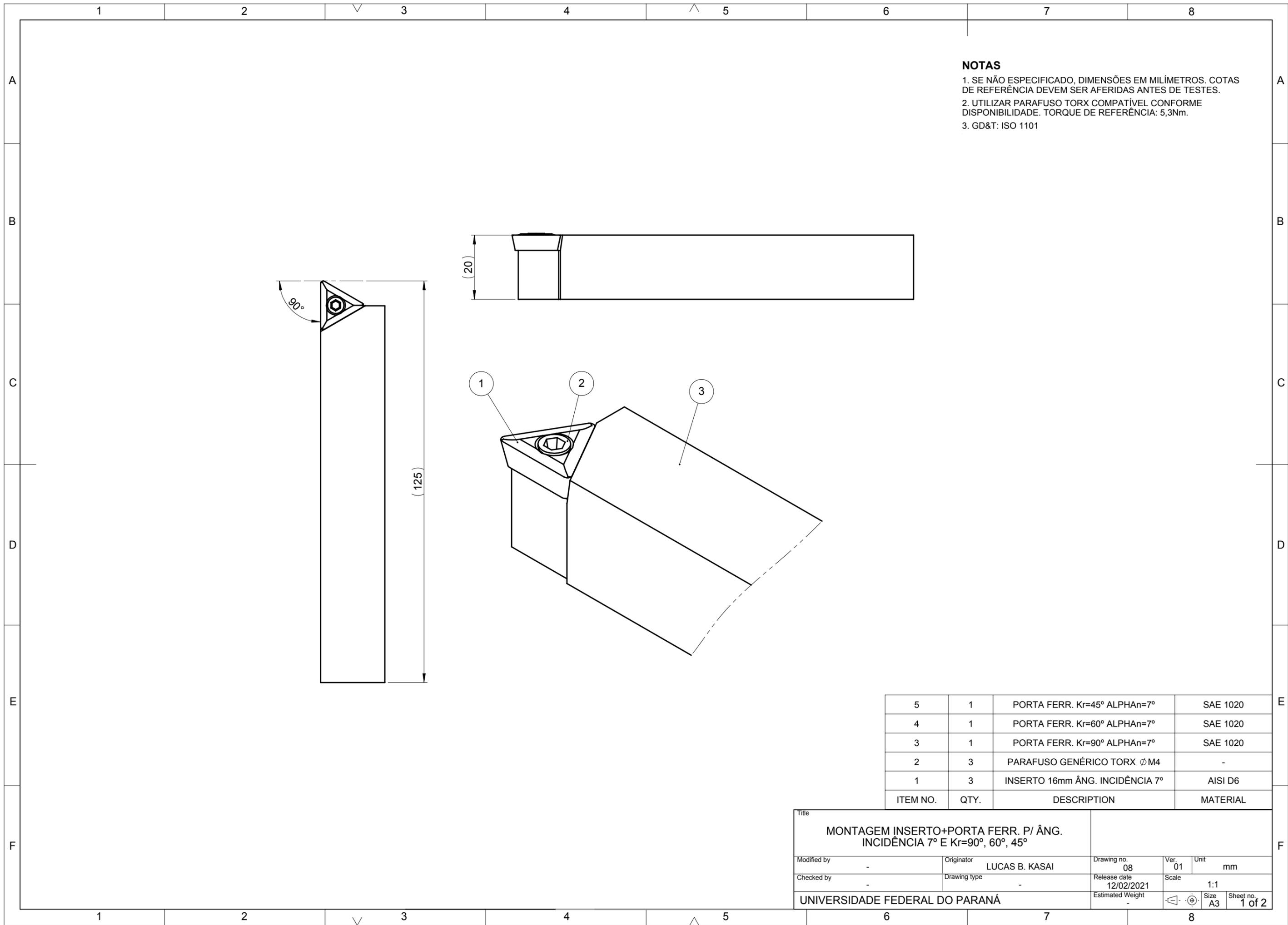
- 1. SE NÃO ESPECIFICADO, DIMENSÕES EM MILÍMETROS. COTAS DE REFERÊNCIA DEVEM SER AFERIDAS ANTES DE TESTES.
- 2. UTILIZAR PARAFUSO TORX COMPATÍVEL CONFORME DISPONIBILIDADE. TORQUE DE REFERÊNCIA: 5,3Nm.
- 3. GD&T: ISO 1101

5	1	PORTA FERR. Kr=45° ALPHAn=11°	SAE 1020
4	1	PORTA FERR. Kr=60° ALPHAn=11°	SAE 1020
3	1	PORTA FERR. Kr=90° ALPHAn=11°	SAE 1020
2	3	PARAFUSO GENÉRICO TORX ØM4	-
1	3	INSERTO 16mm ÂNG. INCIDÊNCIA 11°	AISI D6
ITEM NO.	QTY.	DESCRIPTION	MATERIAL

Title									
MONTAGEM INSERTO+PORTA FERR. P/ ÂNG. INCIDÊNCIA 11° E Kr=90°, 60°, 45°									
Modified by	-	Originator	LUCAS B. KASAI	Drawing no.	07	Ver.	01	Unit	mm
Checked by	-	Drawing type	-	Release date	12/02/2021	Scale	1:1		
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ				Estimated Weight	-	Size	A3	Sheet no.	1 of 2



Title											
MONTAGEM INSERTO+PORTA FERR. P/ ÂNG. INCIDÊNCIA 11° E Kr=90°, 60°, 45°											
Modified by	-	Originator	LUCAS B. KASAI	Drawing no.	07	Ver.	01	Unit	mm		
Checked by	-	Drawing type	-	Release date	12/02/2021	Scale	1:1				
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ				Estimated Weight	-			Size	A3	Sheet no.	2 of 2

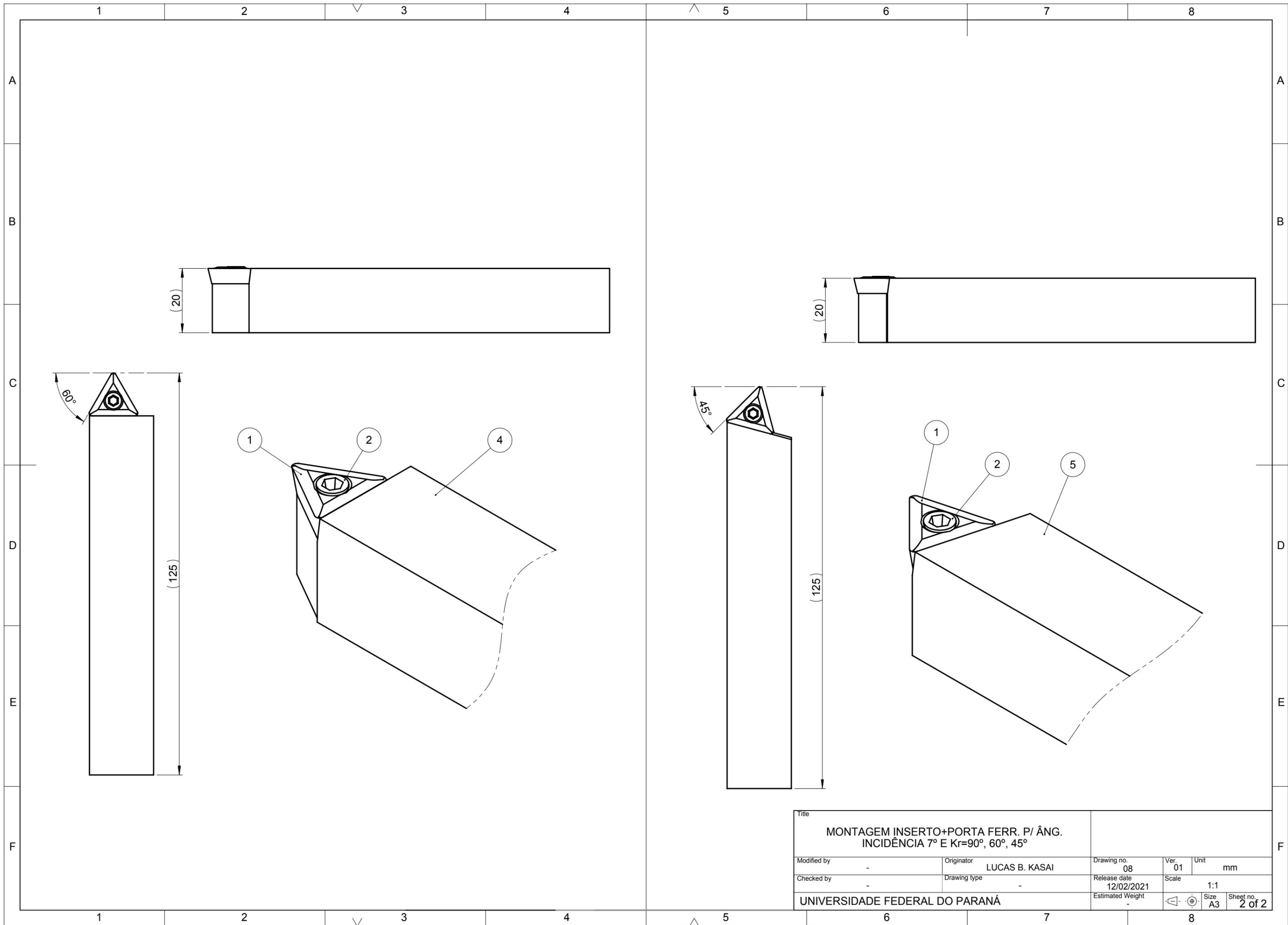


NOTAS

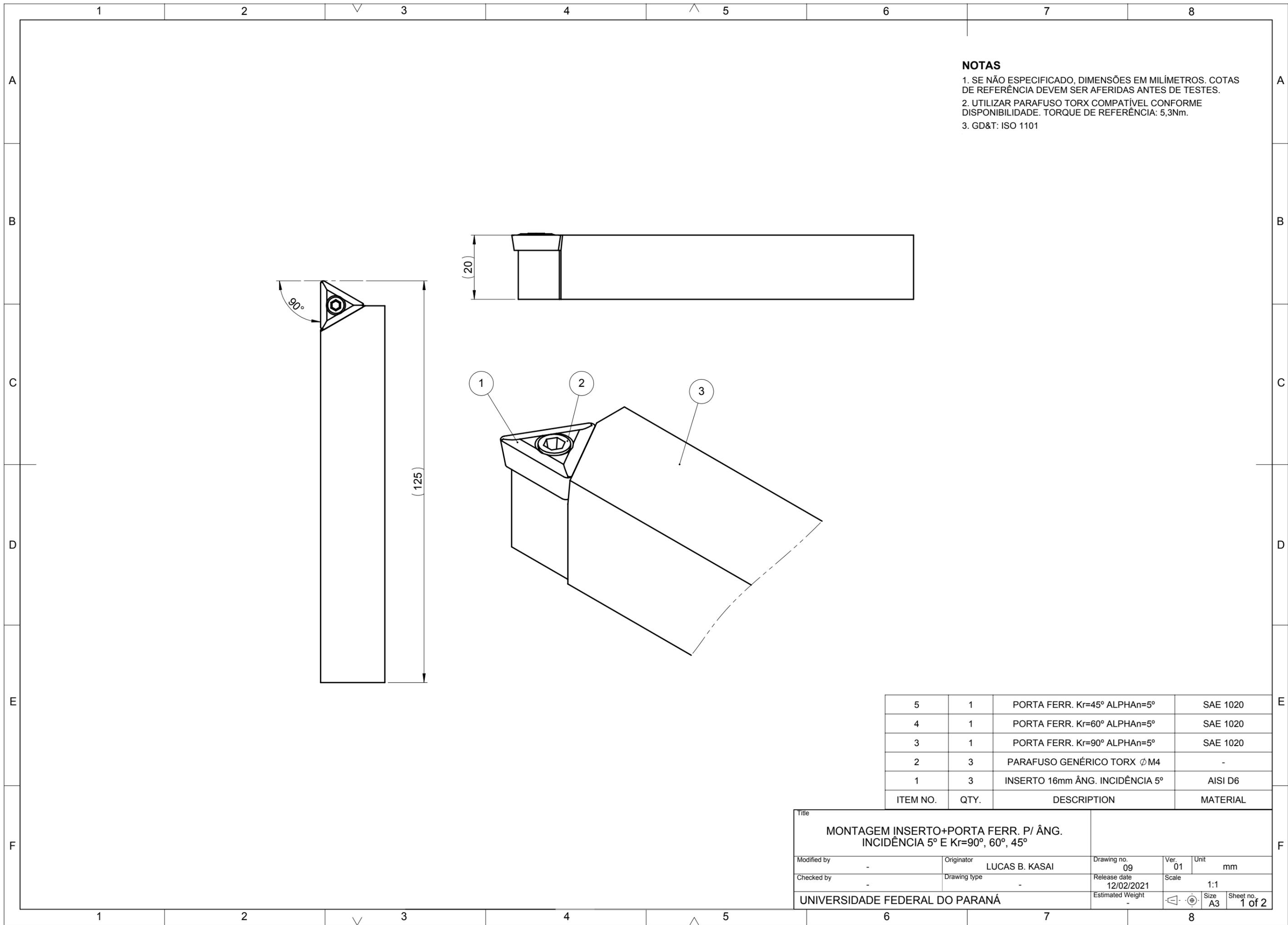
- 1. SE NÃO ESPECIFICADO, DIMENSÕES EM MILÍMETROS. COTAS DE REFERÊNCIA DEVEM SER AFERIDAS ANTES DE TESTES.
- 2. UTILIZAR PARAFUSO TORX COMPATÍVEL CONFORME DISPONIBILIDADE. TORQUE DE REFERÊNCIA: 5,3Nm.
- 3. GD&T: ISO 1101

5	1	PORTA FERR. Kr=45° ALPHAn=7°	SAE 1020
4	1	PORTA FERR. Kr=60° ALPHAn=7°	SAE 1020
3	1	PORTA FERR. Kr=90° ALPHAn=7°	SAE 1020
2	3	PARAFUSO GENÉRICO TORX ØM4	-
1	3	INSERTO 16mm ÂNG. INCIDÊNCIA 7°	AISI D6
ITEM NO.	QTY.	DESCRIPTION	MATERIAL

Title									
MONTAGEM INSERTO+PORTA FERR. P/ ÂNG. INCIDÊNCIA 7° E Kr=90°, 60°, 45°									
Modified by	-	Originator	LUCAS B. KASAI	Drawing no.	08	Ver.	01	Unit	mm
Checked by	-	Drawing type	-	Release date	12/02/2021	Scale	1:1		
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ				Estimated Weight	-	Size	A3	Sheet no.	1 of 2



Title				
MONTAGEM INSERTO+PORTA FERR. P/ ÂNG. INCIDÊNCIA 7° E Kr=90°, 60°, 45°				
Modified by	-	Originator	LUCAS B. KASAI	Drawing no.
Checked by	-	Drawing type	-	08
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ		Estimated Weight	-	Ver.
				01
				Unit
				mm
				Scale
				1:1
				Size
				A3
				Sheet no.
				2 of 2

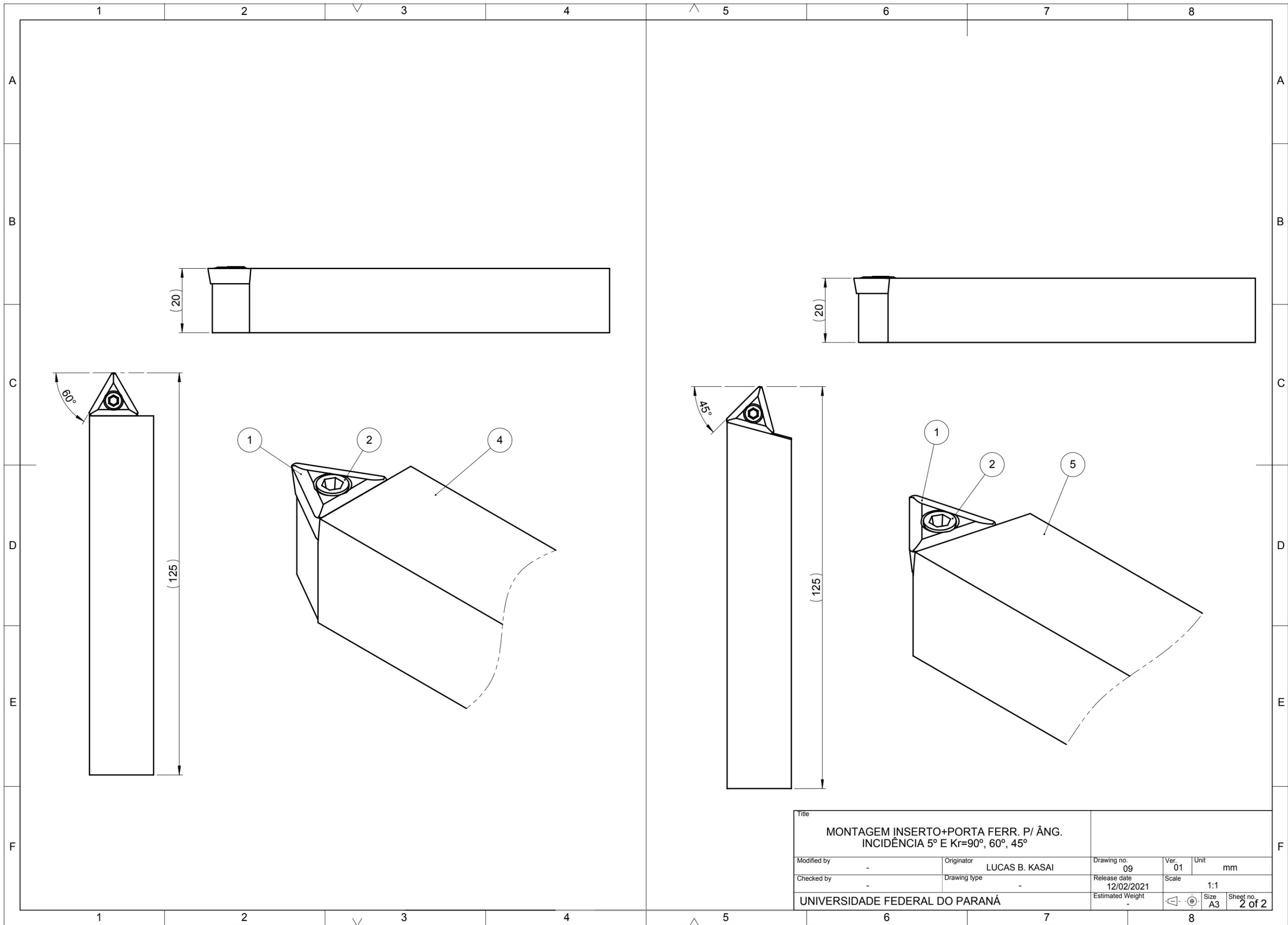


NOTAS

- 1. SE NÃO ESPECIFICADO, DIMENSÕES EM MILÍMETROS. COTAS DE REFERÊNCIA DEVEM SER AFERIDAS ANTES DE TESTES.
- 2. UTILIZAR PARAFUSO TORX COMPATÍVEL CONFORME DISPONIBILIDADE. TORQUE DE REFERÊNCIA: 5,3Nm.
- 3. GD&T: ISO 1101

ITEM NO.	QTY.	DESCRIPTION	MATERIAL
5	1	PORTA FERR. Kr=45° ALPHAn=5°	SAE 1020
4	1	PORTA FERR. Kr=60° ALPHAn=5°	SAE 1020
3	1	PORTA FERR. Kr=90° ALPHAn=5°	SAE 1020
2	3	PARAFUSO GENÉRICO TORX ØM4	-
1	3	INSERTO 16mm ÂNG. INCIDÊNCIA 5°	AISI D6

Title MONTAGEM INSERTO+PORTA FERR. P/ ÂNG. INCIDÊNCIA 5° E Kr=90°, 60°, 45°									
Modified by	-	Originator	LUCAS B. KASAI	Drawing no.	09	Ver.	01	Unit	mm
Checked by	-	Drawing type	-	Release date	12/02/2021	Scale	1:1		
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ				Estimated Weight	-	Size	A3	Sheet no.	1 of 2



Title				
MONTAGEM INSERTO+PORTA FERR. P/ ÂNG. INCIDÊNCIA 5° E Kr=90°, 60°, 45°				
Modified by	-	Originator	LUCAS B. KASAI	Drawing no.
Checked by	-	Drawing type	-	09
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ		Release date	12/02/2021	Ver.
		Estimated Weight	-	01
		Scale	1:1	Unit
		Size	A3	mm
		Sheet no.	2 of 2	

SEÇÃO C

DESENHOS DE ESTUDO: PROJETO CONCEITUAL E PRELIMINAR.

Em ordem:

Projeto conceitual inicial, dimensionamento com base no existente no mercado, conceito de processo de remoção de material e conceito de dispositivo para realizar a usinagem da superfície de saída após separação do inserto do tarugo (PDF – 4 páginas);

Esboço de sequencia de processos para usinagem do inserto (PDF – 3 páginas);

Protótipo preliminar, sem raio de ponta, baseado na solução conceitual estudada (PDF – 1 página);

Projeto de chapa para estudo de viabilidade do projeto no software CAM (PDF – 1 página);

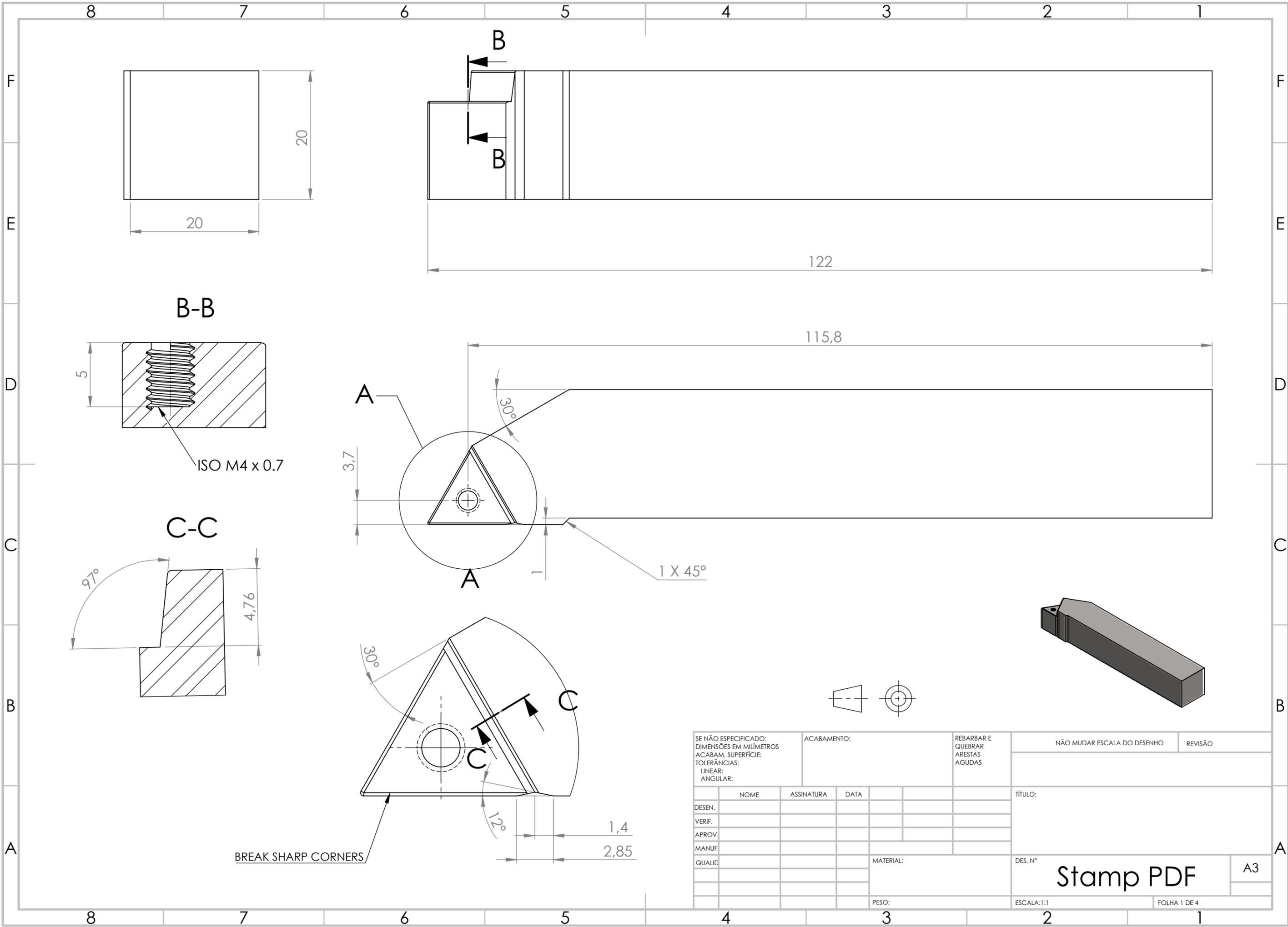
Projeto de chapa para estudo de viabilidade do projeto no software CAM, considerando fresa esférica 4mm (PDF – 1 página);

Protótipo de inserto com ângulo de saída neutro (0°) e quebra-cavacos construído com fresa esférica 4mm (PDF – 1 página);

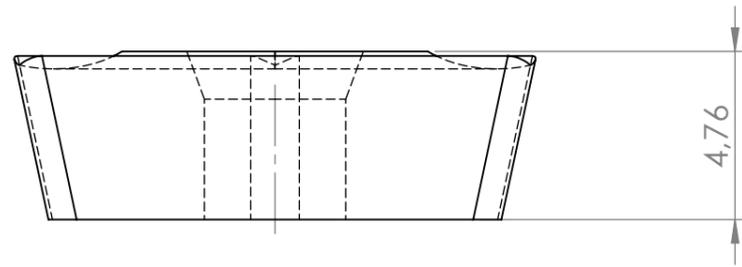
Projeto de chapa para estudo de viabilidade no software CAM e centro de usinagem (PDF – 1 página);

Protótipo de inserto para teste de viabilidade de fabricação, conforme descrito no item 3.2.9 (PDF – 1 página);

Projeto de dispositivo para remoção de rebarba e retífica da superfície inferior do inserto fabricado (PDF – 1 página).



SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS		ACABAMENTO:		REBARBAR E QUEBRAR ARESTAS AGUDAS		NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO		REVISÃO	
ACABAM. SUPERFÍCIE: TOLERÂNCIAS: LINEAR: ANGULAR:									
								TÍTULO:	
DESEN.		NOME		ASSINATURA		DATA			
VERIF.									
APROV.									
MANUF									
QUALID								DES. Nº	
								Stamp PDF	
								A3	
								ESCALA:1:1	
								FOLHA 1 DE 4	
								PESO:	

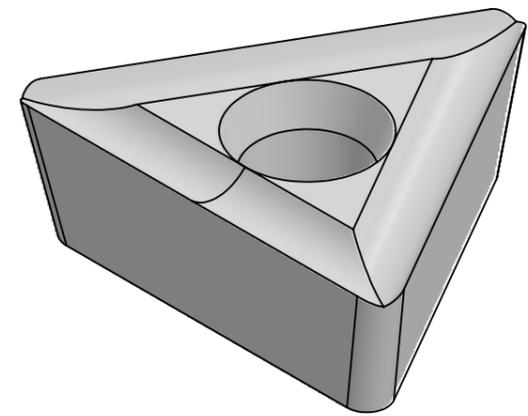
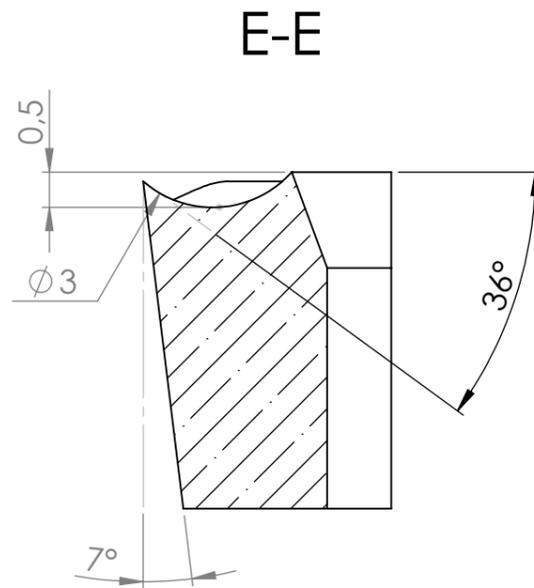
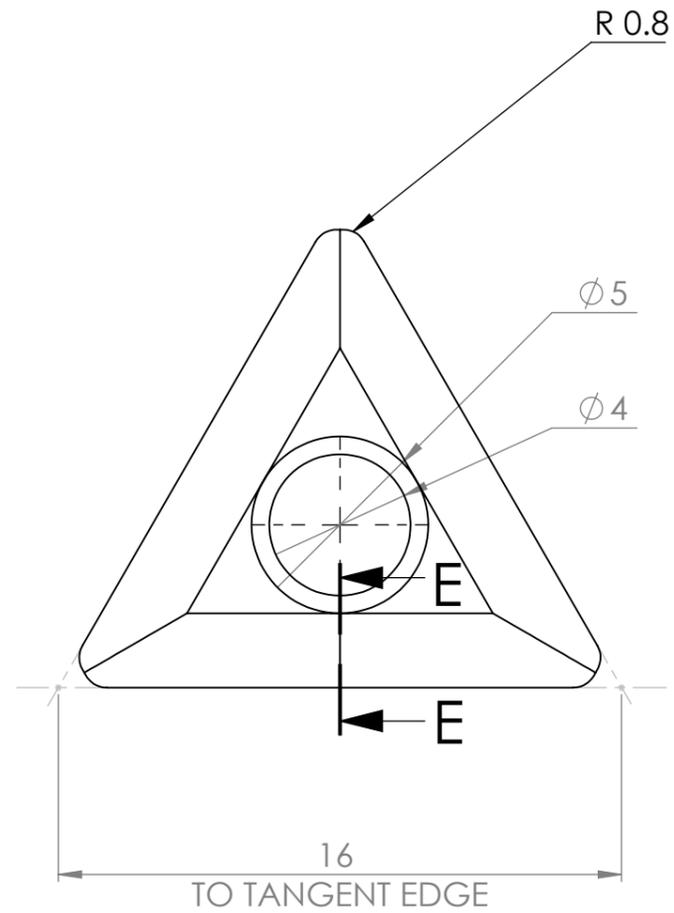


REF.
 Fresa topo esfera 3mm
 Área de corte 5mm
 Haste 3mm
 Comprimento total 50mm
 HRC45-50
 WorldTools, Joinville SC

 Sulvidias - Fabricação e Afiação de Ferramentas de Corte
 Sítio Cercado - Curitiba

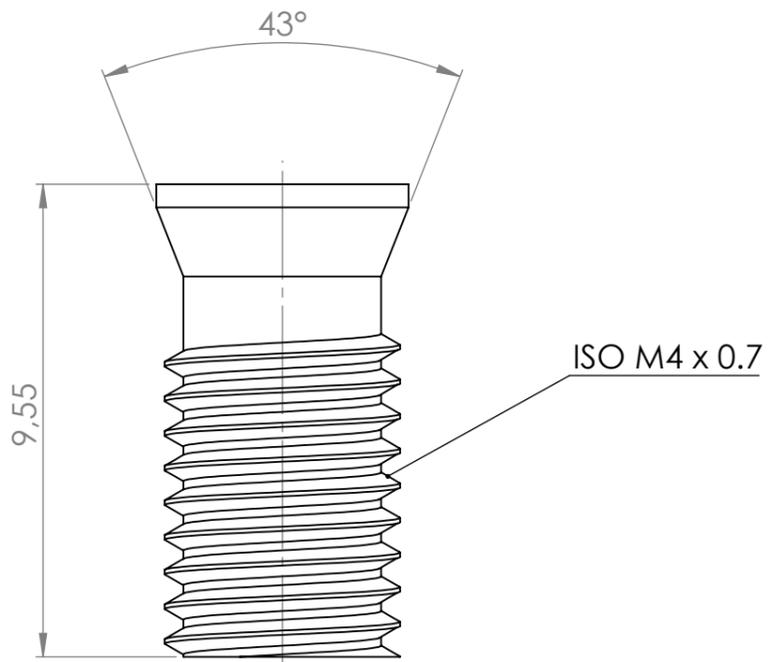
Jedel Ferramentas - São José dos Campos

C.E.T Ferramentas - Várzea Paulista - SP



SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS		ACABAMENTO:		REBARBAR E QUEBRAR ARESTAS AGUDAS		NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO		REVISÃO	
ACABAM. SUPERFÍCIE: TOLERÂNCIAS: LINEAR: ANGULAR:									
NOME		ASSINATURA		DATA		TÍTULO:			
DESEN.									
VERIF.									
APROV.									
MANUF.									
QUALID.									
				MATERIAL:		DES. Nº		A3	
				PESO:		ESCALA:5:1		FOLHA 2 DE 4	

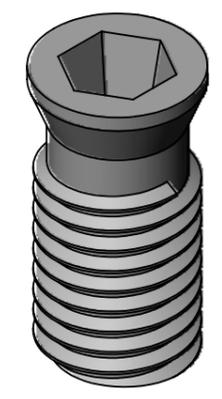
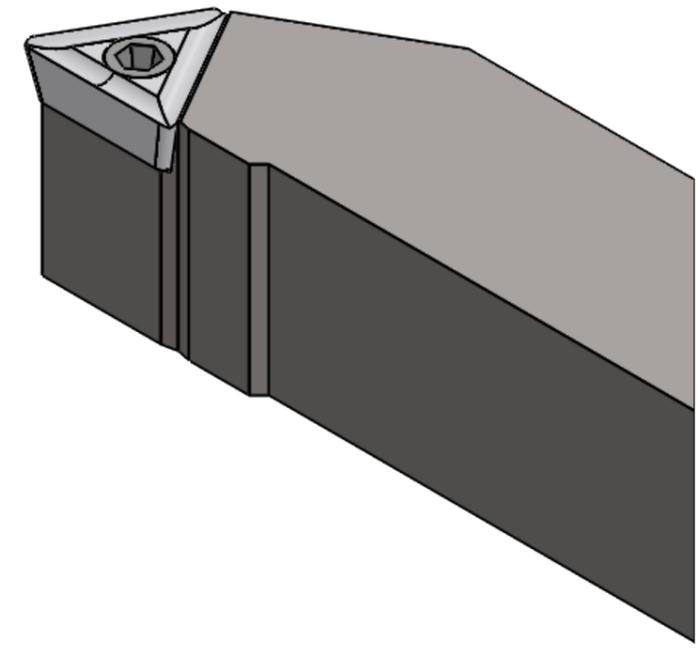
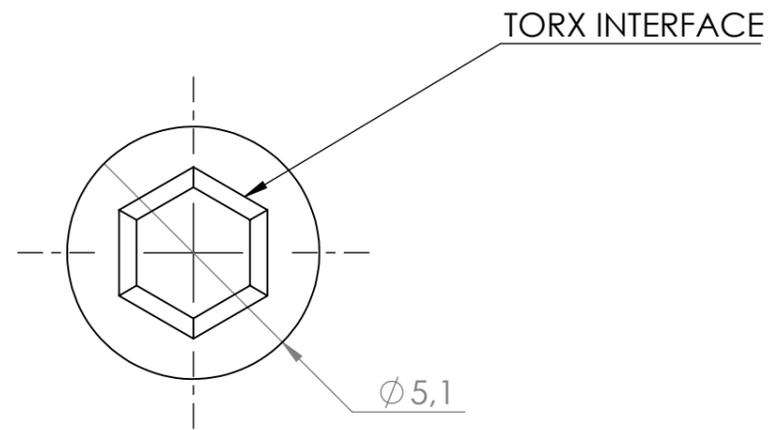
Stamp PDF



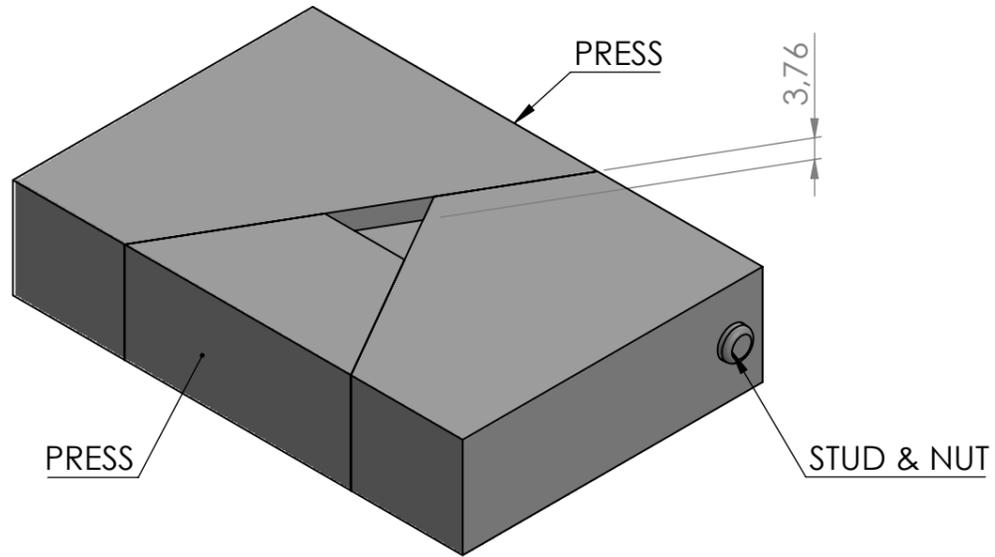
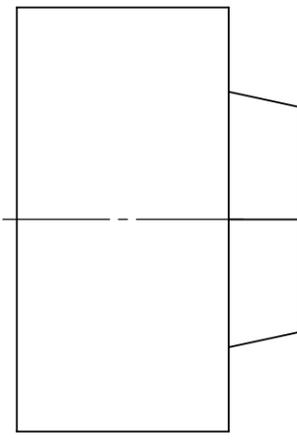
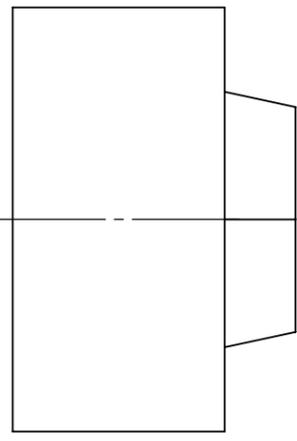
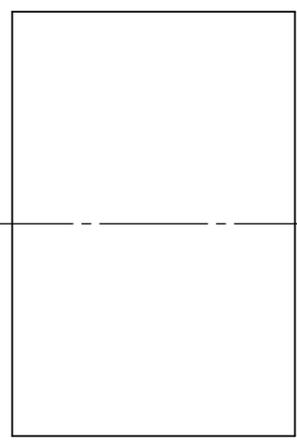
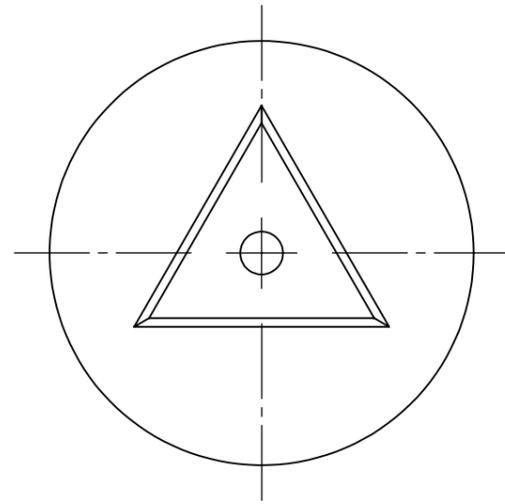
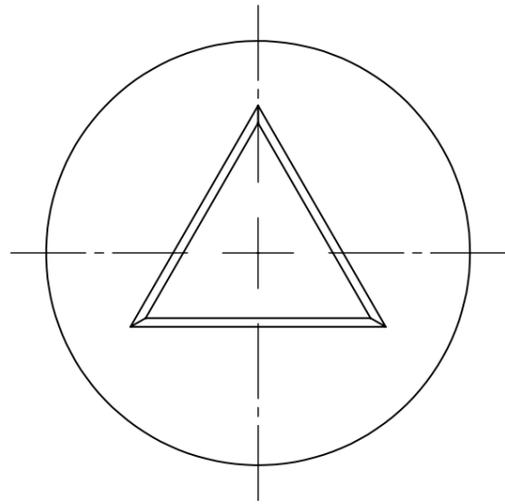
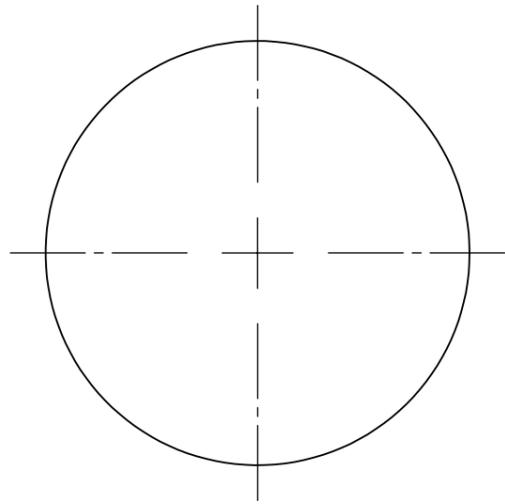
REF. FOR SCREW:

ISCAR 7000224 (SR 16-236) - Torx screw / Insert screw
 Recommended tightening torque: 5.3 N*m (47lb*in)
 Turning Direction: Right Hand
 Head Style: Countersunk
 Drive Type: Female Torx
 Drive Size: T15

Alternative:
 ISCAR 7000402
 SANDVIK 5513 020-01



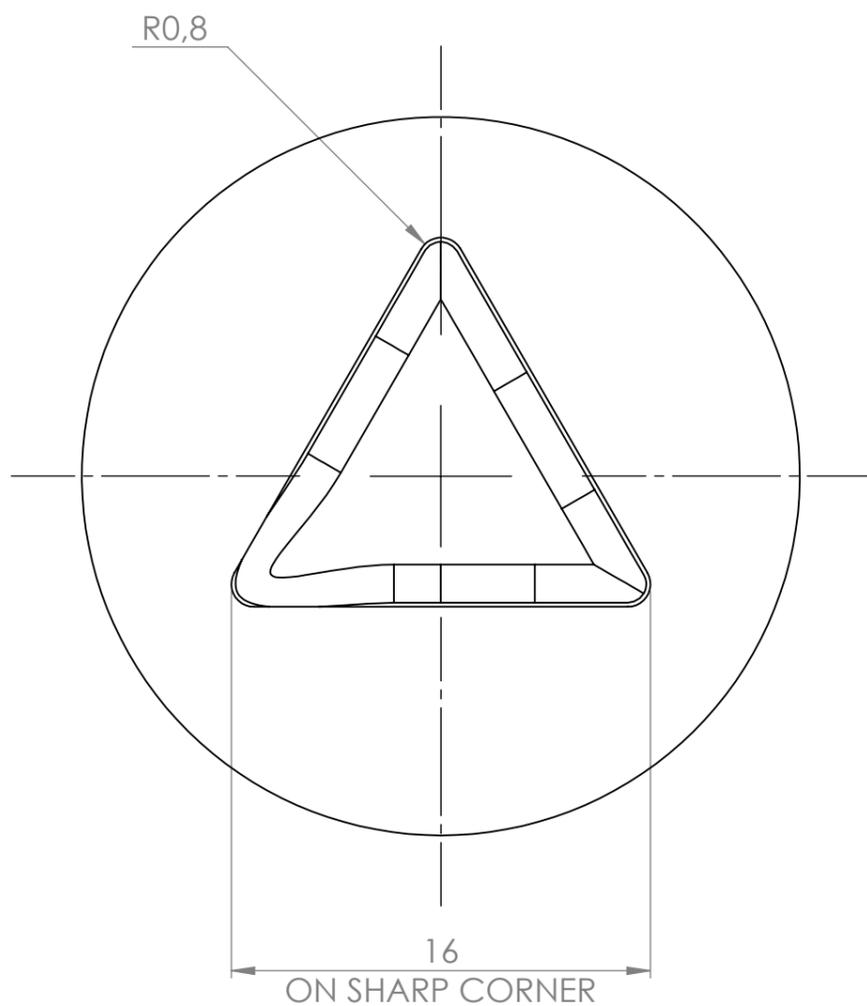
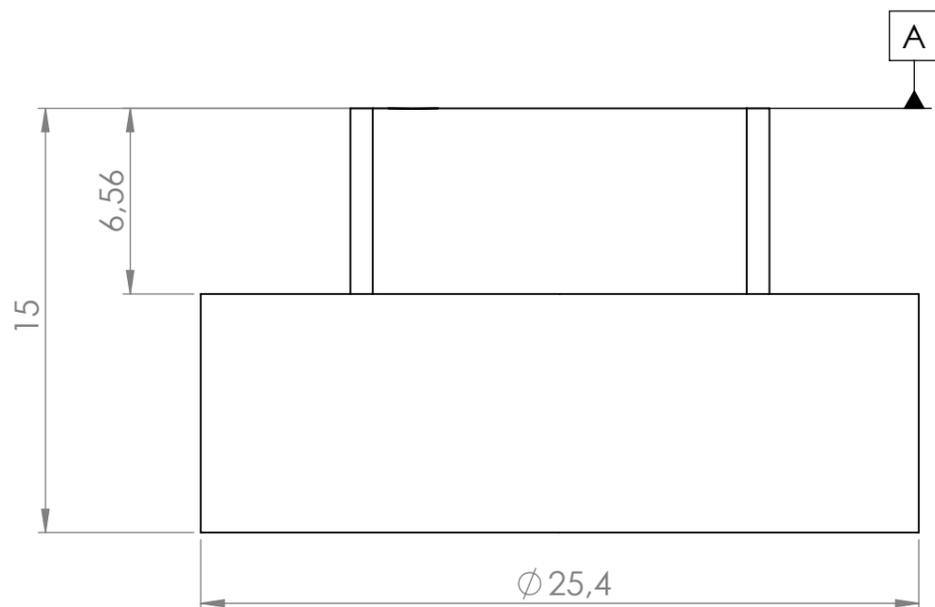
SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS		ACABAMENTO:		REBARBAR E QUEBRAR ARESTAS AGUDAS		NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO		REVISÃO	
ACABAM. SUPERFÍCIE:									
TOLERÂNCIAS:									
LINEAR:									
ANGULAR:									
NOME		ASSINATURA		DATA		TÍTULO:			
DESEN.									
VERIF.									
APROV.									
MANUF									
QUALID						MATERIAL:		DES. Nº	
								Stamp PDF	
						PESO:		ESCALA: 10:1	
								FOLHA 3 DE 4	
								A3	



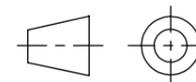
SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAM. SUPERFÍCIE: TOLERÂNCIAS: LINEAR: ANGULAR:		ACABAMENTO:		REBARBAR E QUEBRAR ARESTAS AGUDAS		NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO		REVISÃO	
						TÍTULO:			
						DES. Nº			
						ESCALA:2:1			
						FOLHA 4 DE 4			
NOME		ASSINATURA		DATA					
DESEN.		VERIF.		APROV.					
MANUF		QUALID		MATERIAL:					
				PESO:					

Stamp PDF

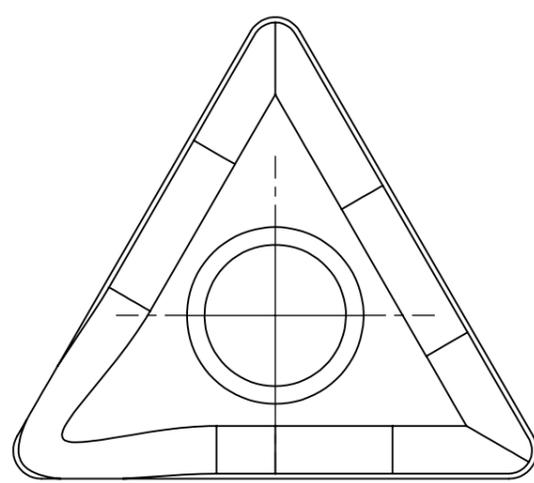
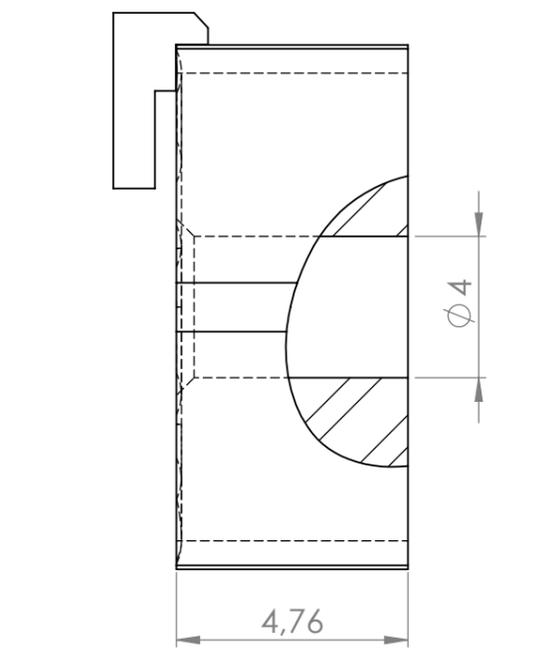
A3



PRIMEIRA FIXAÇÃO:
 FACEAR PARA REMOVER SOBREMETAL EM A
 FRESAR AO REDOR DO PERFIL TRIANGULAR
 FRESAR O RAI0 0.8 mm
 FRESAR (ESFERICA) O PERFIL DE SAÍDA
 (OPCIONAL) FURAR PROFUNDIDADE/PASSANTE diam 4 CENTRO



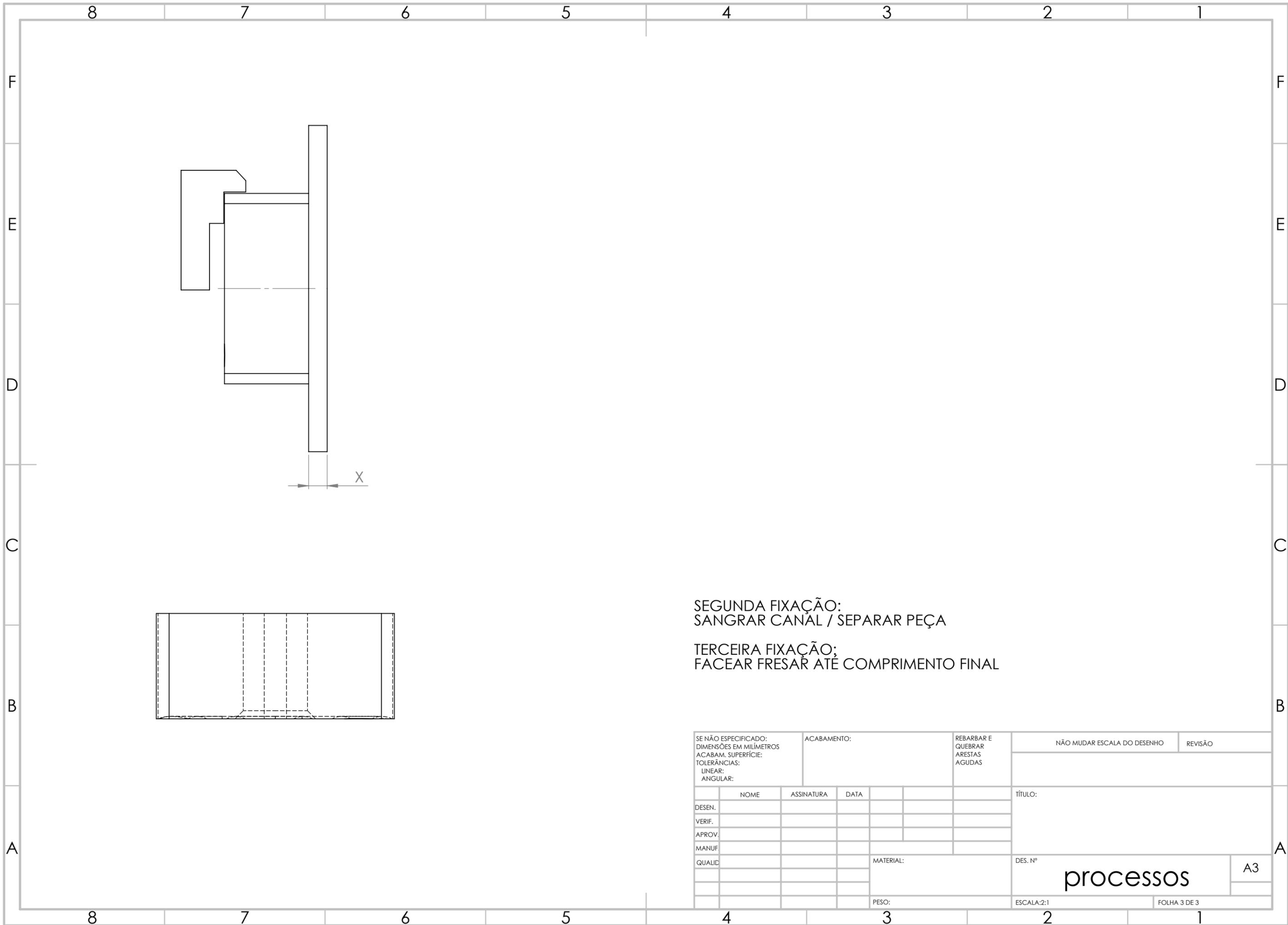
SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAM. SUPERFÍCIE: TOLERÂNCIAS: LINEAR: ANGULAR:		ACABAMENTO:		REBARBAR E QUEBRAR ARESTAS AGUDAS		NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO		REVISÃO	
DESEN.		ASSINATURA		DATA		TÍTULO:			
VERIF.									
APROV.									
MANUF									
QUALID						MATERIAL:		DES. Nº	
								processos	
						PESO:		ESCALA:2:1	
								FOLHA 1 DE 3	
								A3	



SEGUNDA FIXAÇÃO:
 TORNEAR FURO PASSANTE
 SANGRAR CANAL / SEPARAR PEÇA NO COMPRIMENTO FINAL

SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAM. SUPERFÍCIE: TOLERÂNCIAS: LINEAR: ANGULAR:		ACABAMENTO:		REBARBAR E QUEBRAR ARESTAS AGUDAS		NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO		REVISÃO	
DESEN.		ASSINATURA		DATA		TÍTULO:			
VERIF.									
APROV.									
MANUF									
QUALID				MATERIAL:		DES. Nº		A3	
				PESO:		ESCALA:5:1		FOLHA 2 DE 3	

processos



SEGUNDA FIXAÇÃO:
SANGRAR CANAL / SEPARAR PEÇA

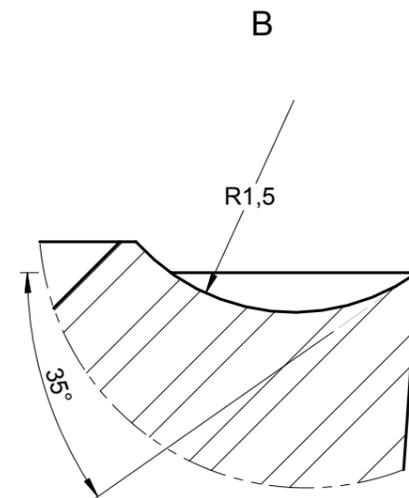
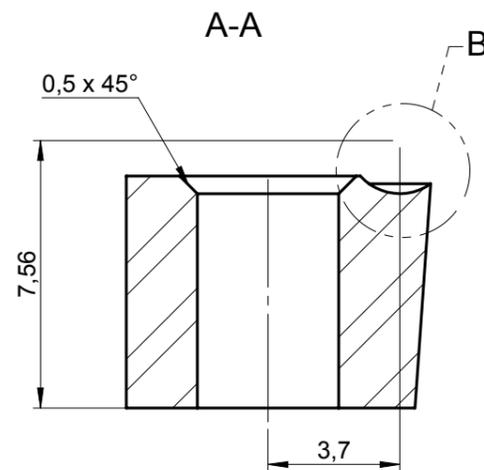
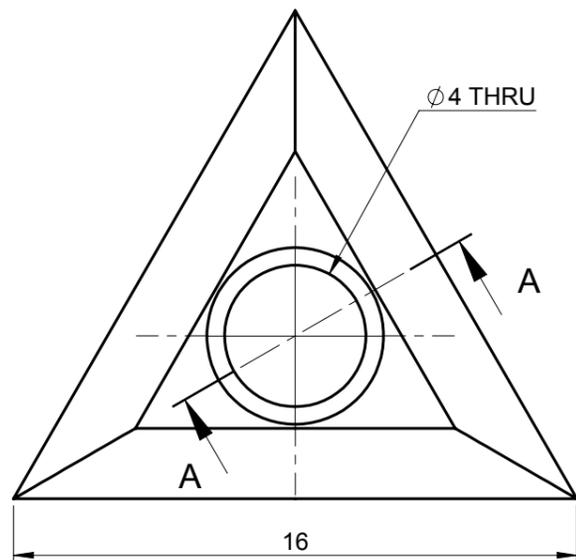
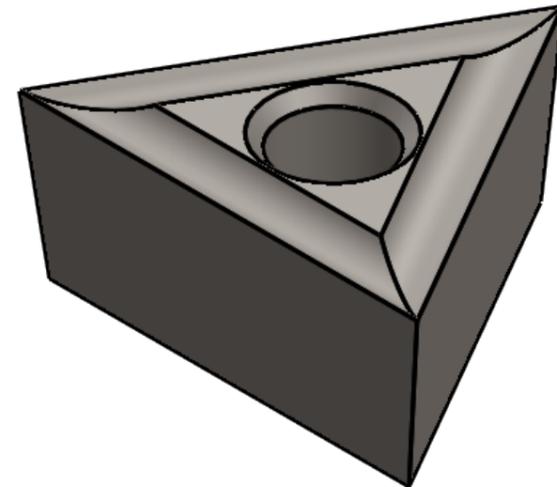
TERCEIRA FIXAÇÃO:
FACEAR FRESAR ATÉ COMPRIMENTO FINAL

SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAM. SUPERFÍCIE: TOLERÂNCIAS: LINEAR: ANGULAR:		ACABAMENTO:		REBARBAR E QUEBRAR ARESTAS AGUDAS		NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO		REVISÃO	
						TÍTULO:			
DESEN.		NOME		ASSINATURA		DATA			
VERIF.									
APROV.									
MANUF									
QUALID						MATERIAL:		DES. Nº	
								processos	
						PESO:		ESCALA:2:1	
								FOLHA 3 DE 3	
								A3	

PREVIOUS DRAWING N/A

GENERAL NOTES

1. UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETRES ALL STANDARDS REFERRED TO SHALL BE THE CURRENT ISSUE.
2. UNLESS OTHERWISE SPECIFIED BREAK EXTERNAL EDGES, FILLET INTERNAL EDGES.
3. GD&T: ISO 1101



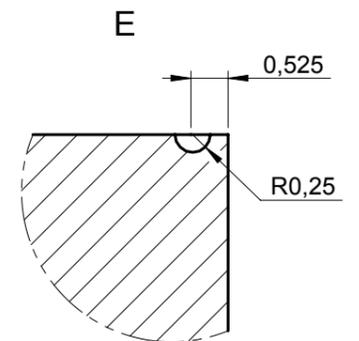
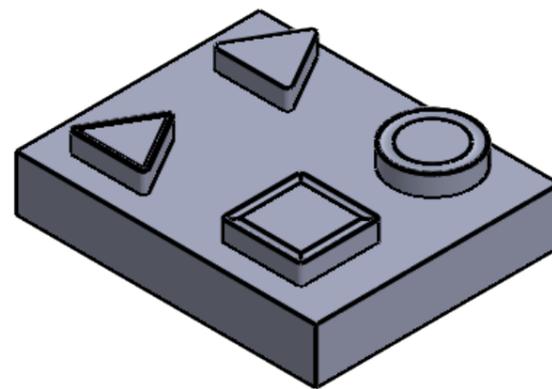
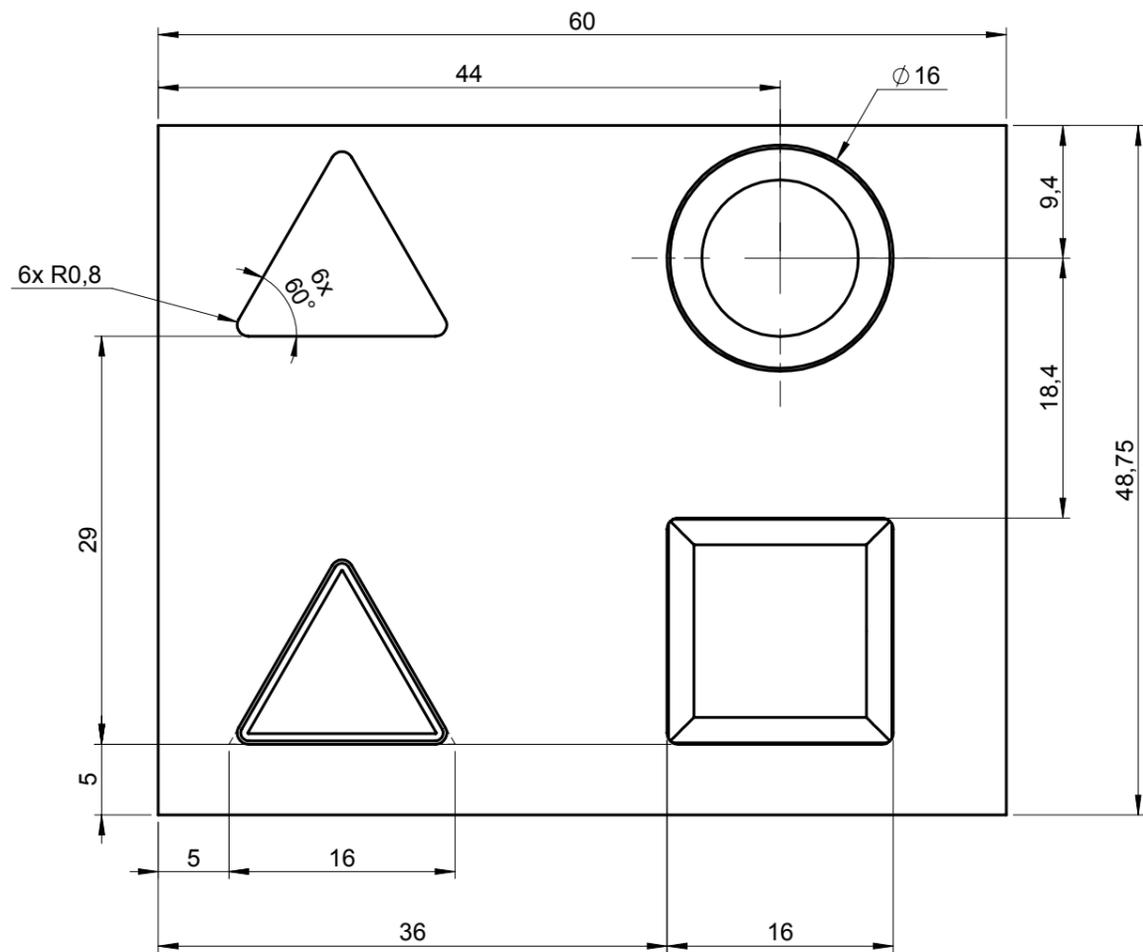
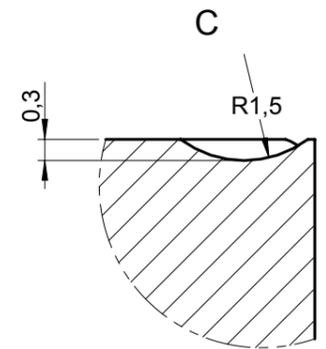
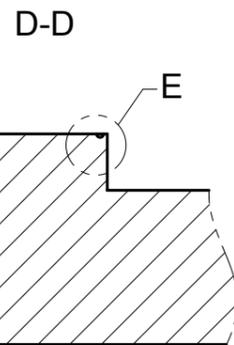
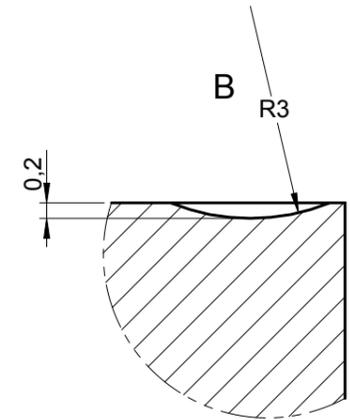
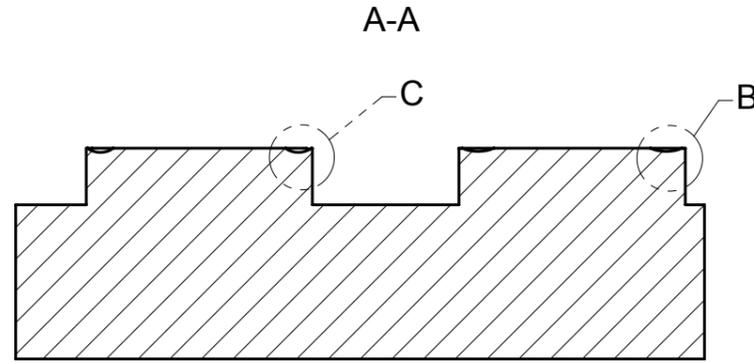
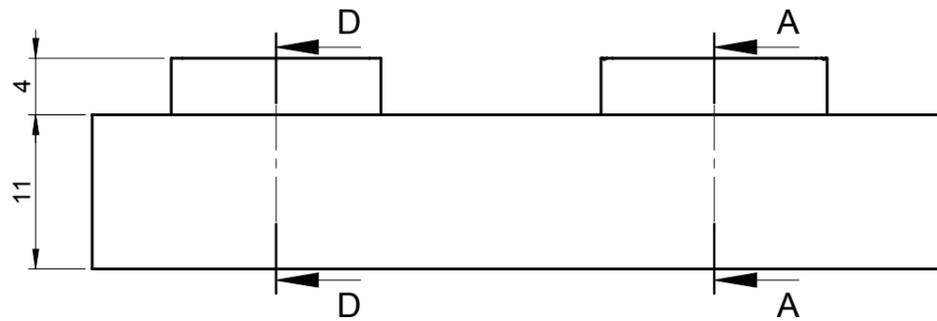
ITEM NO.	QTY.	DESCRIPTION
1	1	AISI 1020 STEEL ROUND BAR 1"

Tolerancing according to ISO 8015, ISO 1101 See ISO 2768 part 1 and 2 for more information $\sqrt{Ra\ 3,2}$ (✓) ISO 13715	Dimensions without individual tolerance indications: ISO 2768-mK See ISO 2768 part 1 and 2 for more information		ISO 2768-m Linear dimensions Range Tol 0,5-3 ±0,1 >3-6 ±0,1 >6-30 ±0,2 >30-120 ±0,3 >120-400 ±0,5 >400-1000 ±0,8 >1000-2000 ±1,2 >2000-4000 ±2		External radii and chamfer heights Range Tol 0,5-3 ±0,2 >3-6 ±0,5 >6 ±1 Angular dimensions ≤10 ±1° >10-50 ±0°30' >50-120 ±0°20' >120-400 ±0°10' >400 ±0°05'		Title				
	ISO 2768-K (features)						Modified by				
							Originator				
							Document no. Doc. ver. ECO no.				
						Checked by		Material no. (part) Plant		Release date Reason for issue	
						Approved by		Material spec.		Estimated Weight	
								Size A3		Sheet no. 1 of 1	

PREVIOUS DRAWING N/A

GENERAL NOTES

1. UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETRES ALL STANDARDS REFERRED TO SHALL BE THE CURRENT ISSUE.
2. UNLESS OTHERWISE SPECIFIED BREAK EXTERNAL EDGES, FILLET INTERNAL EDGES.
3. GD&T: ISO 1101



ITEM NO.	QTY.	DESCRIPTION
1	1	WOOD TABLET

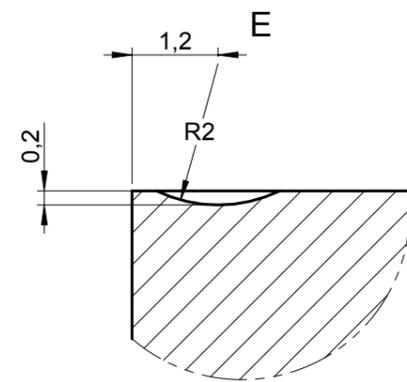
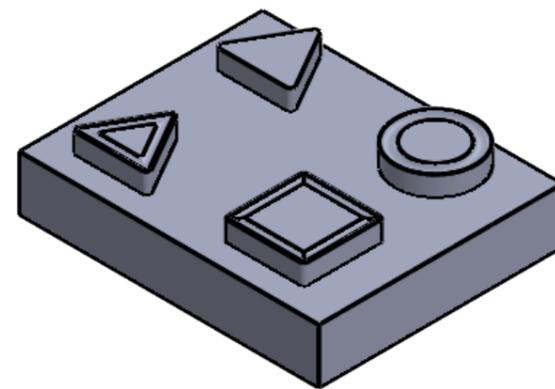
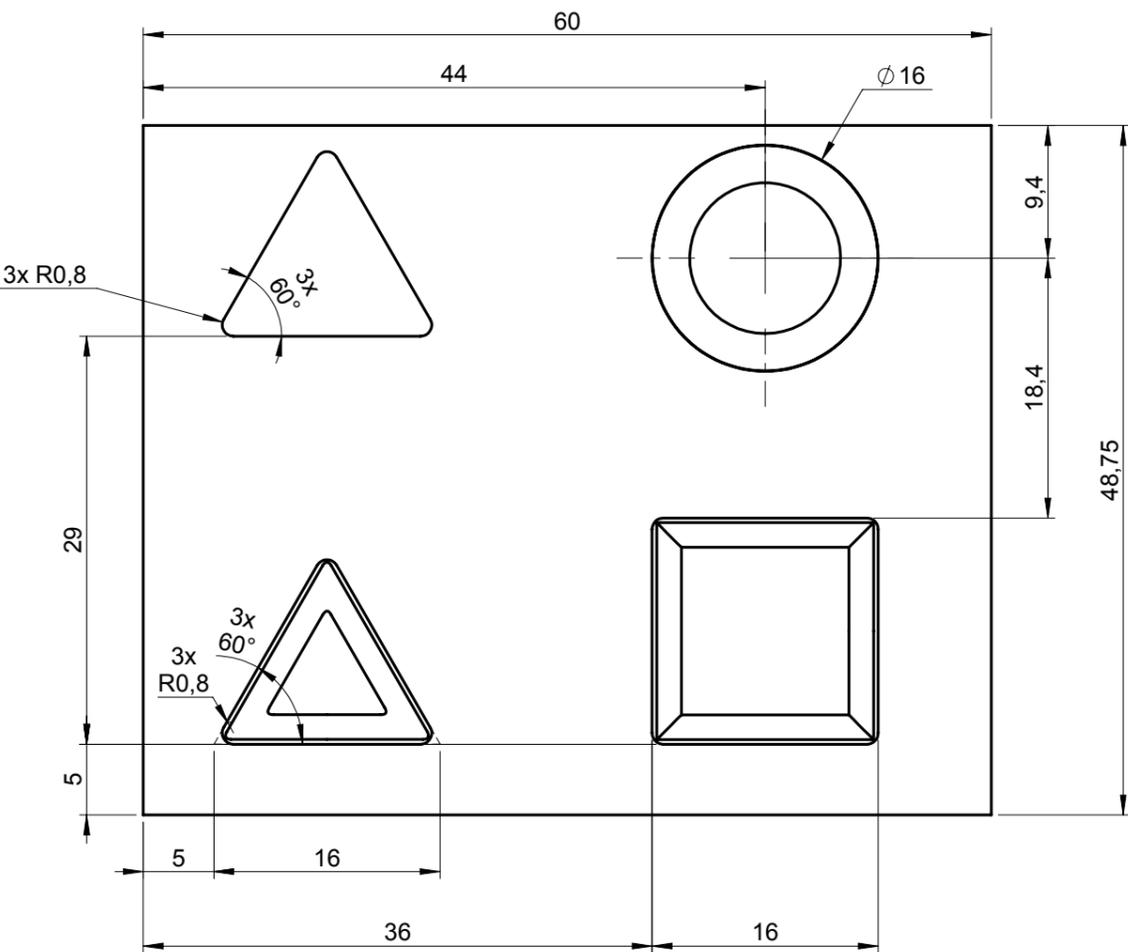
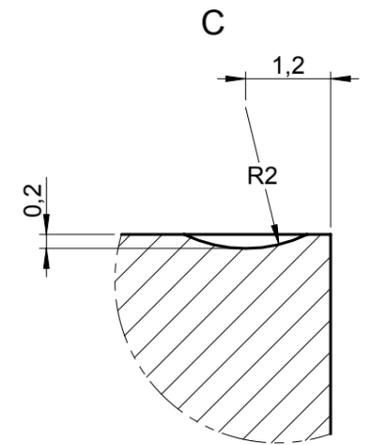
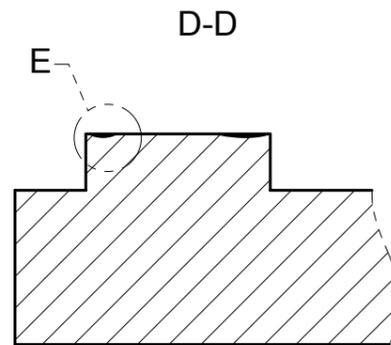
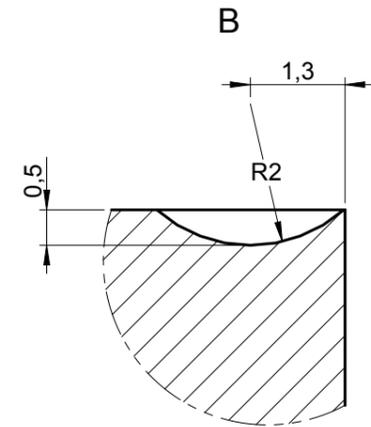
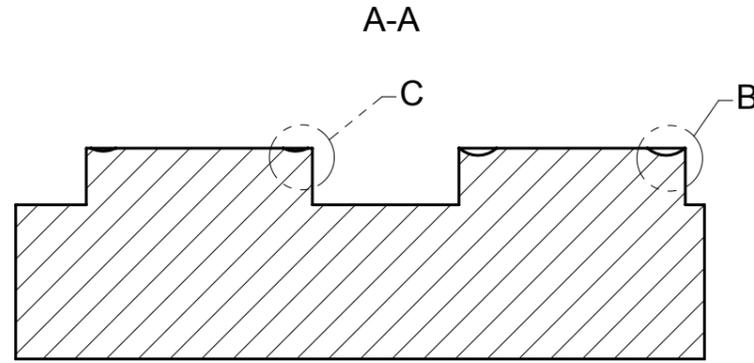
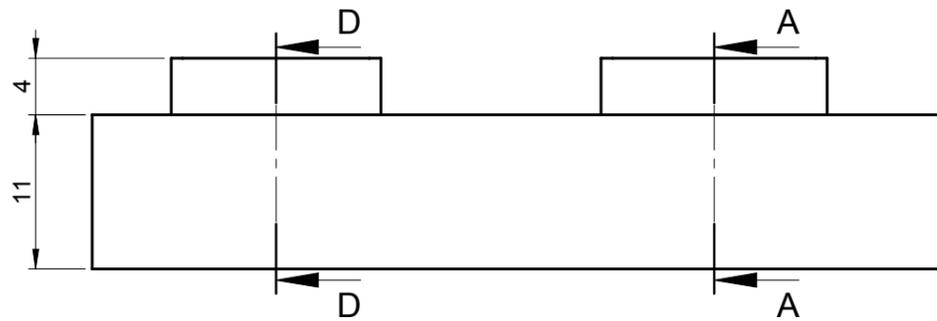
Tolerancing according to ISO 8015, ISO 1101	Dimensions without individual tolerance indications: ISO 2768-mK				Title	
	See ISO 2768 part 1 and 2 for more information				External radii and chamfer heights	
	ISO 2768-K (features)				Linear dimensions	
√Ra 3,2 (✓)	Range	⊥	≡	∕	Range	Tol
	≤ 10	0,05			0,5-3	±0,2
	>10-30	0,1	0,4		>3-6	±0,5
	>30-100	0,2			>6-30	±1
	>100-300	0,4	0,6		>6-30	±0,2
	>300-1000	0,6	0,8	0,2	>30-120	±0,3
	>1000-3000	0,8	1	1	>120-400	±0,5
					>400-1000	±0,8
					>1000-2000	±1,2
					>2000-4000	±2
					Angular dimensions	
					≤10	±1°
					>10-50	±0°30'
					>50-120	±0°20'
					>120-400	±0°10'
					>400	±0°05'

Modified by	Originator	Document no.	Doc. ver.	ECO no.
Checked by	Material no. (part)	Plant	Release date	Reason for issue
Approved by	Material spec.	Estimated Weight	Size A3	Sheet no. 1 of 1

PREVIOUS DRAWING N/A

GENERAL NOTES

1. UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETRES ALL STANDARDS REFERRED TO SHALL BE THE CURRENT ISSUE.
2. UNLESS OTHERWISE SPECIFIED BREAK EXTERNAL EDGES, FILLET INTERNAL EDGES.
3. GD&T: ISO 1101



ITEM NO.	QTY.	DESCRIPTION
1	1	WOOD TABLET

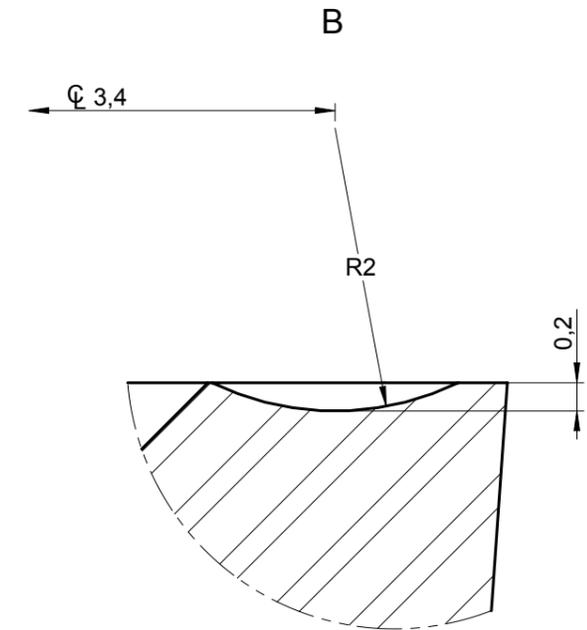
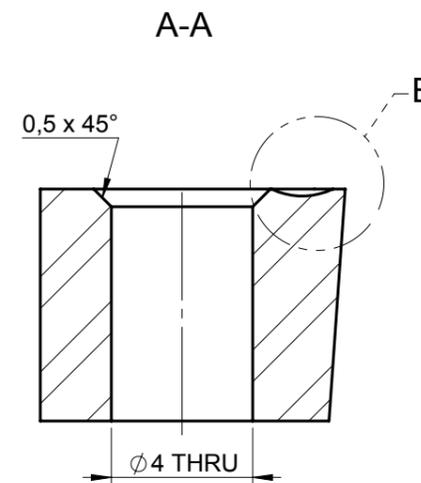
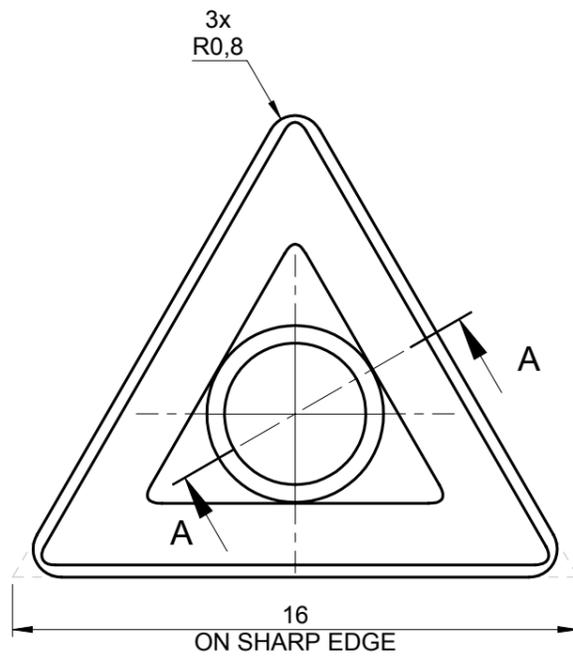
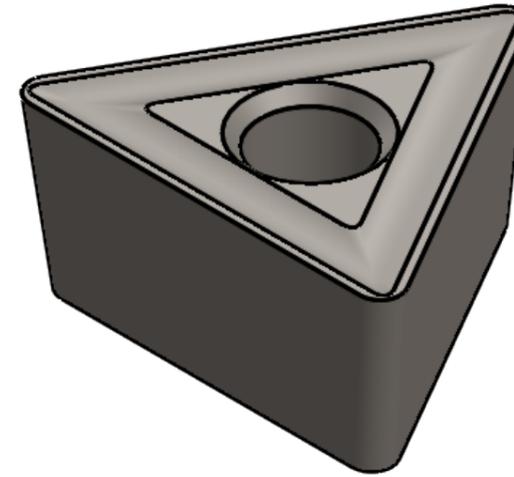
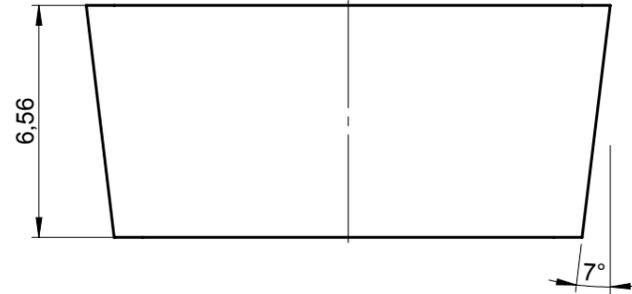
Tolerancing according to ISO 8015, ISO 1101	Dimensions without individual tolerance indications: ISO 2768-mK		External radii and chamfer heights	
	Range	Tol	Range	Tol
√Ra 3,2 (√)	≤ 10	±0,05	0,5-3	±0,1
	>10-30	±0,1	>3-6	±0,5
	>30-100	±0,2	>6-30	±1
	>100-300	±0,4	>6-30	±0,2
	>300-1000	±0,6	>30-120	±0,3
	>1000-3000	±0,8	>120-400	±0,5
			>400-1000	±0,8
			>1000-2000	±1,2
			>2000-4000	±2

Title		Modified by		Originator		Document no.		Doc. ver.		ECO no.	
Checked by		Material no. (part)		Plant		Release date		Reason for issue			
Approved by		Material spec.		Estimated Weight		Size		Sheet no.			
						A3		1 of 1			

PREVIOUS DRAWING N/A

GENERAL NOTES

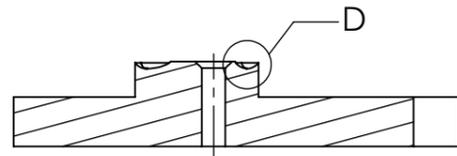
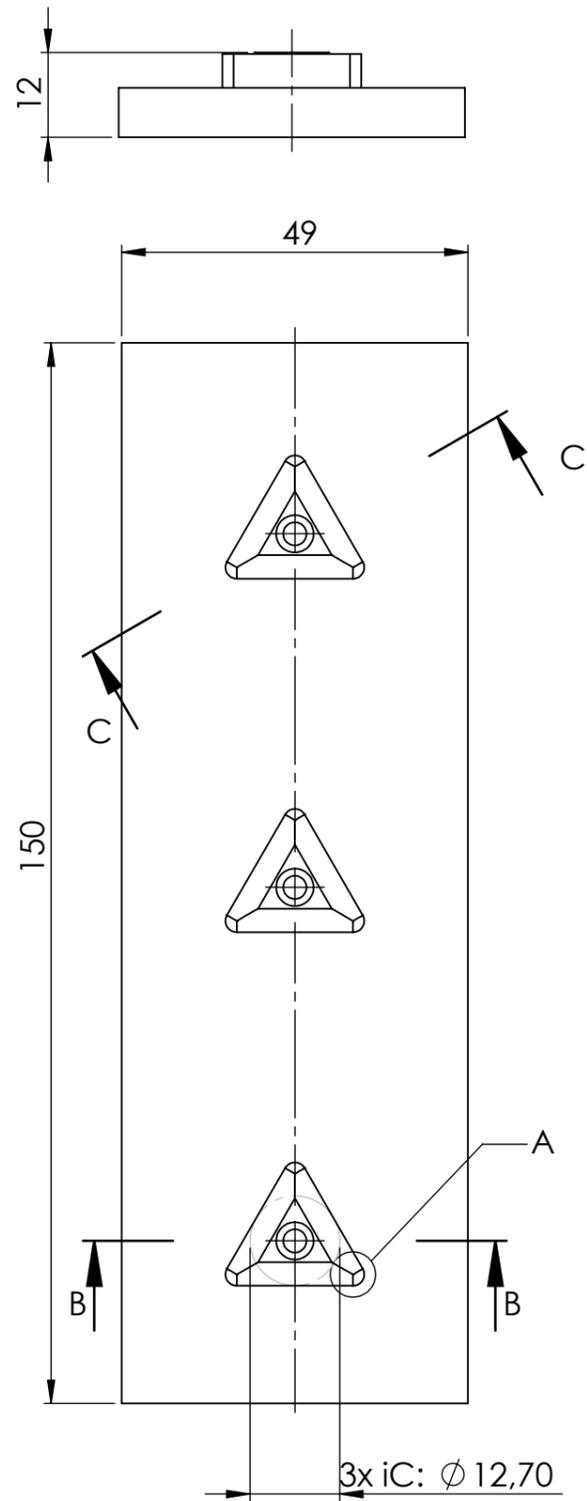
1. UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETRES ALL STANDARDS REFERRED TO SHALL BE THE CURRENT ISSUE.
2. UNLESS OTHERWISE SPECIFIED BREAK EXTERNAL EDGES, FILLET INTERNAL EDGES.
3. GD&T: ISO 1101



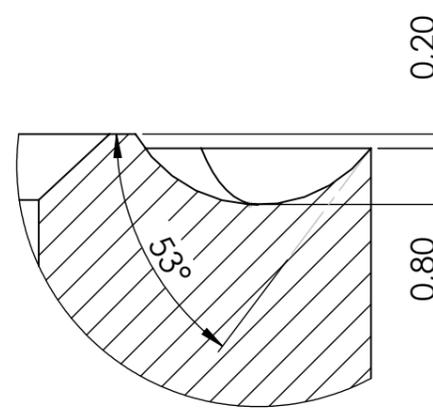
ITEM NO.	QTY.	DESCRIPTION
1	1	AISI 1020 STEEL ROUND BAR 1"

Tolerancing according to ISO 8015, ISO 1101	Dimensions without individual tolerance indications: ISO 2768-mK				External radii and chamfer heights		Title						
	Range	ISO 2768-K (features)	⊥	≡	Linear dimensions	Angular dimensions	Modified by	Originator	Document no.	Doc. ver.	ECO no.		
√Ra 3,2 (√)	≤ 10	0,05			0,5-3	±0,1							
	>10-30	0,1	0,4	0,6	>3-6	±0,1							
-0,4 -0,8	>30-100	0,2			>6-30	±0,2							
	>100-300	0,4	0,6	0,2	>30-120	±0,3	≤10	±1°					
+0,8 +0,4	>300-1000	0,6	0,8	0,8	>120-400	±0,5	>10-50	±0°30'	Checked by	Material no. (part)	Plant	Release date	Reason for issue
	>1000-3000	0,8	1	1	>400-1000	±0,8	>50-120	±0°20'	Approved by	Material spec.		Estimated Weight	
ISO 13715	>1000-3000	0,8	1	1	>1000-2000	±1,2	>120-400	±0°10'					
	>2000-4000	±2			>2000-4000	±2	>400	±0°05'					

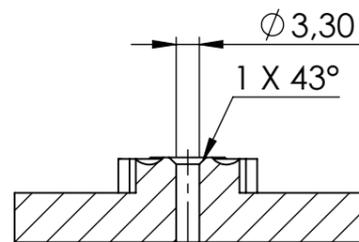
Size A3 Sheet no. 1 of 1



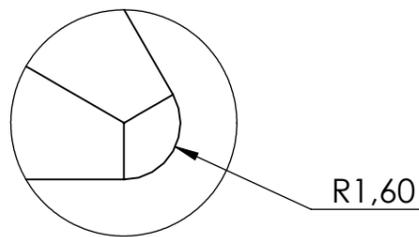
SEÇÃO C-C



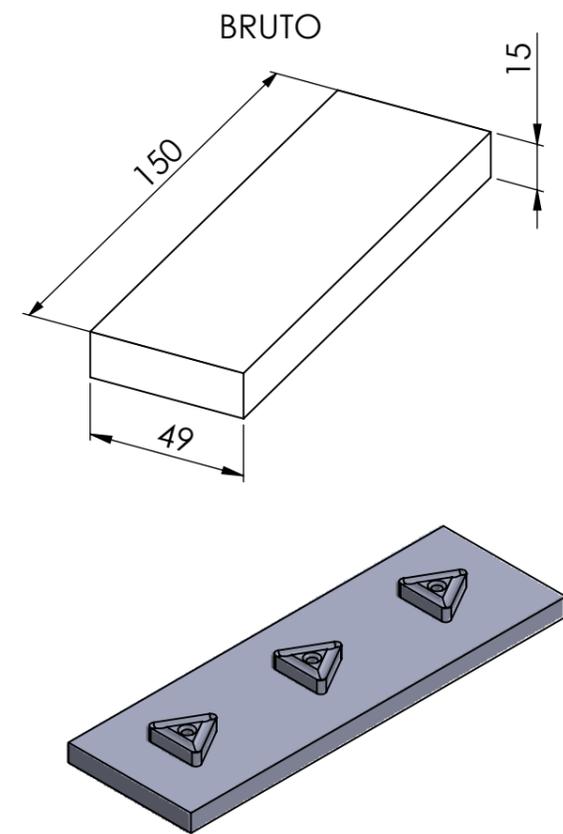
DETALHE D
ESCALA 10 : 1



SEÇÃO B-B



DETALHE A
ESCALA 5 : 1



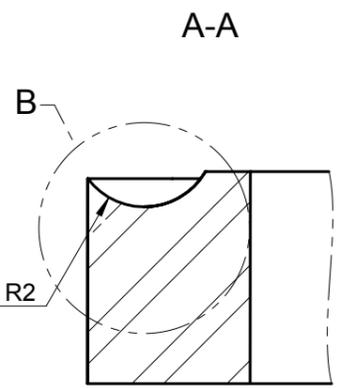
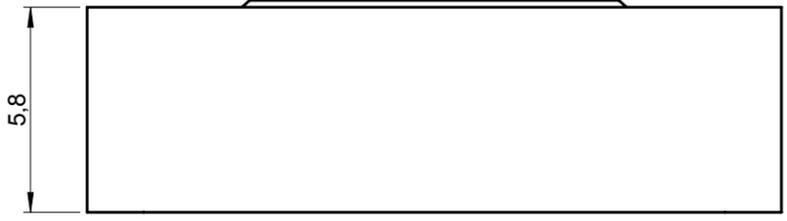
SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAM. SUPERFÍCIE: TOLERÂNCIAS: LINEAR: ANGULAR:		ACABAMENTO:		REBARBAR E QUEBRAR ARESTAS AGUDAS		NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO		REVISÃO	
DESEN.	NOME	ASSINATURA	DATA			TÍTULO: Prototipo Edgecam Inserto Re1,6			
VERIF.									
APROV.									
MANUF.									
QUALID.				MATERIAL:		Lucas Brenner Kasai			
				PESO:		ESCALA:1:1		FOLHA 1 DE 1	
								A3	

1 2 3 4 5 6 7 8

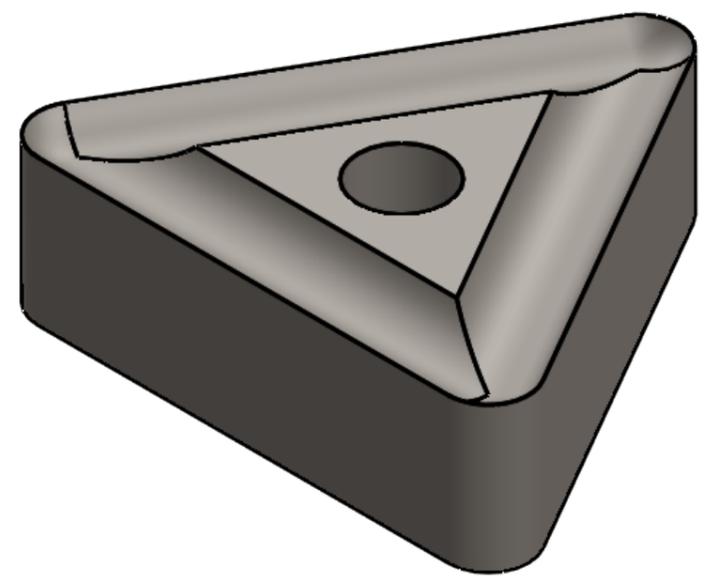
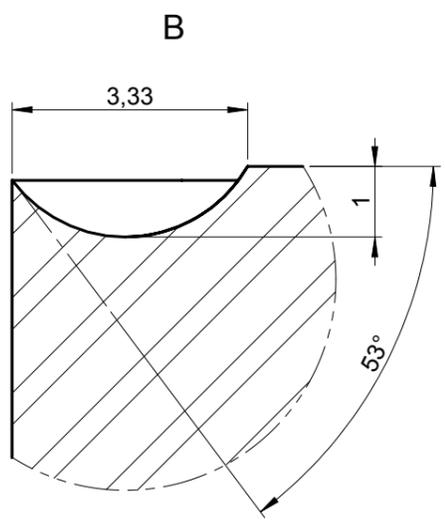
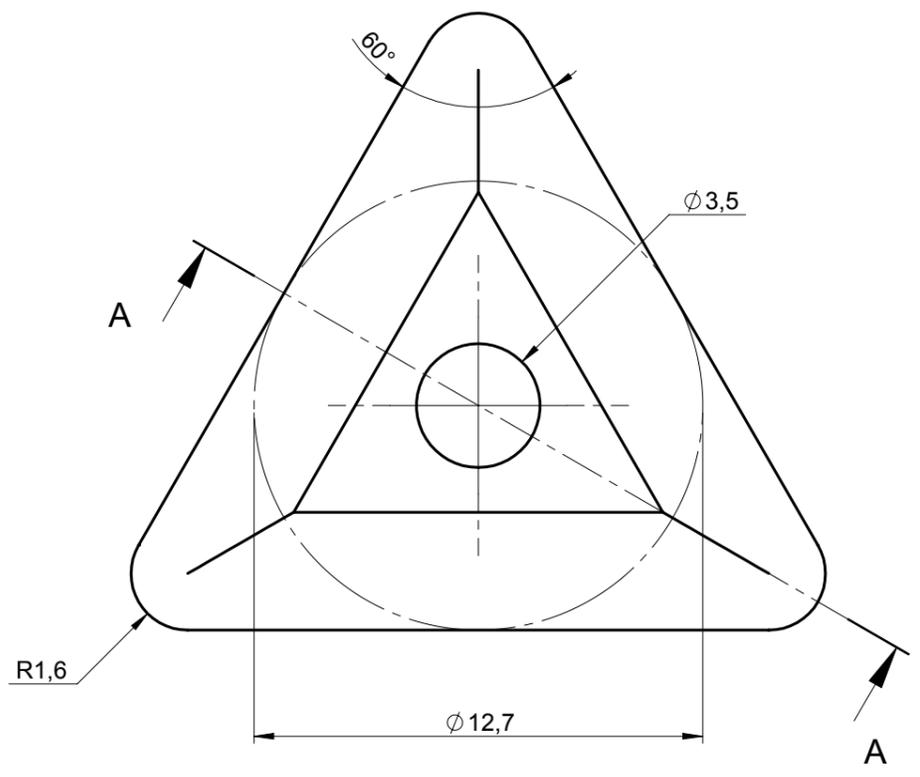
A A

NOTAS
 1. SE NÃO ESPECIFICADO, DIMENSÕES EM MILÍMETROS, TOLERÂNCIA GERAL DE 3mm.
 2. SE NÃO ESPECIFICADO, QUEBRAR CANTOS VIVOS.
 3. GD&T: ISO 1101

B B



C C



D D

E E

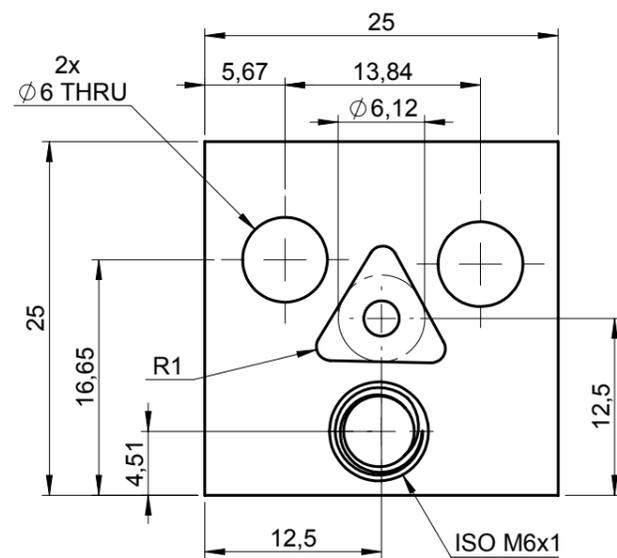
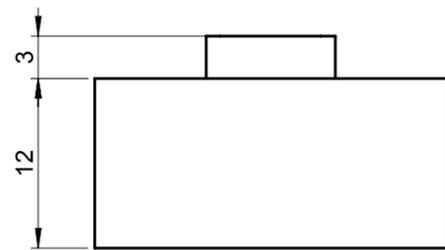
F F

1	1	MACHINING INSERT	SAE 1045
ITEM NO.	QTY.	DESCRIPTION	MATERIAL

Title									
PROTÓTIPO INSERTO ÂNG. 0°, IC=12,7mm									
Modified by	-	Originator	LUCAS B. KASAI	Drawing no.	-	Ver.	01	Unit	mm
Checked by	-	Drawing type	-	Release date	14/10/20210	Scale	5:1		
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ				Estimated Weight	-	Size	A3	Sheet no.	1 of 1

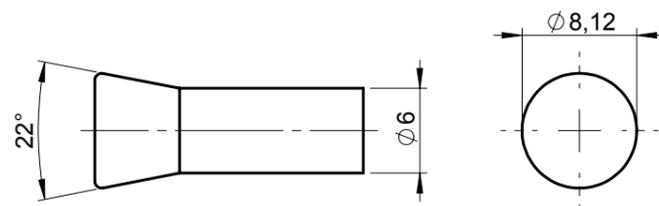
1 2 3 4 5 6 7 8

1

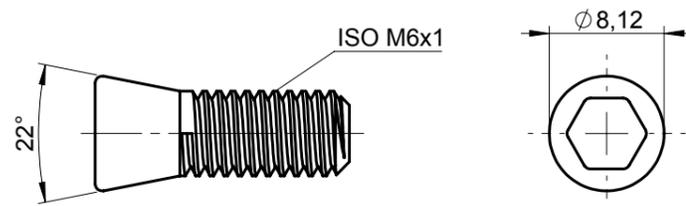


2x

2



3

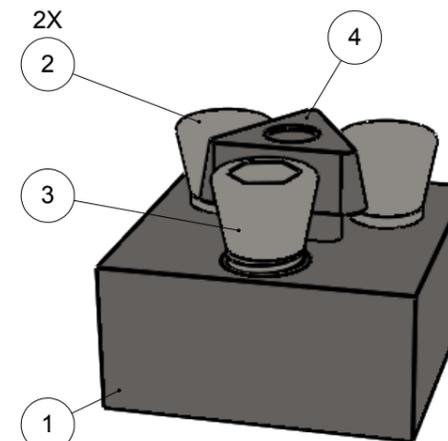
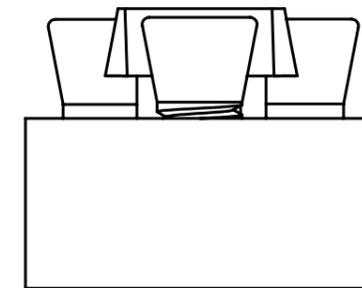
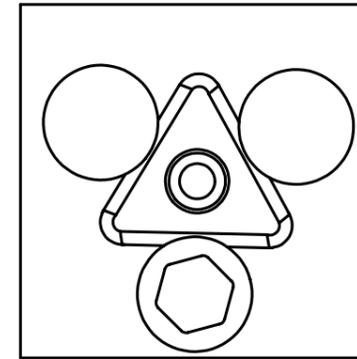


NOTAS

1. SE NÃO ESPECIFICADO, DIMENSÕES EM MILÍMETROS, TOLERÂNCIA GERAL DE 3mm.
2. SE NÃO ESPECIFICADO, QUEBRAR CANTOS VIVOS.
3. GD&T: ISO 1101

NOTAS DE OPERAÇÃO

1. ALTERAR PINOS E PARAFUSO CONFORME ÂNGULO DE INCIDÊNCIA DO INSERTO TRABALHADO. DETALHAMENTO APRESENTADO PARA INSERTO 11°.
2. PINOS DEVEM SER FIXADOS POR INTERFERÊNCIA À BASE DO DISPOSITIVO E PARAFUSO DEVE MOVER-SE LIVREMENTE.
3. APLICAR TORQUE NO PARAFUSO PARA FIXAR O INSERTO AO DISPOSITIVO. NÃO APLICAR TORQUE EXCESSIVO PARA NÃO DANIFICAR O INSERTO.



ITEM NO.	QTY.	DESCRIPTION	MATERIAL
4	1	INSERTO (NÃO FAZ PARTE DO DISPOSITIVO)	-
3	1	PARAFUSO COMERCIAL (AJUSTAVEL)	-
2	2	PINO GUIA (FIXO)	-
1	1	BASE DO DISPOSITIVO	AÇO CARBONO

Title			
DISPOSITIVO PARA REMOÇÃO DE REBARBA E RETIFICA DA FACE INFERIOR DO INSERTO			
Modified by	LUCAS	Originator	DALBERTO
Checked by	-	Drawing type	-
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ		Drawing no.	Ver. 01 Unit mm
		Release date	Scale 2:1
		Estimated Weight	Size A3 Sheet no. 1 of 1