

DOUGLAS RICARDO FRABETTI

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UMA  
SEMEADORA PUNÇIONADORA PARA PLANTIO DIRETO DE MILHO

Dissertação apresentada à Universidade  
Federal de Viçosa, como parte das  
exigências do Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia Agrícola, para obtenção do  
título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2008

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

F797d  
2008

Frabetti, Douglas Ricardo, 1979-

Desenvolvimento e avaliação do desempenho de uma  
semeadora puncionadora para plantio direto de milho /  
Douglas Ricardo Frabetti. – Viçosa, MG, 2008.  
xiv, 127f.: il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Ricardo Capúcio de Resende.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Referências bibliográficas: f. 48-50.

1. Equipamento agrícola. 2. Milho - Cultivo.  
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 631.3

DOUGLAS RICARDO FRABETTI

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UMA  
SEMEADORA PUNCIÓNADORA PARA PLANTIO DIRETO DE MILHO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 27 de março de 2008.

---

Prof. Daniel Marçal de Queiroz  
(Co-Orientador)

---

Prof. Haroldo Carlos Fernandes

---

Prof. Nerilson Terra Santos

---

Prof. Luciano Baião Vieira

---

Prof. Ricardo Capúcio de Resende  
(Orientador)

Aos meus pais Marly Wegner Frabetti e  
José Luiz Frabetti.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, José Luiz Frabetti e Marly Wegner Frabetti pelo apoio e pelos ensinamentos práticos de perseverança e honestidade.

À minha irmã, Lilian e sobrinhas, Letícia e Vitória pelo amor, carinho e apoio.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade oferecida para a realização do mestrado.

Ao Professor Ricardo Capúcio Resende, pelo apoio e ajuda em todas as horas que mais precisei. Por me dar a oportunidade de ajudar a evoluir uma idéia que poderá promover uma agricultura sustentável no mundo.

Aos Professores Eduardo Fontes Araújo, Caetano Marciano de Souza, Daniel Marcal de Queiroz, Nerilson Terra Santos e Haroldo Carlos Fernandes, pelos conselhos, idéias e observações tão valiosos.

Ao CNPq e a FAPEMIG, pela concessão da bolsa de estudo e financiamento do projeto.

Aos amigos que sempre tiveram a disposição para qualquer tipo de ajuda: Enrique, Geice, Danilo, João Cleber e Willian.

Aos amigos de pós-graduação pelo simples prazer do convívio, pelo apoio e pelas boas risadas: Selma, Diogo, Gislaene, Akemi, Fabiane, Rochane, Neiton, Francelino, Mário, Murilo, Renato, Ricardo, Leonardo, Elder, Pedro, Gilton e Gerson.

Aos funcionários Vantuil, Geraldo, Danilo e Marcelo pelos ensinamentos práticos, tão valiosos no desenvolvimento de máquinas.

Aos funcionários da secretária de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e aos professores.

A Larissa, minha noiva, pelo apoio e carinho que sempre me deu.

Aos amigos que, pertos ou distantes, sempre me deram força: Jonas Aline, Giovane, Roberson, Camila, Ana, Daiane, Brigida, Olga, Nelson, Marcelo Flavio, Adriana, Amanda, Carolina e Clarice.

## **BIOGRAFIA**

DOUGLAS RICARDO FRABETTI, filho de Marly Wegner Frabetti e José Luiz Frabetti, nasceu em Santo André, SP, no dia 22 de agosto de 1979.

Em julho de 2005 concluiu o curso de Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa.

Em julho de 2005 iniciou o curso de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Mecanização Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa, obtendo o título de Magister Scientiae em março de 2007.

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE TABELAS .....	x
RESUMO .....	xi
ABSTRACT .....	xiii
1. INTRODUÇÃO .....	15
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	17
2.1. Sistema de plantio direto .....	17
2.2. Arranjo entre plantas numa lavoura de milho .....	18
2.3. Semeadoras convencionais.....	21
2.4. Semeadoras puncionadoras .....	22
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	30
3.1. Desenvolvimento de uma semeadora puncinadora para plantio direto de milho.....	30
3.1.1. Especificações do projeto da semeadora .....	30
3.1.2. Projeto conceitual da semeadora.....	31
3.1.3. Projeto do corpo da semeadora.....	31
3.1.4. Distribuição dos dados.....	31
3.1.5. Construção da semeadora .....	31
3.2. Avaliação do sistema dosador de sementes.....	32

	Página
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	36
4.1. Desenvolvimento de uma semeadora puncinadora para plantio direto de milho.....	36
4.1.1. Especificações do projeto da semeadora .....	36
4.1.2. Projeto conceitual da semeadora.....	38
4.1.3. Projeto do corpo da semeadora.....	43
4.1.4. Projeto detalhado da semeadora .....	51
4.1.5. Construção da semeadora .....	54
4.2. Avaliação do sistema dosador de sementes.....	57
5. CONCLUSÃO .....	61
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
APÊNDICE A .....	65

## LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Arranjo hexagonal ideal de plantas de milho (DOURADO NETO et al., 2001) .....	20
2. Semeadora puncionadora de precisão desenvolvida por Jafari & Fornstron (1972) .....	23
3. Semeadora de precisão com sistema pneumático de funcionamento intermitente, desenvolvida por Heinemann et al. (1973) .....	24
4. Semeadora de precisão do tipo esteira, desenvolvida por Heinemann et al. (1973) .....	24
5. Semeadora puncionadora com punções magnéticas desenvolvida por Wilkins et al. (1979) .....	25
6. Semeadora puncionadora desenvolvida por Bufton et al. (1986) .....	26
7. Semeadora puncionadora desenvolvida por Brown et al. (1994) .....	26
8. Protótipo desenvolvido por Molin et al. (1998) .....	28
9. Semeadora puncionadora com sistema de discos convergentes com desenvolvida por Resende (2002) .....	29
10. Protótipo montado em bancada .....	33
11. Fotos do sistema de aquisição de dados (a), do sensor de proximidade (b) e do inversor de frequência (c) .....	34

	Página
12. Estrutura de funções para uma semeadora puncionadora .....	39
13. Sistema de abertura de covas desenvolvida por Resende (2002).....	40
14. Layout do protótipo com as principais partes constituintes .....	43
15. Forma do reservatório de sementes.....	44
16. Forma do disco das rodas puncionadoras.....	45
17. Layout da roda puncionadora e suas principais dimensões .....	47
18. Eixos das rodas puncionadoras .....	47
19. Forma dos flanges das rodas puncionadoras.....	49
20. Layout do sistema dosador e distribuidor de sementes.....	50
21. Perspectiva isométrica do protótipo da semeadora puncionadora .....	51
22. Vista isométrica e explodida do conjunto abridor de covas e do sistema dosador .....	52
23. Punções do mecanismo abridor de covas: (a) punção distribuidora, (b) punção externa e (c) esquema do engrenamento entre as punções .....	53
24. Modelo sólido do sistema dosador e distribuidir de sementes e esquema do percurso das sementes no sistema.....	54
25. Protótipo da semeadora puncionadora .....	55
26. Detalhe dos dois elementos da roda puncionadora: (a) lado distribuidor e (b) lado externo .....	55
27. Detalhe dos discos perfurados para captura de sementes (a) e das punções (b).....	56
28. Detalhes do sistema pantográfico (a) e da junção móvel do pantógrafo e do chassi (b) .....	56
29. Figura 29. Protótipo com chassis aberto (a) e fechado .....	57

## LISTA DE TABELAS

	Página
1. Regulagens de número de punções em cada roda puncionadora e sua correspondente distância entre covas e covas por hectare em três espaçamentos entre linhas.....	46
2. Pressões estáticas médias (cm.c.a.) do sistema de dosagem.....	47
3. Médias de porcentagem de dosagens normais do mecanismo dosador de acordo com o número de punções e a velocidade.....	58
4. Médias de porcentagem de falha de dosagem devido a falta de dosagem de sementes do mecanismo dosador de acordo com o número de punções e a velocidade.....	59
5. Médias de porcentagem de falha de dosagem devido as dosagens duplas do mecanismo dosador de acordo com o número de punções e a velocidade .....	59

## RESUMO

FRABETTI, Douglas Ricardo, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2008. **Desenvolvimento e avaliação do desempenho de uma semeadora punçionadora para plantio direto de milho.** Orientador: Ricardo Capúcio de Resende. Co-Orientadores: Daniel Marçal de Queiroz e Caetano Marciano de Souza.

O presente trabalho foi realizado a fim de desenvolver uma semeadora pontual para semeadura de milho em sistema de plantio direto, bem com avaliar seu sistema de dosagem e distribuição de sementes. Primeiramente, foi elaborada uma lista de requisitos que a máquina deveria atender. Depois foram feitos o projeto conceitual e do corpo da máquina. Em seguida foi feito o projeto detalhado de todas as partes e conjuntos. Foi utilizado um software CAD para auxiliar na modelagem sólida das partes e na elaboração dos desenhos bidimensionais detalhados para posterior construção do protótipo. Em bancada de ensaio, foi avaliado o desempenho do sistema dosador e distribuidor de sementes em relação à variação da velocidade e da quantidade de punções utilizada. O delineamento experimental foi em blocos casualizados arranjos em parcelas subdivididas com a parcela principal composta por 6, 9 e 12 punções e a sub-parcela sendo quatro rotações da roda dosadora correspondente às velocidades de deslocamento de 4, 6, 8 e 10 km h<sup>-1</sup>. Verificou-se a quantidade de sementes que foi dosada e distribuída em cada punção, para tanto foram feitas filmagens dos ensaios da semeadora para posterior contagem das sementes. Dosagens de duas sementes por punção foram consideradas como sendo dupla; com apenas uma semente, dosagem normal; ou falha na dosagem, quando nenhuma semente foi ejetada na punção. Os dados foram submetidos a análise de variância, e para todos os casos em que o teste F foi significativo, realizou-se o teste

de Tukey a 5% de probabilidade. Os resultados do desenvolvimento foram a elaboração de um projeto detalhado com desenhos e esquemas de montagem e a construção do protótipo. Os resultados dos ensaios mostraram que houve uma tendência de diminuição da dosagem e distribuição das sementes com o aumento da velocidade para regulagens com 6, 9 e 12 punções e para o aumento do número de punções para as velocidades de 8 e 10 e  $\text{km h}^{-1}$ . De um modo geral, tanto o aumento da velocidade quanto o aumento do número de punções nas rodas diminuiu o número de duplas e aumentou o número de faltas, porém a diminuição do número de duplas não foi significativo quanto o aumento do número de faltas. A semeadora teve um desempenho satisfatório, tendo uma média geral do número de normais de 90,55%.

## ABSTRACT

FRABETTI, Douglas Ricardo, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, march 2007  
**Development and evaluation of performance of a punch planter for the corn plantation.** Adviser: Ricardo Capúcio de Resende. Co-Advisers: Daniel Marçal de Queiroz and Caetano Marciano de Souza.

The objective of this work was to develop a punch planter to plant corn seeds in no-till systems, and also to assess the distribution of seeds by the seed metering unit. First of all, it was established a list of requirements which the machine would have to attend. Next, it was made the conceptual design and also the embodiment design of the machine. Then, it was made the detailed design of all the machine parts. It was used a CAD software to make the solid parts of the machine and also to prepare the detailed bi-dimensional drawings for further prototype construction. In a testing bench it was assessed the performance of the seed metering unit and its seed delivery system in relation to the punch wheel speed and the quantity of punches on the wheel. The statistical design was in random blocks arranged in sub-divided plots with the main plot made of 6, 9 and 12 punches and the sub-plot made of four rotation of the punch wheel, corresponding to the travel speeds of 4, 6, 8 and 10 km h<sup>-1</sup>. The number of seeds that was metered and distributed to each punch was counted using a video recorded during the experiments. When two seeds were delivered to a single punch it was considered a double; when only one seed were

delivered, it was considered a normal dosage; when a punch did not receive a seed it was considered a missing error. The data were submitted to a statistical analysis, and for all F test that were significant, it was accomplished the Tukey test at 5% of probability. The results of the development phase were a detailed design with part and assemble drawings and a punch planter prototype that was manufactured, assembled and fine tuned. The results of the experiments showed that there was a decrease in the dosage and distribution of seeds with the increase of velocity when the punch wheel were operating with 6, 9 and 12 punches and for the increase in the number of punches at the velocities of 8 and 10 km h<sup>-1</sup>. Generally, the increase in velocity and the increase in the number of punches in the punch wheel decreased the number of doubles and increased the number of missing seeds; however the decrease in number of doubles were not significant comparing to the increase in the number of errors. The punch planter had a satisfactory performance, with a global mean of 90.55% for the normal seeds, when a single seed was delivered to each punch.

## 1. INTRODUÇÃO

As semeadoras convencionais utilizadas para plantio de milho apresentam problemas na uniformidade de distribuição das sementes na linha de plantio devido a rebotes das sementes no duto de distribuição e rolamento das mesmas no solo, principalmente quando realizam o trabalho a velocidades elevadas. A distribuição desuniforme entre plantas é um fator prejudicial para produtividade da cultura do milho, devido à concorrência entre plantas pela interceptação da radiação solar.

Além disso, a força de tração necessária para semear em sistema de plantio direto é maior do que no plantio convencional e o corte da cobertura de palha nem sempre é eficiente, podendo causar embuchamento e deposição das sementes sobre a palha.

Visando solucionar os problemas encontrados na semeadura em sulco, a mais de quatro décadas vários pesquisadores vêm tentando desenvolver máquinas que façam semeadura em covas equidistantes. Entretanto, ainda não existe no mercado uma solução confiável, devido à dificuldade encontrada em transferir as sementes do sistema dosador para o solo, devido a entupimentos das punções ou ainda pela elevada complexidade da máquina.

Tendo em vista as melhorias proporcionadas pelo sistema de plantio por covas, o presente trabalho teve como objetivo geral o desenvolvimento de tecnologia

para semeadura em covas sob sistema de plantio direto. E como objetivos específicos:

- Desenvolver um protótipo de uma semeadora puncionadora para plantio direto de milho; e
- Avaliar a influência da velocidade de operação do protótipo da semeadora na dosagem e distribuição de sementes.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Sistema de plantio direto**

O Sistema de Plantio Direto (SPD) foi definido por Gassen & Gassen (1996) como a prática de semeadura ou cultivo de plantas sem o preparo físico do solo, mantendo a palha da cultura anterior na superfície. As sementes são colocadas em sulcos ou covas, com largura e profundidade suficientes para a adequada cobertura e contato das sementes com a terra. Estima-se que, no Brasil, o somatório das áreas de cultivo utilizando o SPD foi de 25,8 milhões de hectares em 2006 (FEBRAPDP, 2007).

Weiss et al.(1998), enfatizaram que o cultivo mínimo e o plantio direto são práticas que consistem na mínima mobilização em toda área de plantio ou na mobilização apenas na linha de semeadura, com o solo parcial ou totalmente coberto por planta de restos culturais.

Em SPD a cobertura de palha desempenha importante função na proteção contra a radiação solar, na diminuição da erosão, na retenção, adsorção e redução da evaporação da água, no controle de plantas daninhas, na reciclagem de nutrientes, além de beneficiar a atividade biológica (GASSEM & GASSEM, 1996).

A matéria orgânica no solo, melhora química, física e biologicamente o solo proporcionando maior equilíbrio nas relações entre a atividade biológica, fertilidade e conservação do solo. Nos trópicos, a sustentabilidade de um sistema agrícola está baseada no montante de material orgânico que é continuamente reciclado, e somente

a partir da contínua reposição é que se podem alcançar os benefícios resultantes do seu uso. A matéria orgânica se constitui, portanto, em um elemento importante como fonte de nutrientes e energia para muitos organismos, além de possibilitar benefícios como melhor estruturação e capacidade de armazenagem de água no solo, processos fundamentais para o desenvolvimento da cultura agrícola e biota do solo (AQUINO & ASSIS, 2005).

Devido à grande necessidade de se produzir mais alimentos, Furlani et al. (1999) citaram que alguns sistemas de produção vêm esgotando e empobrecendo os solos, por serem explorados de maneira inadequada. A prática de manejo e conservação do solo aprimorou-se com o uso do plantio direto, diminuindo o empobrecimento das áreas de plantio.

Sidiras et al. (1984) observaram o efeito da cobertura do solo com resíduos vegetais na redução das perdas de água por evaporação, o qual foi mais pronunciado na profundidade de 0-10 cm. As perdas foram evitadas ou reduzidas por meio da cobertura da superfície com resíduos de aveia-preta, tanto na cultura da soja como na do milho.

Segundo Gassen & Gassen (1996), o controle biológico é maior nas lavouras sem preparo do solo e com palha. Segundo o autor, o micro-clima úmido, com menor amplitude de variação térmica na camada protegida pela palha, favorece o desenvolvimento de fungos, bactérias, insetos predadores parasitóides de pragas e decompositores de resíduo orgânico. Portanto, o SPD com palha na superfície é uma prática que beneficia o aumento da atividade biológica e promove o controle natural de pragas.

## **2.2. Arranjo entre plantas numa lavoura de milho**

Além de fatores genéticos, a produtividade de uma cultura depende das condições de solo e de clima, particularmente da radiação solar. A utilização de luz é o processo mais importante para a produtividade, porque é através da fotossíntese que a planta acumula matéria orgânica em seus tecidos. A quantidade de energia convertida e, portanto, a quantidade de massa seca produzida, depende da percentagem de absorção e da eficiência de utilização da energia absorvida (JOHNSON et al., 1998).

Segundo Ottman & Welch (1989), a produtividade das culturas é dependente da fotossíntese e da respiração do dossel. Por sua vez, a fotossíntese do dossel é função da fotossíntese da folha e da interceptação da radiação solar. Já a interceptação da radiação solar é influenciada pelo índice de área foliar, ângulo da folha, interceptação de luz por outras partes da planta, distribuição de folhas (arranjo de folhas na planta e de plantas no campo), características de absorção de luz pela folha e pela quantidade de radiação incidente.

Teoricamente, o melhor arranjo é aquele que proporciona distribuição mais uniforme de plantas por área, possibilitando melhor utilização de luz, água e nutrientes. As plantas podem ser distribuídas de várias formas, sendo que as variações na distância entre elas na linha e nas entre linhas determinam os diferentes arranjos na lavoura. Os principais fatores que influenciam a escolha do arranjo de plantas de milho são: cultivar, objetivo do produtor, nível tecnológico, época de semeadura e duração da estação de crescimento na região de cultivo. Híbridos mais precoces (ciclo mais curto) requerem maior densidade de plantas em relação aos de ciclo normal para atingir seu potencial de rendimento. Isso se deve ao fato de os híbridos mais precoces geralmente apresentarem menor estatura, folhas menores, menor área foliar por planta e menor sombreamento do dossel da cultura (SANGOI, 2000).

Em termos de competição por água e nutrientes, a melhor distribuição teórica de plantas de milho, numa determinada área, é obtida quando o volume de solo por unidade de planta é maximizado, otimizando assim os recursos naturais disponíveis, o que propicia à cultura um menor estresse ambiental, resultando numa maior produtividade com menor custo, conseqüentemente, maximizando o lucro (PALHARES, 2003). Nesse raciocínio, foi verificado que a melhor distribuição para a população de 70.000 plantas por hectare, é obtida num arranjo hexagonal, com espaçamento entre plantas de 40,6 cm (ep) e espaçamento entre fileiras de 35,2 cm (ef) conforme ilustra a Figura 1 (DOURADO NETO et al. 2001).

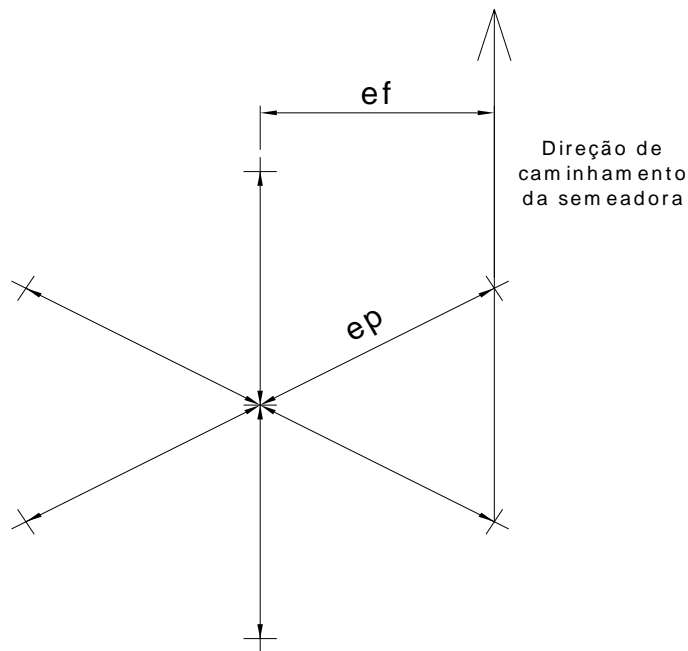


Figura 1 – Arranjo hexagonal ideal de plantas de milho (DOURADO NETO et al., 2001).

Rizzardi et al. (1994), ao avaliar a influência da distribuição de plantas na linha sobre o rendimento de grãos e seus componentes em dois espaçamentos entre linhas, verificaram que a variação da distribuição das plantas na linha de semeadura não alterou o rendimento de grãos, independente do espaçamento entre elas. Os mesmos autores concluíram ainda que, o milho foi capaz de compensar os espaços deixados pela desuniformidade de semeadura, desde que mantida a mesma população de plantas.

Teasdale (1995) cita que, mesmo que em algumas situações a redução do espaçamento para 0,45 m entre linhas não resulte em aumento do rendimento de grãos do milho, a sua adoção pode ser justificada pelo aumento da competitividade com plantas daninhas, devido à maior quantidade de luz que é interceptada pelo dossel da cultura.

### **2.3. Semeadoras convencionais**

A ABNT (1994) classifica as semeadoras segundo sua forma de distribuição de sementes, podendo ser semeadoras de precisão e semeadoras de fluxo contínuo. As semeadoras de precisão são equipamentos agrícolas que individualizam e depositam as sementes a uma determinada profundidade no solo, segundo densidade predefinida de sementes por área.

Kurachi et al. (1989) citam que os fatores que podem afetar o desempenho das semeadoras-adubadoras em ensaios de laboratório são: o nível de sementes no reservatório, velocidades simuladas de deslocamento, velocidade de operação do mecanismo dosador, regulagens básicas do mecanismo (dosagem) e a posições do mesmo ou do equipamento ensaiado em relação ao solo.

Normas, procedimentos de ensaios e trabalhos de pesquisa apontam a regularidade de distribuição longitudinal de sementes como uma das características operacionais que mais contribuem para a obtenção de um estande adequado de plantas e, conseqüentemente, boa produtividade da cultura (KURACHI et al., 1989).

Araújo et al. (1999) avaliaram o desempenho de quatro semeadoras adubadoras comerciais equipadas com disco de corte, sulcadores do tipo hastes para fertilizantes e discos duplos para sementes segundo a profundidade e a área mobilizada de solo no sulco, a profundidade das sementes, o número médio de dias para emergência e o índice de emergência de soja e milho. As semeadoras apresentaram desempenho diferenciado quanto à mobilização do solo. As diferentes características das hastes e de suas ponteiros determinaram as diferenças no desempenho. Os mesmos autores concluíram ainda que, os efeitos dos fatores: semeadora, velocidade e da interação entre eles foram influenciados pelas condições iniciais do solo.

Balastreire et al. (1990) compararam o desempenho de dosadores de disco perfurado horizontal e inclinado, com sementes de milho e soja e concluíram que as duas semeadoras ensaiadas estavam aquém do esperado quanto à distribuição longitudinal de sementes e que o número de sementes por metro linear foi diretamente proporcional à porcentagem de enchimento dos discos dosadores, dentro de uma mesma relação de transmissão, mesmo em diferentes velocidades.

Klein et al. (2002) concluíram que a velocidade de semeadura de soja não afetou significativamente o percentual de espaçamentos duplos ou falhos, nem o número de plântulas emergidas após 27 dias da semeadura.

Silva & Silveira (2002) avaliaram o estabelecimento da cultura por meio de uma semeadora adubadora com dosador de sementes de disco horizontal perfurado. A máquina operou em quatro velocidades de deslocamento (3, 6, 9, e 11,2 km h<sup>-1</sup>) e duas profundidades de adubação (0,05 e 0,10), em um SPD. Verificaram que as sementes de milho que passaram pelo dosador de disco horizontal não foram sensivelmente danificadas e a uniformidade de espaçamentos entre sementes de milho na linha de semeadura foi considerada excelente para velocidades de 3 km h<sup>-1</sup>, regulares para 6 e 9 km h<sup>-1</sup> e insatisfatória para 11,2 km h<sup>-1</sup>. As velocidades de operação da semeadora adubadora de até 6 km/h e a adubação realizada a 0,10 cm de profundidade, propiciam maior estande de plantas, quantidade de espigas e produtividade.

Segundo Mialhe (1996), as semeadoras para o plantio direto são projetos adaptativos das semeadoras convencionais. Devido ao embuchamento da palha em SPD, as semeadoras convencionais foram adaptadas utilizando-se um disco de corte de palha. Além disso, sua estrutura foi reforçada para resistir ao maior esforço exigido em solos não revolvidos.

#### **2.4. Semeadoras puncionadoras**

Pesquisadores, diante da possibilidade de aumentar a produtividade de algumas culturas que são sensíveis à uniformidade de distribuição entre plantas, desenvolveram semeadoras que pudessem semear pontualmente, promovendo elevada precisão no posicionamento das sementes. Esses protótipos foram chamados de semeadoras puncionadoras (punch planters) ou semeadoras de covas. Com o surgimento do SPD notou-se que essas semeadoras possibilitavam, também, um menor revolvimento do solo e da cobertura morta, requisitos importantes para uma agricultura conservacionista.

Para desenvolvimento das semeadoras puncionadoras utilizaram-se, basicamente, um dos três conceitos: o de aberturas das covas para posterior deposição de sementes, o de pressionar as sementes no solo e o de abrir as covas e depositar as sementes simultaneamente.

Jafari & Fornstrom (1972) desenvolveram uma semeadora para o plantio de beterraba (Figura 2). O protótipo era constituído basicamente de uma roda com punções cônicas com a finalidade de abrir as covas no solo. Após a abertura das covas, as sementes eram distribuídas dentro das covas por um dosador que trabalhava sincronizado a roda puncionadora por meio de uma correia.

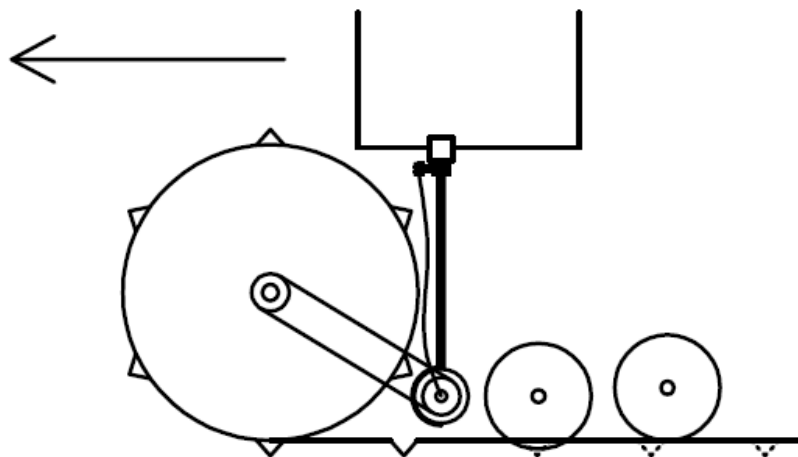


Figura 2 – Semeadora puncionadora de precisão desenvolvida por Jafari & Fornstrom (1972).

Heinemann Junior. et al. (1973) desenvolveram dois protótipos de semeadoras para semeadura em covas. Primeiramente desenvolveram uma semeadora pneumática em que um cilindro pneumático abria as covas no solo. O cilindro era controlado por uma válvula solenóide que era comandada por um sistema magnético acionado por pulsos magnéticos gerados por ímãs distribuídos em uma roda que passava sobre o solo. A quantidade de ímãs utilizados controlava a distância entre covas. As sementes eram lançadas por gravidade por um dosador que ficava logo atrás do cilindro pneumático, como pode ser visto na Figura 3. Um outro conceito também foi proposto pelos autores. Esse conceito possuía duas rodas e uma esteira. A roda dianteira possuía punções articuladas que penetravam no solo para abrir as covas. A esteira possuía furos os quais passavam as punções e as sementes eram lançadas por gravidade por um dosador que ficava entre as duas rodas.

Estes conceitos foram abandonados devido à dificuldade de deposição das sementes nas covas abertas.

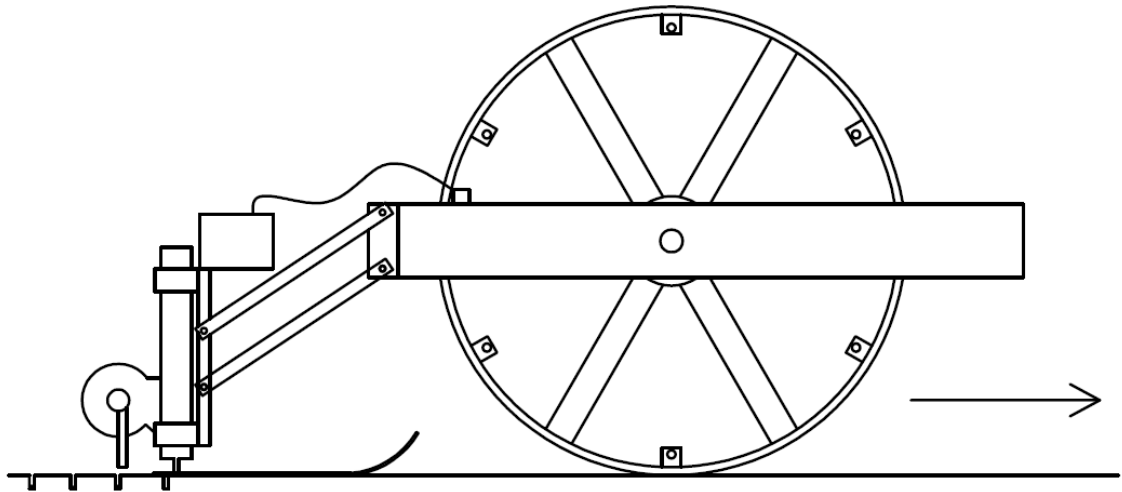


Figura 3 – Semeadora de precisão com sistema pneumático de puncionamento intermitente, desenvolvida por Heinemann Junior et al. (1973).

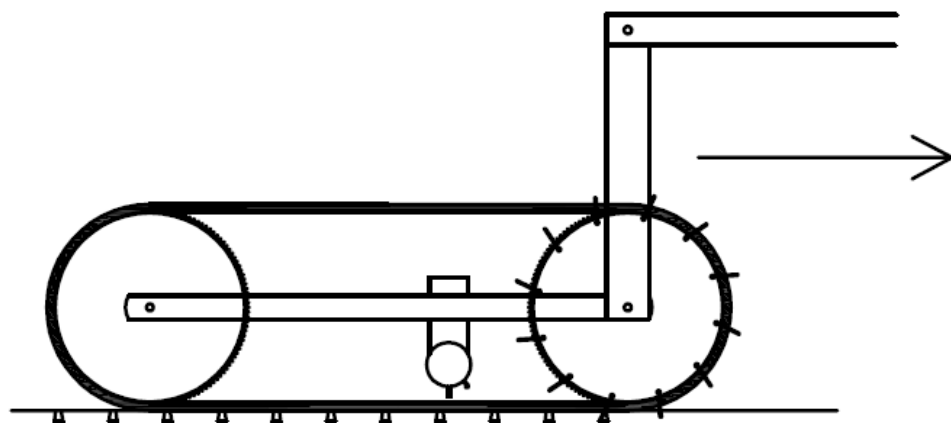


Figura 4 – Semeadora de precisão do tipo esteira, desenvolvida por Heinemann et al. (1973).

Seguindo o conceito de pressionar as sementes no solo, Wilkins et al. (1979) utilizaram punções magnéticas que atraíam as sementes previamente recobertas com óxido de ferro, a aderência da semente ao solo removia a semente das pontas das punções (Figura 5). Já Bufton et al. (1986) utilizaram vácuo para fixar as sementes nas extremidades das punções as quais eram liberadas dentro da cova com a interrupção do vácuo (Figura 6).

Brown et al. (1994) utilizaram um sistema onde a roda puncionadora realizava a deposição da semente através de dois estágios. O primeiro era a individualização e o posicionamento das sementes dentro de punções cilíndricas ocas, o segundo era o puncionamento da semente no solo através de pinos que se deslocavam dentro destes tubos como se fosse um conjunto de pistão como pode ser observado a Figura 7.

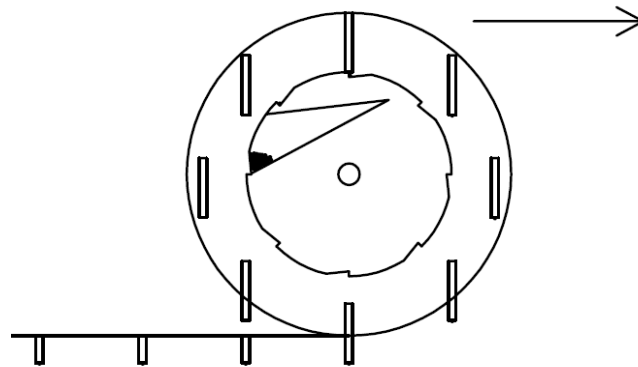


Figura 5 – Sementeira puncionadora com punções magnéticas desenvolvida por Wilkins et al. (1979).

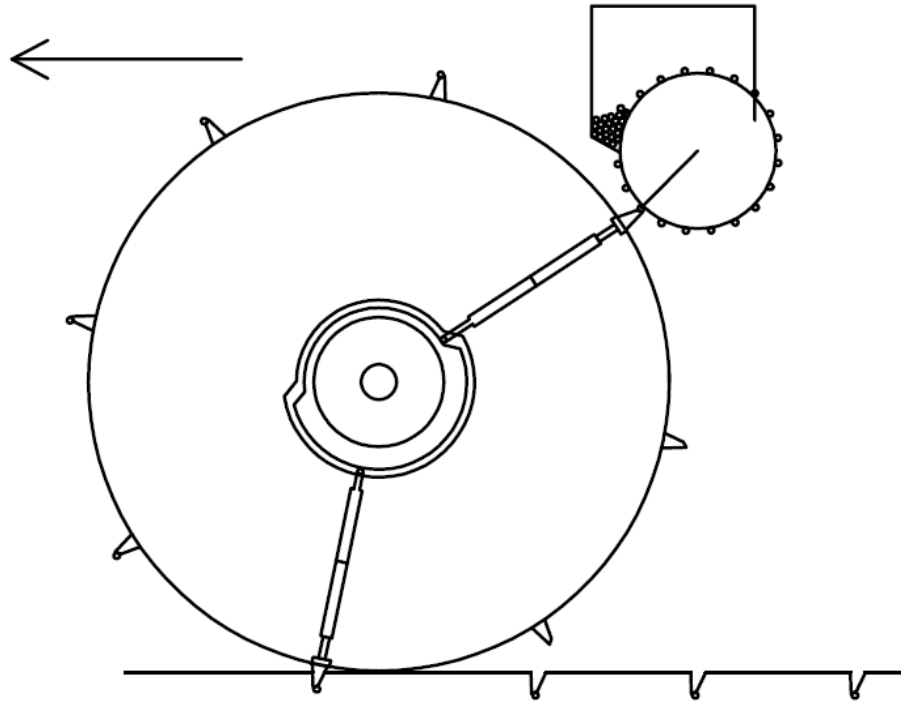


Figura 6 – Semeadora puncionadora desenvolvida por Bufton et al. (1986).

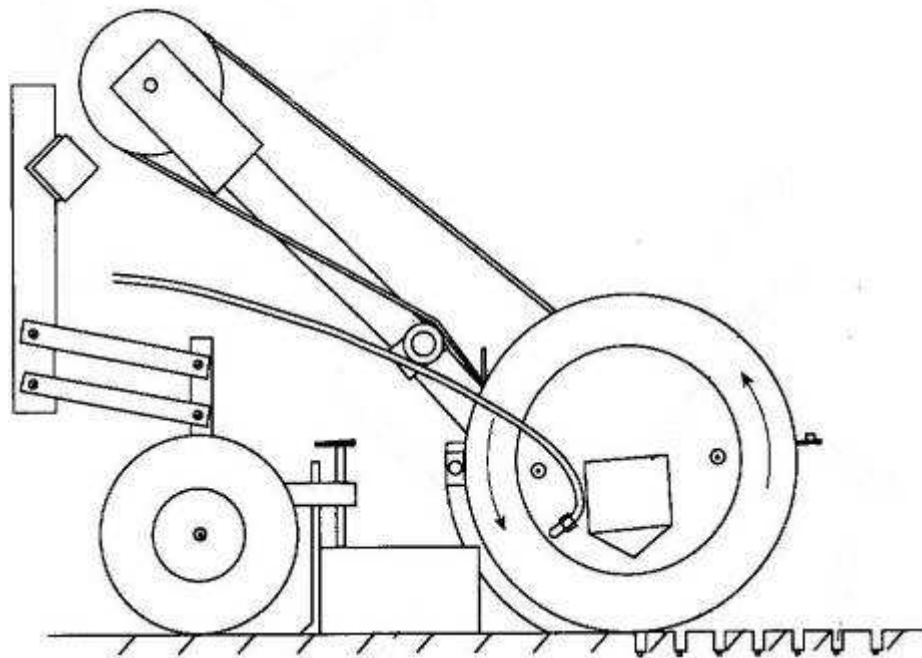


Figura 7 – Semeadora puncionadora desenvolvida por Brown et al. (1994).

O conceito de dosar sementes simultaneamente à abertura de covas foi primeiramente utilizado por Adekoya & Buchele (1987) que desenvolveram uma semeadora que se constituía basicamente por uma roda puncionadora com eixo horizontal e um dosador de sementes externo. As punções eram ocas e possuíam tampas que se abriam quando as mesmas penetravam o solo e, ao mesmo tempo, as sementes eram depositadas nas covas. O processo de abertura das tampas era feito por meio de um sistema de cames e alavancas. Esse conceito tem a desvantagem de possuir um número muito elevado de peças móveis e apresenta dificuldades de limpeza das punções, em caso de entupimento.

Shaw & Kromer (1987) desenvolveram uma semeadora na qual uma roda puncionadora inclinada em relação ao plano longitudinal e também inclinado em relação à linha de deslocamento da máquina era usada para abrir uma linha de covas. Desta forma o solo era deslocado lateralmente pelas punções tronco-piramidais ocas, abrindo covas para a deposição simultânea das sementes. O dosador de sementes ficava integrado à roda. Tubos radiais conduziam as sementes do dosador até as covas abertas. Tal conceito mostrou-se promissor devido, principalmente a sua simplicidade, tendo apenas uma parte móvel. Entretanto, problemas foram encontrados para distribuir as sementes até o fundo das covas abertas e para evitar o entupimento das punções. Molin et al. (1998a), seguindo o mesmo princípio, projetaram uma semeadora de cova com mecanismo dosador pneumático para semeadura direta (Figura 8). Na continuidade, Molin et al. (1998b) construíram um segundo protótipo com o objetivo de testar a possibilidade de variação da população de semente de milho. Foram construídas três rodas com diâmetros diferentes, fazendo variar o comprimento das ponteiras. Com isso foi possível obter um espaçamento entre pontas de 136, 165 e 210 mm.

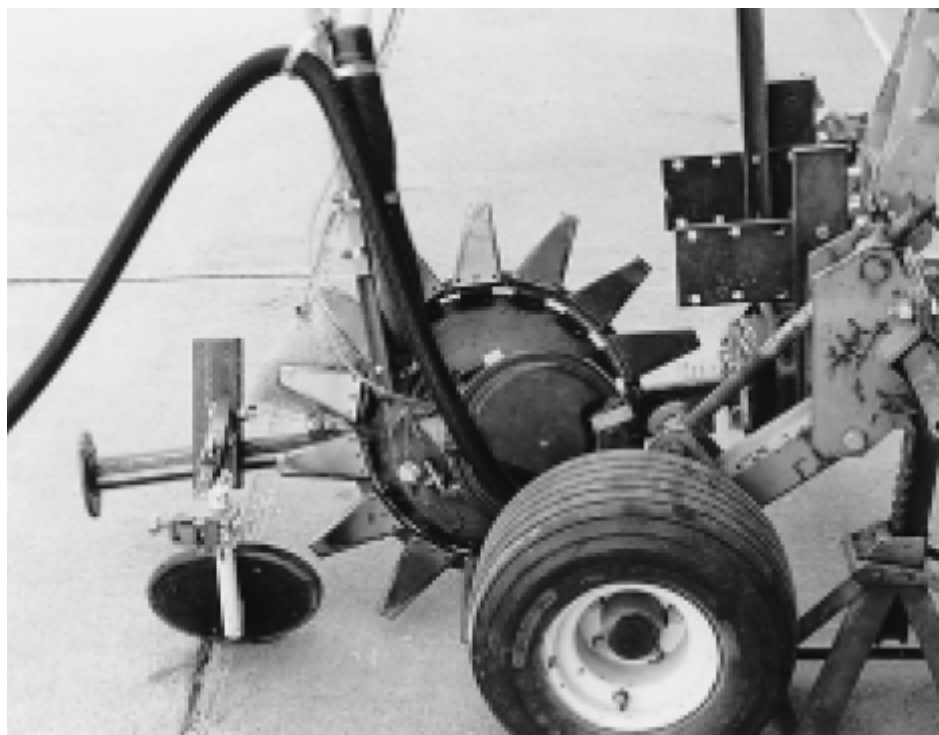


Figura 8 – Protótipo desenvolvido por Molin et al. (1998).

Resende (2002) desenvolveu uma semeadora puncionadora na qual a abertura de uma linha de covas era realizada por meio de rodas posicionadoras em “V” que giravam sincronizadas, devido ao engrenamento das punções (Figura 9). As punções se encontravam num ponto de contato imediatamente acima da superfície do solo. Ao penetrar no solo, as punções se afastavam abrindo as covas. As principais vantagens deste conceito são: a simplicidade devido à utilização de apenas duas partes móveis; a eficiência da vedação contra o entupimento das punções, verificado nos testes em tanque de solo; a habilidade de conduzir as sementes do dosador até as covas abertas; e o potencial de trabalhar em velocidades relativamente elevadas.



Figura 9 – Semeadora puncionadora com sistema de discos convergentes com desenvolvida por Resende (2002).

Utilizando o mesmo principio desenvolvido por Resende (2002), Yamamoto (2005) desenvolveu e avaliou um mecanismo para adubação pontual para SPD. Tal mecanismo foi capaz de aplicar doses discretas de adubos sólidos, porém obteve problemas com aplicação de adubos acima da linha do solo para velocidades acima de  $5 \text{ km h}^{-1}$

A maioria das semeadoras pontuais encontradas na literatura apresenta limitações devido a entupimento das punções, número elevado de peças móveis ou dificuldades no sincronismo do sistema dosador com o sistema distribuidor, sendo necessário o aperfeiçoamento ou desenvolvimento de novos sistemas.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

A semeadora foi desenvolvida, construída e avaliada no Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Sua construção e avaliação ocorreram no Laboratório de Mecanização Agrícola do DEA/UFV.

#### **3.1. Desenvolvimento de uma semeadora puncionadora para plantio direto de milho**

Nesta fase utilizou-se a metodologia de projeto proposta por Pahl & Beitz (1996), composta das seguintes fases:

- especificação de projeto da semeadora
- projeto conceitual da semeadora
- projeto do corpo da semeadora
- projeto detalhado da semeadora
- fabricação e montagem da semeadora

##### **3.1.1. Especificações do projeto da semeadora**

Nesta etapa foram levantados os requisitos de projeto que uma semeadora de precisão precisaria atender para realizar o plantio direto de milho na palha. Também foram consideradas as principais restrições envolvidas na solução do problema. O resultado dessa fase foi a elaboração de uma lista de requisitos. O projeto foi realizado com base nos requisitos da cultura do milho.

### **3.1.2. Projeto conceitual da semeadora**

Nesta etapa partiu-se das especificações de projeto. Elaborou-se uma estrutura de funções que a máquina deveria realizar e procurou-se por princípios de solução para atender todas as funções. O resultado dessa fase foi o conceito básico da máquina, ou seja, a definição dos princípios de funcionamento de todos os sistemas da semeadora.

### **3.1.3. Projeto do corpo da semeadora**

Partindo do conceito da máquina definiu-se o layout da semeadora, a forma, as principais dimensões e os arranjos dos principais componentes, bem como a seleção das peças que seriam adquiridas.

O resultado final desta etapa foi basicamente o layout do protótipo da semeadora puncionadora e a forma dos componentes.

### **3.1.4. Projeto detalhado da semeadora**

Nessa fase foram preparados os desenhos detalhados das peças que seriam fabricados, definindo todas as suas dimensões e selecionados os materiais de fabricação. Desenhos de montagem de semeadora como um todo, bem como de alguns subsistemas também foram elaborados.

Os modelos sólidos e desenhos bi-dimensionais das partes do protótipo foram realizados em um programa computacional de CAD (Computer Aided Design).

O software CAD também foi utilizado para montar um protótipo virtual tridimensional da semeadora e para fazer simulações dos movimentos dos componentes. Utilizando essa ferramenta, foi possível identificar possíveis falhas no projeto, como colisão entre peças e dificuldades de montagem dos componentes. Desta forma, pôde-se fazer correções de forma rápida e com baixo custo, agilizando a atividade de projeto.

### **3.1.5. Construção da semeadora**

Nessa fase partiu-se dos desenhos de fabricação da máquina para construção de um protótipo de uma semeadora puncionadora para o plantio direto de milho. O protótipo foi construído utilizando máquinas e equipamentos convencionais de

ferramentaria tais como torno mecânico, furadora, dobradora de chapas, torno de mesa, dentre outros.

Após a construção, as peças foram pintadas e posteriormente montadas, resultando num protótipo de uma semeadora puncionadora.

### **3.2. Avaliação do sistema dosador de sementes**

O conjunto dosador/distribuidor de sementes também foi avaliado no Laboratório de Mecanização Agrícola da Universidade Federal de Viçosa.

A avaliação do desempenho do protótipo da semeadora basicamente constituiu-se da avaliação dos sistemas dosador e distribuidor de sementes.

Primeiramente foram feitos ajustes visuais do sistema de individualização e ejeção das sementes dentro das punções. A velocidade de operação do protótipo foi aumentada gradativamente e a quantidade de punções nas rodas puncionadoras também foi alterada.

- **Insumos e instrumentação usados no experimento**

Na implantação do experimento, foram utilizadas sementes de milho híbrido AG 2060, peneira C3L, conforme dados do fabricante (Agrocere).

Foi construído um suporte com cantoneiras e barras metálicas para fixação do conjunto em bancada.

Para movimentar a roda puncionadora, utilizou-se um motor e um conjunto de polias e correias para se fazer a transmissão de potência. A regulação da velocidade foi controlada por meio de um inversor de frequência conectado ao motor elétrico.

Na Figura 10 pode se observar o protótipo fixado em bancada e o sistema de transmissão de potência.



Figura 10 – Protótipo montado em bancada.

Para medir a velocidade rotacional do mecanismo dosador e distribuidor de sementes, foi utilizado um sensor de proximidade para captar pulsos a cada aproximação da punção. Com a utilização desse sensor podem se desconsiderar as perdas na transmissão de potência. Foi utilizado um sistema de aquisição de dados composto por um computador portátil, um sistema de aquisição de dados (data logger) Spider 8, fabricado pela HBM e o programa computacional CATMAN<sup>®</sup> 4.5. Os valores de velocidade, distância e tempo, foram armazenados no computador portátil para posterior análise. Na Figura 11 pode ser visualizado o sistema de aquisição de dados e o computador (Figura 11a), o posicionamento do sensor na estrutura de fixação da máquina (Figura 11b), e o inversor de frequência para controlar a velocidade de motor (Figura 11c).

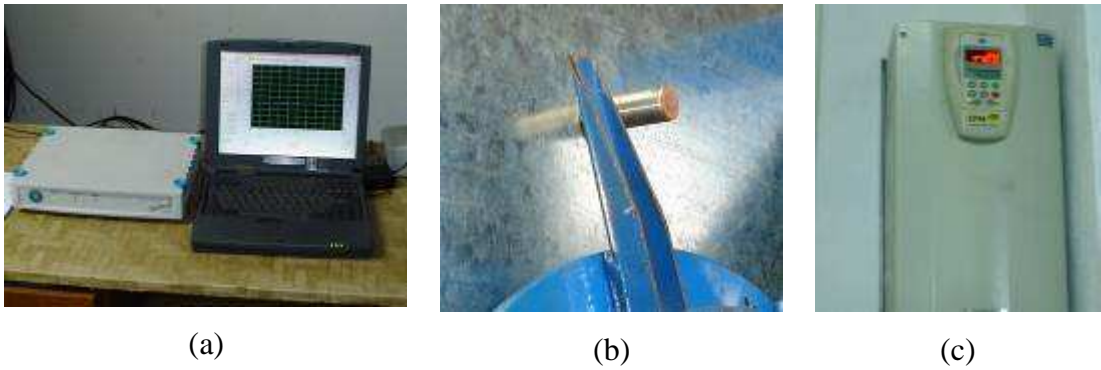


Figura 11 – Fotos do sistema de aquisição de dados (a), do sensor de proximidade (b) e do inversor de frequência (c).

Utilizou-se um ventilador centrífugo de um aspirador de pó doméstico para proporcionar a pressão negativa para capturar as sementes. Foram feitas medições das pressões em todas as unidades experimentais. Para tanto, se utilizou um manômetro de coluna de água em “U”. As medições foram feitas após cinco minutos de funcionamento do sistema. Foram calculadas as médias das repetições para posterior análise estatística.

A parte frontal do dosador e distribuidor de sementes foram construídos de acrílico para que a trajetória da semente do duto até a saída da punção fosse filmada para posterior contagem das sementes.

Uma câmera foi utilizada para fazer a filmagem dos testes. O modelo da câmera foi o GD-R 90 da marca JVC. A filmagem foi transferida para um DVD e foi utilizado um aparelho de leitura de tal formato para se contar a quantidade de sementes que saíam das punções. Utilizou-se a função de leitura quadro-a-quadro, para facilitar a visualização da saída das sementes das punções.

- **Delineamento experimental e análise estatística dos dados**

O experimento foi instalado, com quatro repetições, segundo o delineamento em blocos casualizados no esquema de parcelas subdivididas em que o fator número de punções (6, 9 e 12 punções) foi designado as parcelas e o fator velocidade (4, 6, 8 e 10 km h<sup>-1</sup>), foram designados as subparcelas. Os números de punções avaliados 6, 9 e 12 correspondem aos espaçamentos entre sementes de 71, 106 e 141 mm.

Para cada uma das 48 unidades experimentais, foi avaliado o número de sementes em trezentas passagens das punções pelo sensor de proximidade. O número de sementes em cada uma destas passagens foram uma, duas ou nenhuma. Com relação a este número de sementes, as dosagens foram classificadas como dosagem normal se o número de sementes foi um; falha devido à dosagem dupla de sementes na punção e; falha na dosagem devida não dosagem de semente na punção (faltas). Com base nestas dosagens, as porcentagens de normais, duplas e faltas foram calculadas e submetidas às análises estatísticas.

Para cada unidade experimental foram coletados dados das pressões estáticas do sistema pneumático do dosador de sementes.

- **Análise estatística dos resultados obtidos com a realização experimento**

Os resultados obtidos durante o experimento foram tabulados e submetidos à análise de variância. Para os casos em que o teste F foi significativo, realizou-se o teste de comparação de médias pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Para realizar as análises estatísticas, foi utilizado o programa computacional SAEG 9.0.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Desenvolvimento e construção de uma semeadora puncionadora para plantio direto de milho**

A seguir seguem os resultados das fases de desenvolvimento composto por: especificações de projeto resumidas em uma lista de requisitos do protótipo; projeto conceitual com uma estrutura de funções e sub-funções da semeadora; projeto do corpo da semeadora com as principais dimensões definidas; projeto detalhado com os modelos sólidos e os desenhos bi-dimensionais bem como as listas de peças necessárias para a construção do protótipo e; fabricação da semeadora.

#### **4.1.1. Especificações do projeto da semeadora**

Nesta fase listaram-se os requisitos e especificação do projeto da semeadora puncionadora para plantio direto de milho. Atentou-se para requisitos que atendessem os princípios do sistema de plantio direto e as necessidades de um bom cultivo da cultura do milho. A busca pela simplicidade nas soluções também foi um ponto crucial na elaboração dos requisitos.

A especificação de projeto da semeadora foi simplificada em uma lista de requisitos que pode ser vista abaixo:

- Distância entre linhas de plantio de no mínimo 450 mm e no máximo 900 mm;

- Minimização das dimensões laterais das punções para que haja o menor revolvimento do solo;
- As pontas das punções deverão possibilitar o corte da palha em SPD.
- Dimensões aproximadas da máquina: altura de 1600 mm, comprimento de 1000 mm e largura 440 mm;
- Utilização do sistema de levante de três pontos do trator para tracionar a máquina;
- Utilização do sistema de levante de três pontos para transportar a máquina;
- Acoplamento fácil entre trator/máquina;
- Velocidade de trabalho de até 10 km h<sup>-1</sup>;
- Peso de aproximadamente de 1000 N;
- Baixo consumo de energia;
- Capacidade do reservatório de no mínimo 5 litros;
- Fácil carga de sementes no reservatório;
- Transporte gravitacional das sementes do reservatório até o dosador;
- Reservatório de sementes liso com inclinações superiores ao do ângulo de repouso do milho (35° para umidade do grão de 13% b.u.);
- Utilização de material transparente na fabricação do dosador para possibilitar a visualização da trajetória das sementes;
- Dosagem de sementes variável, atendendo uma faixa de dosagem entre 40.000 a 90.000 plantas por hectare;
- Elaboração de mecanismos simples, com o mínimo de partes móveis;
- Dosagem sem danificação das sementes;
- Fácil regulagem da profundidade;
- Utilização de mecanismo para acompanhar as ondulações do terreno;
- Utilização de mecanismo para fechamento das covas;
- Possibilidade de regulagem da força de compactação do solo proporcionado pelo mecanismo de fechamento das covas;
- Utilização de materiais padronizados e comerciais;
- Minimização do consumo de matéria prima a ser utilizada na fabricação;
- Projeto de peças possíveis de serem construídas por equipamentos convencionais de ferramentaria tais como torno, furadoras, fresadora, dobradora, soldas, etc.;
- Fácil desmontagem e montagem e acesso às diversas partes;

- Sistemas de regulação de fácil acesso;
- Fácil limpeza;
- Fácil lubrificação;
- Relação custo benefício baixa;
- Ser esteticamente comercial;
- Custo de produção menor que o custo das semeadoras comerciais;
- Utilização de tintas para pinturas que minimizem a corrosão dos mecanismos.

#### **4.1.2. Projeto conceitual da semeadora**

Depois de elaborada a lista de requisitos, elaborou-se uma estrutura de funções para a máquina bem como procurou-se por soluções para atender cada função, tendo como base para a tomada de decisões a lista de requisitos elaborada.

A estrutura de funções pode vista na Figura 12. Nela se encontram as sub-funções necessárias para a realização da semeadura em um SPD e seus relacionamentos.

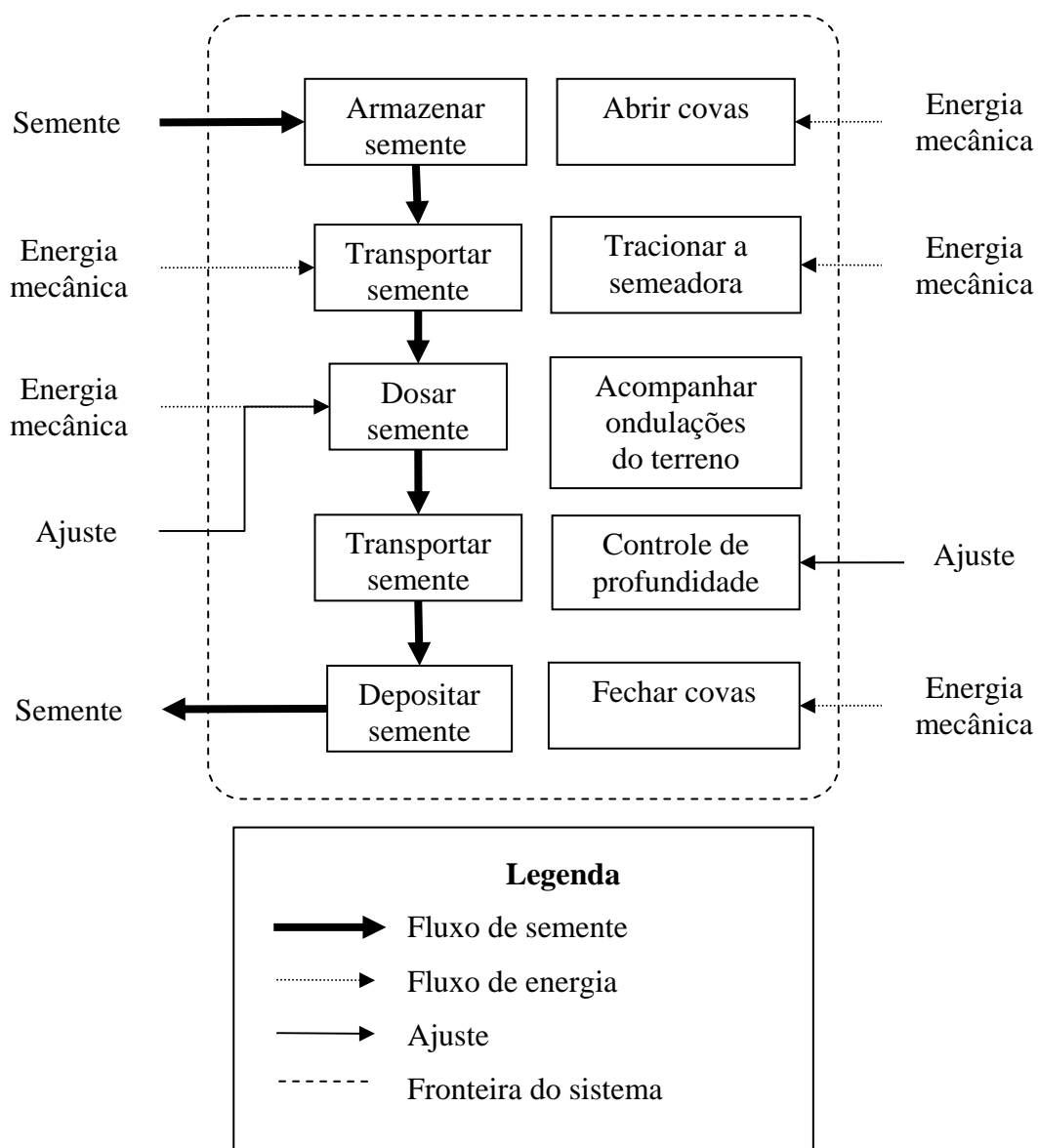


Figura 12 – Estrutura de funções para uma semeadora puncionadora.

Em seguida, são apresentadas as soluções escolhidas para realizar as sub-funções.

- **Armazenar sementes**

Optou-se por desenvolver um reservatório de sementes com tronco cônico disposto sobre as rodas puncionadoras para que as sementes fossem conduzidas para o dosador de sementes por gravidade. Sua capacidade deveria ser de no mínimo 5 litros como especificado na lista de requisitos.

- **Transportar as sementes do reservatório para o dosador**

Para fazer o transporte das sementes entre o reservatório e o dosador optou-se por utilizar a aceleração da gravidade. Desenvolveu-se um duto retangular com sua face frontal transparente para que o fluxo de sementes pudesse ser observado no momento dos testes em bancada. Procurou-se maximizar a seção transversal do duto para que não houvesse travamento das sementes no mesmo.

- **Abrir covas**

Definiu-se que o princípio de abertura de covas seria o mesmo utilizado por Resende (2002) (Figura 13). Esse mecanismo mostrou-se preciso, possui poucas partes móveis e é de fácil construção. Além disso, esse princípio revolve menos o solo e sua cobertura de palha do que os sulcadores das semeadoras para plantio direto convencional.

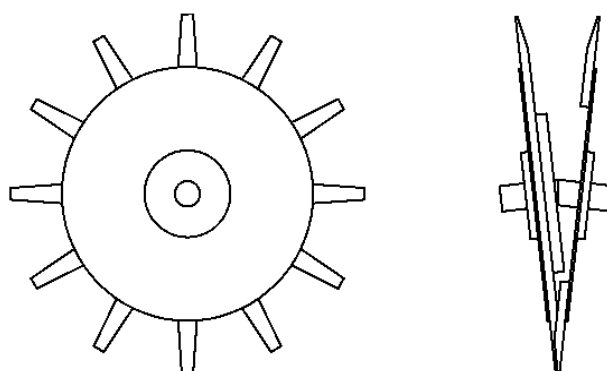


Figura 13 – Sistema de abertura de covas desenvolvida por Resende (2002).

Suas rodas puncionadoras posicionadas em “V” giram sincronizadas devido ao engrenamento entre as punções de rodas distintas. Durante esse engrenamento, as pontas das punções se aproximam até se tocarem e depois se afastam até que ocorra o desengrenamento. As punções iniciam a penetração no solo quando as pontas estão se tocando. Ao penetrar no solo as punções se afastam gradativamente. Durante o engrenamento as punções formam um duto fechado que serve para conduzir as sementes até o fundo da cova aberta.

Para variar a distância entre covas nas linhas de plantio e consecutivamente a população de plantas, optou-se pela variação do número de punções nas rodas punçadoras, por ser simples e de fácil fabricação. Outra opção seria variar o diâmetro da roda punçadora. Essa opção foi descartada por ser muito mais complexa e de difícil fabricação.

- **Dosar semente**

Optou-se por utilizar um sistema de dosagem de sementes pneumático a vácuo. Primeiramente por ser um sistema em que o disco de sementes trabalha na vertical, podendo o mesmo ser fixado concentricamente em uma das duas rodas punçadoras. Dessa forma, eliminou-se a necessidade de sistemas de transmissão de potência, como por exemplo, correntes. Segundo, Almeida et al. (2003), tal sistema proporciona menor dano mecânico às sementes comparado com os sistemas de dosagem por forma, como os discos horizontais de alvéolos.

A ejeção das sementes deveria ser feito por um ejetor interno no sistema de dosagem para que a semente pudesse ser direcionada as punções e serem transportadas até o solo.

Para se fazer a dosagem pneumática de sementes foi necessário utilizar um ventilador centrífugo para geração da pressão negativa, podendo ser acionada pela tomada de potência do trator ou por um motor elétrico.

- **Ajustar a dosagem de sementes**

Optou-se por utilizar discos perfurados intercambiáveis para o ajuste da dosagem de sementes. Decidiu-se utilizar discos de sementes com 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12 furos. Assim, pode-se dosar sementes em quantidades variadas adequando a população de plantas em função da variedade de sementes e dos tipos de clima e solo utilizados.

- **Transportar sementes e depositá-las no solo**

As sementes deveriam ser conduzidas do dosador até o solo pelo interior das punções, que possuem seção transversal em forma de “U” e estão encaixadas formando um duto fechado no momento do transporte das sementes. Cada semente liberada pelo dosador necessita percorrer todo o comprimento da punção (direção radial) e chegar ao fundo da cova no momento de penetração máxima da punção no

solo. Para velocidades elevadas, aproximadamente  $10 \text{ km h}^{-1}$ , o tempo disponível para que a semente passe de um extremo ao outro é de cerca de 0,15s (para uma roda puncionadora com diâmetro de 600mm). Esse é um problema intrínseco das semeadoras puncionadoras que dosam sementes em covas. Para resolver esse problema desenvolveu-se um sistema de transporte de sementes inovador.

Optou-se por transportar as sementes em duas etapas. Primeiramente a semente sairia do dosador e iria até aproximadamente o meio da punção, onde ficaria presa entre dois anéis de aço. Em seguida, essa semente daria uma volta completa nesta posição para então ser liberada e transportada até o fundo da cova. Assim, o tempo disponível para o transporte da semente foi dobrado para promover um fluxo mais suave, evitando acelerar bruscamente as sementes. O inconveniente dessa solução é que a primeira volta das rodas puncionadoras não libera sementes, pois as primeiras sementes dosadas são armazenadas nas câmaras de espera localizadas na porção intermediária das punções. A partir da segunda volta essas sementes são distribuídas para as covas abertas enquanto novas sementes tomam seus lugares na porção intermediária das punções.

- **Tracionar semeadora**

Para tracionar a semeadora optou-se utilizar o sistema hidráulico de três pontos do trator. Aproveitou-se uma estrutura porta ferramentas de fácil engate no sistema de três pontos do trator, disponível no Laboratório de Mecanização Agrícola da UFV.

- **Acompanhar irregularidades da superfície de plantio**

Optou-se por utilizar um sistema pantográfico entre o trator e a semeadora. Tal sistema faz com que a semeadora acompanhe as irregularidades do solo mantendo a unidade de semeadura sempre na mesma orientação angular.

- **Ajustar a profundidade**

Para controlar e ajustar a profundidade de semeadura optou-se por utilizar duas rodas reguladoras de profundidade fixadas ao chassi da semeadora, uma em cada lado das rodas puncionadoras. Esse artifício é utilizado comumente em semeadoras convencionais.

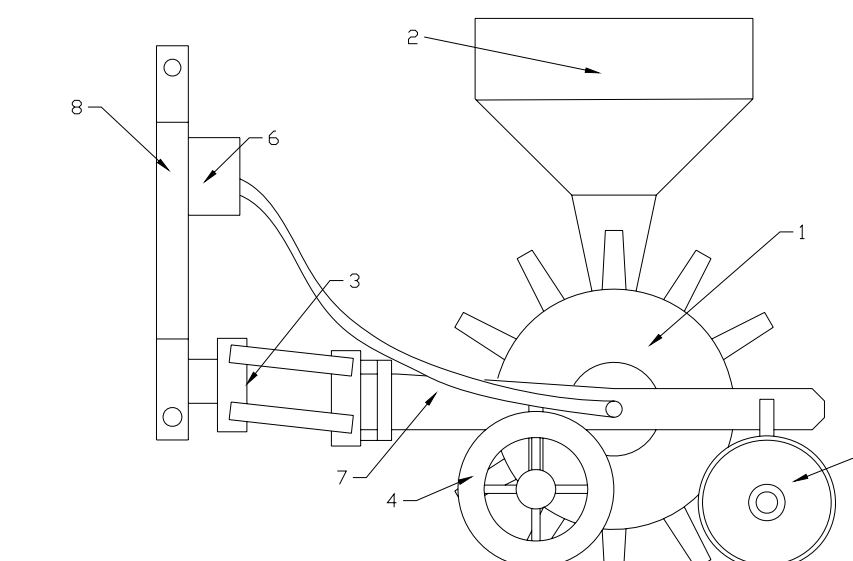
- **Fechar covas**

Para garantir o recobrimento das sementes já depositadas no solo optou-se por utilizar um sistema de recobrimento constituído, basicamente, de duas rodas em “V”. A estrutura desse mecanismo é articulada no chassi e uma mola com tensão ajustável pressiona as rodas posicionadas em “V” no solo. Desta forma, o solo ao lado das covas é pressionado para recobrir as sementes e garantir bom contato da semente com o solo.

#### 4.1.3. Projeto do corpo da semeadora

Após a definição do conceito dos principais sistemas da máquina pôde-se elaborar um layout desses sistemas e definir as principais dimensões e formas das partes e conjuntos da semeadora puncionadora.

Na Figura 14 pode ser observado o layout da com as partes constituintes do protótipo.



- 1 – Roda puncionadora com dosador de sementes embutido;
- 2 – Reservatório e duto de sementes;
- 3 – Mecanismo pantográfico;
- 4 – Roda reguladora de profundidade;
- 5 – Roda recobridora/compactadora;
- 6 – Ventilador centrífugo;
- 7 – Chassi;
- 8 – Estrutura porta ferramenta.

Figura 14 – Layout do protótipo com as principais partes constituintes.

- **Reservatório de sementes**

O reservatório de sementes (Figura 15) possui um volume de 0,0071 m<sup>3</sup> tendo capacidade de aproximadamente 5,3 kg de sementes, suficiente para os testes do protótipo no laboratório. É liso internamente para que as sementes não fiquem estacionadas em nenhum ponto. Suas faces internas possuem ângulo superior ao ângulo de repouso do milho.

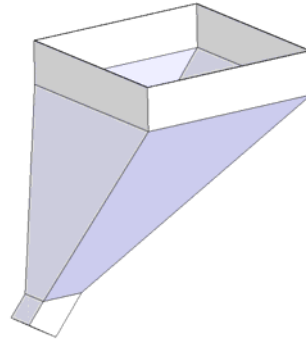


Figura 15 – Forma do reservatório de sementes.

- **Duto de sementes**

Conduz as sementes do reservatório para o sistema dosador de sementes. Sua base e laterais foram projetadas de chapas metálicas e a parte posterior de acrílico para que fosse observado o fluxo de sementes no momento dos ensaios. A seção transversal possui 38mm por 33mm e sua base possui um acoplamento para o sistema distribuidor.

- **Mecanismo puncionador**

O mecanismo abridor de covas é composto por duas rodas puncionadoras em “V”. Numa dessas rodas está fixado o dosador de sementes. Ambas as rodas são constituídas por um eixo, um rolamento, um disco perfurado para fixação das punções, um eixo, uma flange, um rolamento, um disco perfurado para fixação dos punções, um conjunto de punções, arruelas, parafusos e anel elástico para fixação dos rolamentos nos flanges.

### o Disco de fixação das punções

Para variar a distância entre covas na linha de plantio altera-se o número de punções fixadas à roda. Consequentemente é necessário fazer furações variadas nos discos das rodas. Utilizou-se o número máximo de doze punções sendo este número múltiplo de seis e as furações para a fixação de nove punções são iguais ao de doze em três furações.

Sabendo-se que o número de punções máximo seria de doze e que a distância mínima entre sementes seria de 138 mm para uma população de 70.000 plantas por hectare com espaçamento de 90 cm, a roda puncionadora deveria ter aproximadamente 600mm.

Optou-se por fazer furações para fixar 7, 8, 10 e 11, assim o protótipo atenderia a população ideal em vários espaçamentos entre linhas. Tais furações podem ser visualizadas na Figura 16.

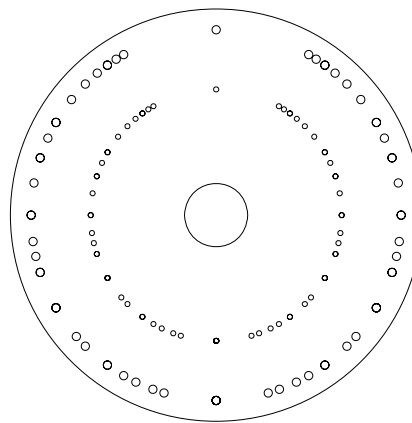


Figura 16 – Forma do disco das rodas puncionadoras.

Na Tabela 1 são apresentados os diferentes número de punções possíveis de serem fixados nos discos, com as respectivas distâncias resultantes entre covas e a quantidade de covas por hectare em três distâncias entre linhas de plantio. Desprezou-se a patinação das rodas puncionadoras.

Tabela 1 – Regulagens de número de punções em cada roda puncionadora e sua correspondente distância entre covas e covas por hectare em três espaçamentos entre linhas.

Número de punções	Distância entre covas (mm)	Número de covas por hectare em três espaçamentos entre linhas		
		450mm	700mm	900mm
6	314	70.735	45.473	35.368
7	269	82.525	53.052	41.262
8	236	94.314	60.630	47.157
9	209	106.103	68.209	53.052
10	189	117.892	75.788	58.946
11	171	129.682	83.367	64.841
12	157	141.471	90.945	70.735

#### o **Punções**

O comprimento das punções deveria ser tal que pudesse ultrapassar a camada de palha (aproximadamente 20 mm) e abrisse covas com no máximo 60 mm de profundidade. Então, a punção deveria possuir comprimento superior a 90mm para que pudesse ser fixado nos discos e dosar na profundidade adequada.

Para que haja o engrenamento entre as rodas, as laterais das punções possuem um ângulo de 10°. As punções da roda dosadora servem para abrir as covas e para fazer o transporte de sementes do dosador até o solo, bem como o engrenamento entre as rodas.

Na Figura 17 pode ser observado o layout da roda puncionadora com suas principais dimensões.

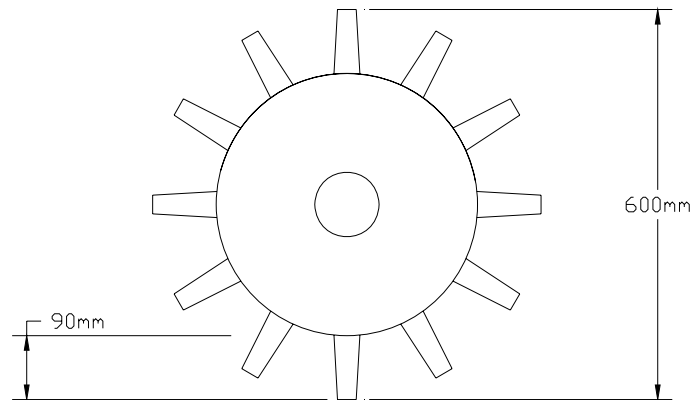


Figura 17 – Layout da roda puncionadora e suas principais dimensões.

#### ○ Eixos

Os eixos das rodas puncionadoras são conectados no centro formando um ângulo de  $13^\circ$ , como pode ser visto na Figura 18. O eixo da roda dosadora é usado para passar o fluxo de ar vindo do dosador de sementes, que é a vácuo, até o ventilador. Por isso, ele possui um furo cego longitudinal com diâmetro de 16 mm, que cruza com um furo transversal com diâmetro de 10 mm. O eixo da roda oposta também possui um furo longitudinal, porém passante, para atravessar um parafuso M12 que faz a ligação entre os dois eixos.

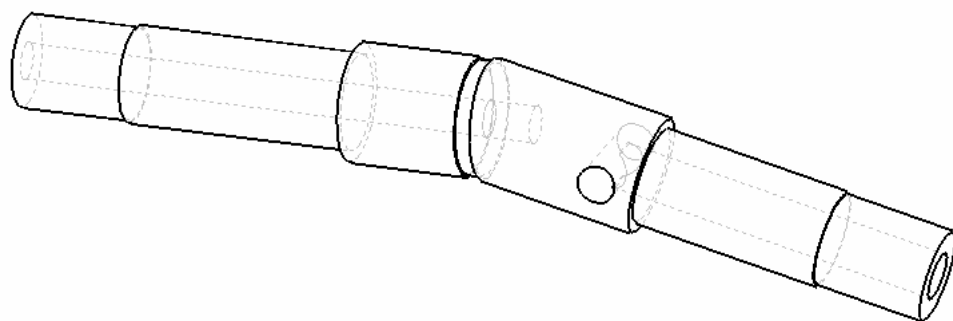


Figura 18 – Eixos das rodas puncionadoras.

### ○ Rolamentos

As rodas puncionadoras são montadas em mancais de rolamento para promover elevada precisão dimensional associada à baixa resistência ao giro. Cada roda puncionadora possui um rolamento, sendo seu anel interno montado no eixo e o anel externo fixado ao flange. Selecionou-se rolamentos de duas fileiras de esferas com contato angular do tipo automotivo. Esses rolamentos funcionam como dois rolamentos de contato angular de uma carreira de esferas montados costa a costa. Portanto, um único rolamento resiste às cargas de momento.

### ○ Flange

Os flanges são usados para fixar os rolamentos e os discos das punções. O flange da roda dosadora também possui uma câmara de vácuo e um canal para fixação dos discos de sementes. Na Figura 19 podem ser visualizados os dois flanges utilizados para fixação das rodas ao eixo.

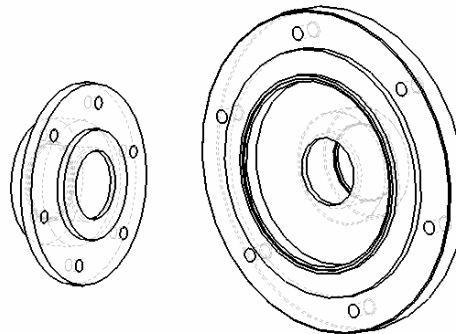


Figura 19 – Forma dos flanges das rodas puncionadoras.

### • Dosador de sementes

Como em vários dosadores pneumáticos de semeadoras convencionais, o sistema dosador deveria ser constituído por três partes: sistema de captura, mecanismo de individualização das sementes e mecanismo de ejeção.

○ **Sistema de captura das sementes**

O sistema de captura é formado por um disco perfurado, uma câmara de vácuo e um duto que faz a ligação do ventilador com a câmara de vácuo. As sementes são sugadas e presas nos furos do disco perfurado para serem dosadas.

O diâmetro dos furos do disco de captura de sementes é de 5 mm, sendo iguais aos utilizados comercialmente para dosar sementes de milho.

○ **Sistema individualizador de sementes**

Projetou-se um individualizador de sementes serrilhado para ser instalado próximo a circunferência em que se situam os furos do disco de sementes (Figura 20). O primeiro dente do serrilhado desse dispositivo toca levemente as sementes, o segundo toca as sementes com mais força e assim sucessivamente até o último toque, que é o mais intenso. A função desse dispositivo é eliminar as seleções de sementes múltiplas deixando somente uma presa ao disco.

São vários os individualizadores utilizados comercialmente. Todos possuem um sistema de serrilhado ou hastes para dar leves toques nas sementes individualizando a captura. Projetou-se um semelhante aos utilizados comercialmente, conforme o croqui da Figura 20.

○ **Sistema de ejeção das sementes.**

As sementes capturadas e individualizadas devem ser ejetadas para dentro das punções que conduzirão as sementes até o solo. Idealizou-se um dispositivo que impulsionaria a semente para dentro da punção como pode ser visto na figura (Figura 20).

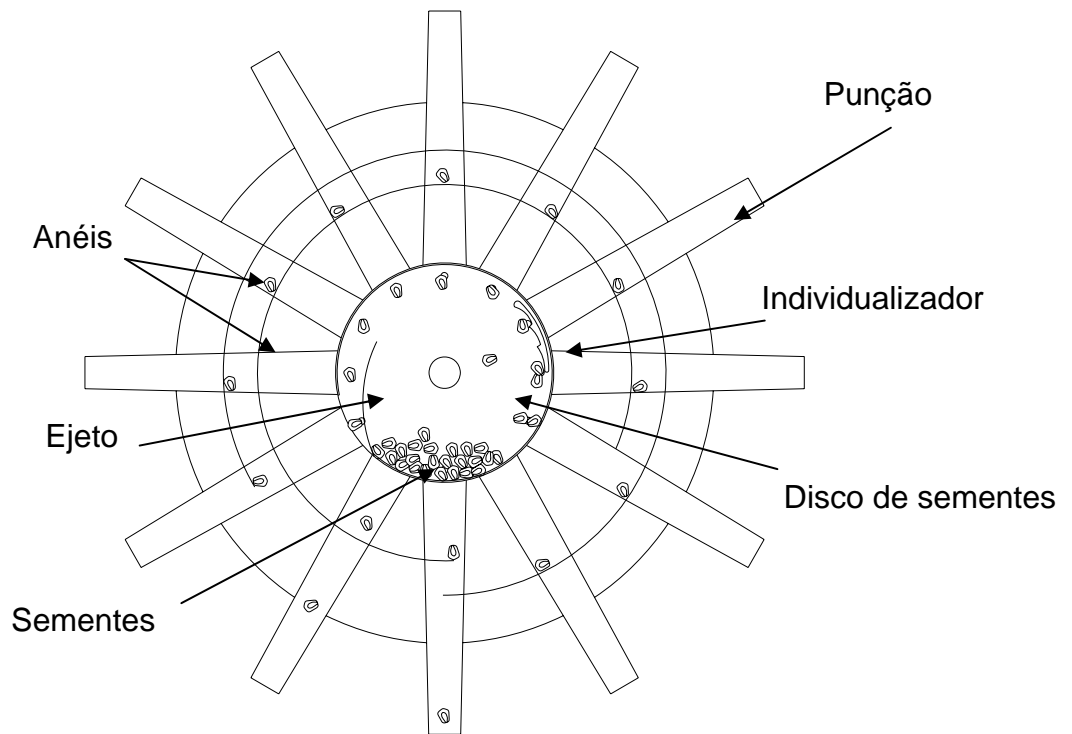


Figura 20 – Layout do sistema dosador e distribuidor de sementes.

#### o Sistema distribuidor de sementes

O sistema de distribuição de sementes é constituído de três anéis de aço concêntrico fixados numa tampa de acrílico transparente, como pode ser visualizado na Figura 20. O primeiro anel fica instalado próximo ao diâmetro do disco de sementes e possui uma abertura próximo ao ejetor para permitir a passagem das sementes do dosador para as punções. O segundo e o terceiro anel ficam próximos da porção média da punções. Esses anéis se encaixam em rasgos nas laterais das punções formando as câmaras de espera utilizadas pelas sementes. O segundo anel possui abertura de  $60^\circ$  em sua porção inferior para permitir que as sementes provenientes do dosador alcancem as câmaras de espera. Esse anel evita o retorno das sementes que estão dentro das câmaras para o dosador. O terceiro anel possui uma abertura de  $90^\circ$  em sua porção inferior para permitir a passagem das sementes provenientes da câmara de espera para as pontas das punções.

#### 4.1.4. Projeto detalhado da semeadora

Após a definição das formas e principais dimensões da máquina, puderam-se dimensionar completamente todas as partes e elaborar os desenhos bi-dimensionais das partes para fabricá-las. Nesta etapa também foi elaborada uma lista de materiais para a construção do protótipo.

A seguir são apresentados os resultados finais da modelagem sólida do protótipo projetado e as principais partes construídas. Os desenhos detalhados de todo o projeto, com dimensões de cada uma das partes, são mostrados no Apêndice A.

Na Figura 21 é apresentado o projeto completo do protótipo da semeadora puncionadora.

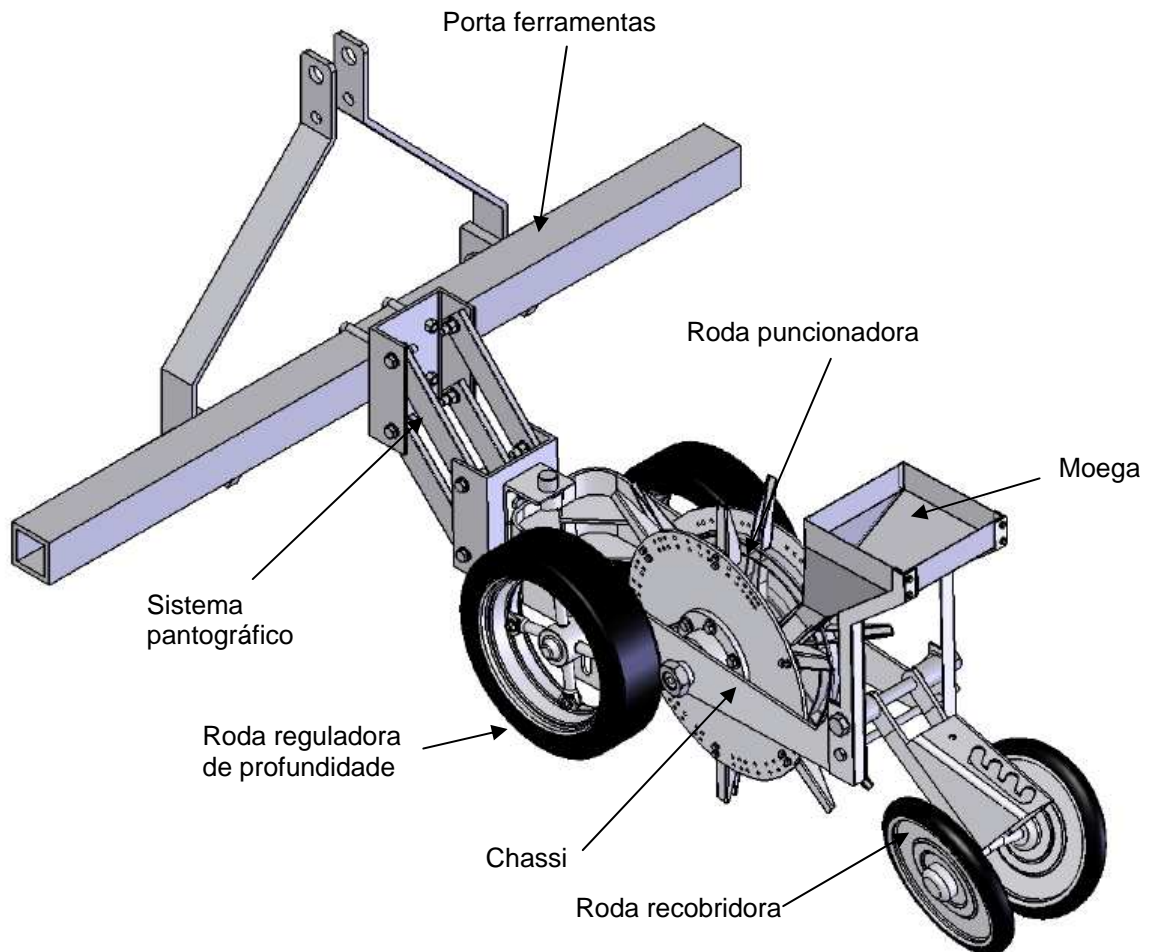


Figura 21 – Perspectiva isométrica do protótipo da semeadora puncionadora.

Na Figura 22 é apresentado uma vista isométrica do mecanismo puncionador montado, bem como as vistas explodidas das rodas puncionadoras.

Na Figura 23 apresenta-se a forma das punções da máquina. A Figura 23a mostra a punção utilizada para o transporte das sementes do dosador para a cova, montada na roda distribuidora. A Figura 23b apresenta a punção que envolve lateralmente a anterior. A Figura 23c mostra como as punções ficam no momento da convergência das rodas. Neste momento estes elementos iniciam a interação com o solo. Durante essa interação as punções têm a função de fazer o engrenamento das rodas puncionadoras para sincronizar seus movimentos.

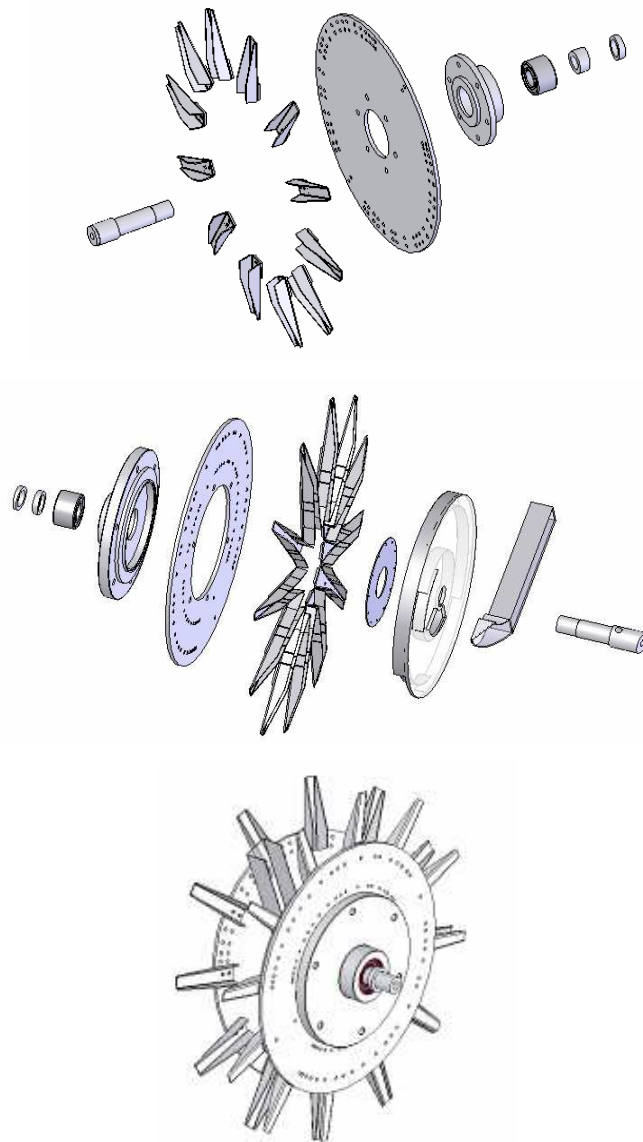


Figura 22 – Vista isométrica e explodida do conjunto abridor de covas e do sistema dosador.

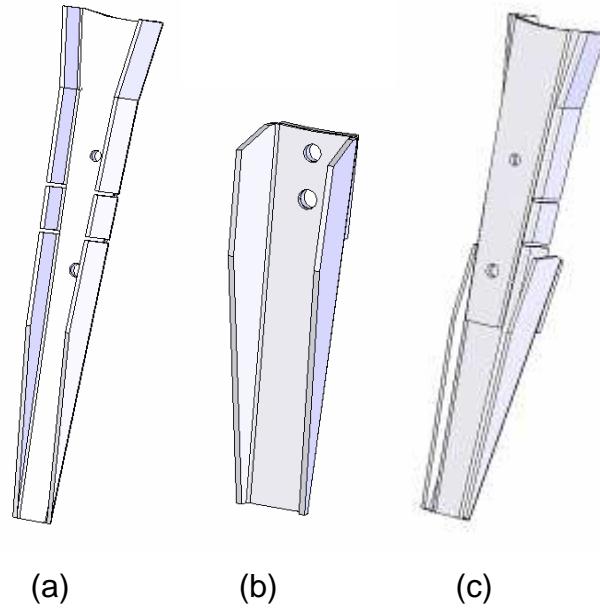


Figura 23 – Punções do mecanismo abridor de covas: (a) punção distribuidora, (b) punção externa e (c) esquema do engrenamento entre as punções.

Na Figura 24 é apresentado o modelo sólido do sistema dosador e distribuidor de sementes. O trajeto das sementes começa no duto, passa pelo disco dosador onde é individualizada e então ejetada nas punções que conduzem as mesmas até o solo.

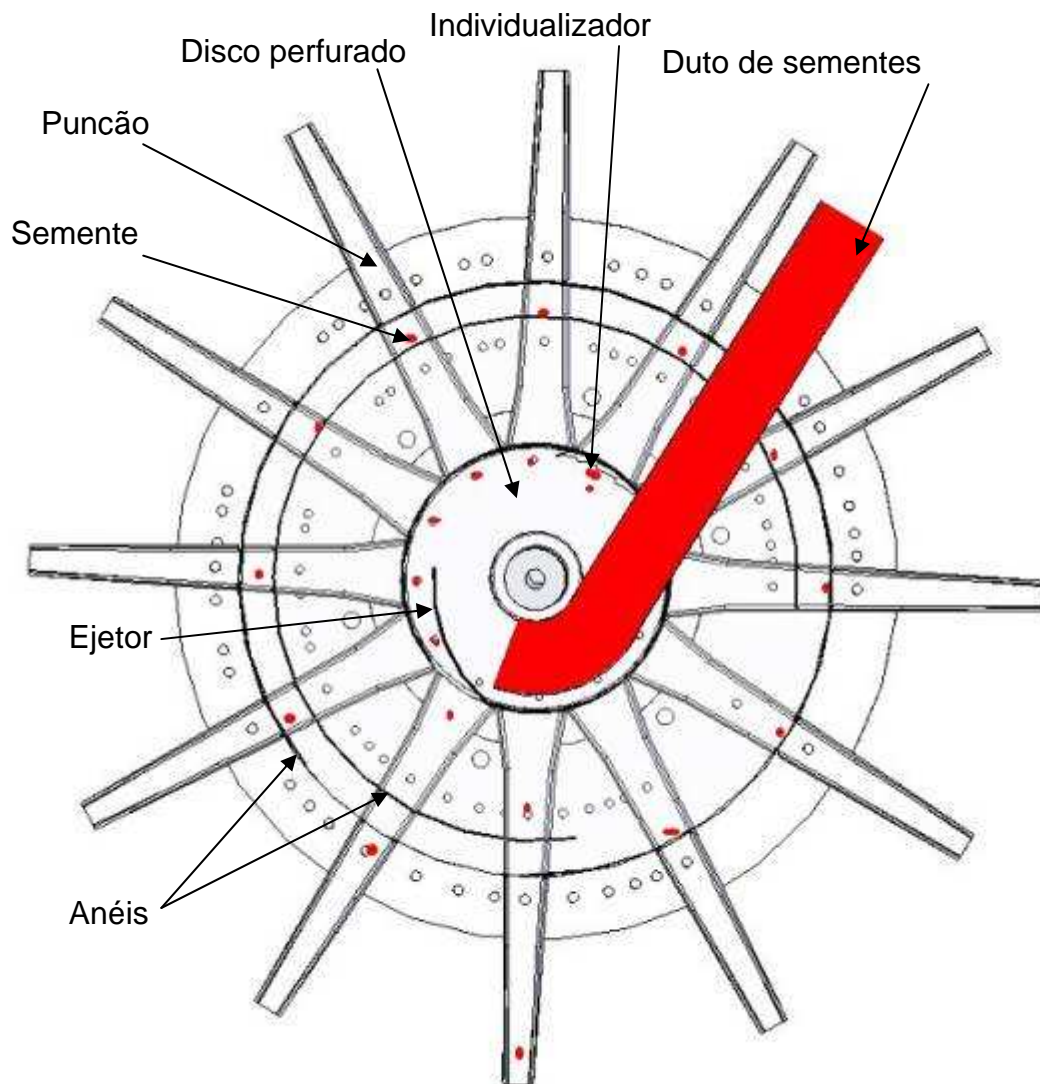


Figura 24 – Modelo sólido do sistema dosador e distribuidor de sementes e esquema do percurso das sementes no sistema.

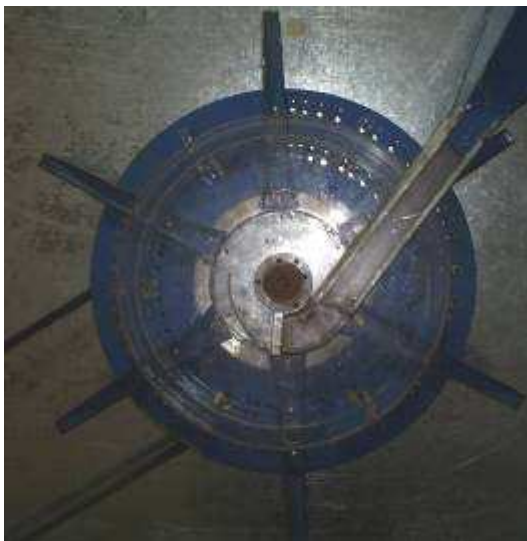
#### 4.1.5 Construção da semeadora

Na Figura 25 se pode ser visualizado o protótipo em uma área de SPD sendo tracionado por um trator.



Figura 25 – Protótipo da semeadora puncionadora.

Nas Figuras 26 e 27 estão apresentadas as principais partes do mecanismo abridor de covas e do sistema dosador e distribuidor de sementes.



(a)



(b)

Figura 26 – Detalhe dos dois elementos da roda puncionadora: (a) lado distribuidor e (b) lado externo.



(a)



(b)

Figura 27 – Detalhe dos discos perfurados para captura de sementes (a) e das punções (b).

As partes construídas do sistema pantográfico bem como o detalhe da conexão do chassi podem ser visualizadas na Figura 28.



(a)



(b)

Figura 28 – Detalhes do sistema pantográfico (a) e da junção móvel do pantógrafo e do chassi (b).

Na Figura 29a pode ser visualizado o protótipo construído com o chassi fechado e na Figura 29b com o chassi aberto para fazer a inspeção, limpeza e manutenção.



Figura 29. Protótipo com chassis aberto (a) e fechado (b).

#### 4.2. Avaliação do sistema dosador de sementes

Na Tabela 2 estão apresentados os dados das pressões estáticas no dosador de sementes medidas no laboratório. Foram feitas as análises de variâncias para as pressões. Verificou-se a interação não foi significativa ( $p < 0,05$ ) e que apenas o fator número de punções apresentou diferença significativa. Observa-se que houve uma pequena redução da pressão estática com o aumento do número de punções, possivelmente ocasionado pelo aumento da vazão no duto devido ao disco perfurado possuir maior número de furos.

Tabela 2 – Pressões estáticas médias (cm.c.a.) do sistema de dosagem.

Número de Punções	Velocidade (km h <sup>-1</sup> )				Média
	4	6	8	10	
6	59,0	59,0	59,0	59,0	59,0 a
9	58,0	57,5	57,5	57,0	57,5 b
12	57,0	56,8	56,3	56,8	56,7 c
Média	58,0	57,8	57,6	57,6	57,7

Nota: Médias seguidas de mesmas letras maiúscula na linha e de mesmas letras minúsculas na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Foram feitas as análises de variâncias para as porcentagens de dosagem normal, de falhas devido a dosagem dupla e a falta de dosagem, respectivamente.

Verificou-se que a interação entre o nº de punções versus velocidade apresentou diferença significativa ( $p < 0,05$ ) para as porcentagens de dosagem normal e falta de dosagem. Por outro lado, esta interação não foi significativa para dosagem dupla.

Na Tabela 6 são apresentadas as porcentagens médias da dosagem normal de sementes bem como o resultado da aplicação do teste de Tukey. Ao avaliar o efeito da velocidade em cada um dos números de punções podemos verificar que para a regulagem de seis punções, o efeito da velocidade não foi significativo. Para a regulagem de 9 punções o aumento da velocidade para 10 km/h provocou uma queda significativa no desempenho. Para 12 punções houve uma diminuição significativa de 95,08 para 75,67% à medida que a velocidade foi aumentada.

Tabela 3 – Médias de porcentagem de dosagens normais do mecanismo dosador de acordo com o número de punções e a velocidade.

Número de Punções	Velocidade (km h <sup>-1</sup> )				Média
	4	6	8	10	
6	92,75 Aa	94,42 Aa	94,25 Aa	91,92 Aa	93,33
9	94,75 Aa	95,00 Aa	92,75 Aa	86,42 Bb	92,23
12	95,08 Aa	90,42 Bb	83,17 Cb	75,67 Dc	86,08
Média	94,19	93,28	90,06	84,67	90,55

Nota: Médias seguidas de mesmas letras maiúscula na linha e de mesmas letras minúsculas na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Por outro lado, analisando o efeito do número de punções em cada velocidade, observou-se que para a velocidade de 4 km h<sup>-1</sup> não houve diferença significativa na falta de dosagem. O número de 12 punções apresentou menor média de falta de dosagem nas velocidades de 6 e 8 km/h. Já trabalhando a 10 km h<sup>-1</sup> ocorreu diferença significativa entre todas as regulagens de punções. O resultado mais expressivo foi trabalhando a 4 km h<sup>-1</sup> (média de 2,58%) ou com 6 punções (média de 3,14%).

Tabela 4 – Médias de porcentagem de falha de dosagem devido a falta de dosagem de sementes do mecanismo dosador de acordo com o número de punções e a velocidade.

Número de Punções	Velocidade (km h <sup>-1</sup> )				Média
	4	6	8	10	
6	2,01 Aa	1,59 Aa	2,68 Aa	6,26 Aa	3,14
9	2,19 Aa	2,76 Aa	5,99 Aa	13,10Bb	6,01
12	3,53 Aa	9,11Bb	17,06 Cb	25,77Dc	13,87
Média	2,58	4,49	8,58	15,04	7,67

Nota: Médias seguidas de mesmas letras maiúscula na linha e de mesmas letras minúsculas na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As médias das falhas devido a falta de dosagem são apresentados na Tabela 7. Analisando o efeito da velocidade em cada um dos números de punções, verifica-se que para 6 punções não houve efeito significativo da velocidade. Para 9 punções a velocidade de 10 km/h apresentou maior média da falta de dosagem. Para 12 punções verificou-se um aumento significativo do número de faltas à medida que a velocidade foi aumentada.

Por outro lado, analisando o efeito do número de punções em cada velocidade, observou-se que para a velocidade de 4 km h<sup>-1</sup> não houve diferença significativa na falta de dosagem. O número de 12 punções apresentou maior média de falta de dosagem nas velocidades de 6 e 8 km/h. Já trabalhando a 10 km h<sup>-1</sup> ocorreu diferença significativa entre todas as regulagens de punções.

A diminuição da pressão com o aumento do número de punções possivelmente ocasionou o aumento do número de falhas devido a falta de dosagem, conseqüentemente a diminuição na dosagem de normais do mecanismo dosador.

Tabela 5 – Médias de porcentagem de falha de dosagem devido as dosagens duplas do mecanismo dosador de acordo com o número de punções e a velocidade.

Número de Punções	Velocidade (km h <sup>-1</sup> )				Média
	4	6	8	10	
6	5,25	4,00	3,08	1,92	3,56a
9	3,08	2,25	1,33	0,92	1,90b
12	1,42	0,67	0,58	0,33	0,75c
Média	3,25A	2,30AB	1,67BC	1,06C	2,07

Nota: Médias seguidas de mesmas letras maiúscula na linha e de mesmas letras minúsculas na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A média de falha devido à dosagem de sementes duplas diminuiu significativamente com o aumento da velocidade e com o aumento do número de punções. Esse comportamento é oposto do comportamento das falhas devido à falta da dosagem de semente.

A redução do número médio de dosagem dupla com o aumento da velocidade pode ser devido a pancadas com maior força pelo serrilhado do individualizador. Por outro lado, a redução da dosagem dupla pode ter sido ocasionada pela diminuição da pressão estática.

Uma regulagem fina do posicionamento do individualizador para cada regulagem do número de punções como também da velocidade, poderá melhorar o desempenho da máquina.

Binnin (2000) avaliou três protótipos de semeadoras puncionadoras para semeadura direta de milho, as quais seguiam o mesmo princípio desenvolvido por Shaw & Kromer (1987) com mecanismos de dosagem diferenciados. Nos ensaios em laboratório, os melhores resultados encontrados em um dos mecanismos foi de 96,1, 96,4 e 95,4% de dosagem normal de sementes, respectivamente nas velocidades de 1,5, 2,0 e 2,5 m.s<sup>-1</sup>. Concluiu que a diferença no mecanismo dosador foi decisiva no desempenho das máquinas.

A utilização de mecanismos dosadores melhor elaborados e bem ajustados as condições de trabalho de dosagem podem melhorar significativamente o desempenho das semeadoras puncionadoras.

Todas as sementes foram dosadas abaixo da linha do solo provando que a utilização de distribuidores que posicionam as sementes em duas etapas são eficientes para altas velocidades de trabalho.

## 5. CONCLUSÃO

O sistema de abertura de covas por meio de rodas posicionadas em “V” demonstrou ser uma solução viável para o sistema de semeadura pontual.

A utilização de dosadores acoplados à roda puncionadoras demonstrou-se ser uma opção viável, porém estudos para a diminuição das falhas na dosagem devem ser realizados.

Com o aumento da velocidade de deslocamento provocou o aumento do número de falhas devido à falta de dosagem para 9 e 12 punções, bem como o aumento do número de punções para velocidade acima de  $6 \text{ km h}^{-1}$ . O resultado mais expressivo foi utilizando 12 punções à velocidade de  $10 \text{ km h}^{-1}$  de 25,77%.

As falhas devido à dosagem de duplas de sementes tiveram comportamento oposto as falhas devido às faltas, porém menos expressivo chegando ao valor de 1,92% utilizando 6 punções a velocidade de  $10 \text{ km h}^{-1}$ .

O melhor desempenho em relação a dosagem normal de sementes foi utilizando 6 punções para velocidades até  $10 \text{ km h}^{-1}$  ou para  $4 \text{ km h}^{-1}$  utilizando 6, 9 ou 12 punções chegando ao valor de 95,08 e um valor médio geral de 90,55%.

O emprego de um sistema de distribuição das sementes em dois estágios é uma solução eficiente para trabalhos com velocidades elevadas com semeadoras puncionadoras utilizando dosador de sementes acoplado diretamente a roda.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEKOYA, L. O.; BUCHELE W.F. A precision punch planter for use in tilled and untilled soils. **Journal of Agricultural Engineering Research**. v. 37, p. 171-178, 1987.

ALMEIDA, R. A.; BARCELLOS, L. C.; XIMENES, P. A. Danos mecânicos ocasionados por sistemas dosadores de sementes. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 33, p. 17-22, 2003.

ALQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. **Processos biológicos no sistema solo-planta: Ferramentas para uma agricultura sustentável**. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas, 2005, Cap. 1, p. 17-28.

ARAÚJO. A. G.; CASÃO JR.; R.; RALISCH. R.; SIQUEIRA. R. Mobilização de solo e emergência de plantas na semeadura direta de soja (*Glycine max L.*) e milho (*Zea mays L.*) em solos argilosos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.19, n. 2, p. 226-37, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de norma 04.015.06-004. Semeadora de precisão – ensaio de laboratório – método de ensaio. Rio de Janeiro. 1994. 7p.

BALASTREIRE, L. A.; VASARHELYI, A.; MARQUES, R. T. Estudo comparativo do desempenho de dosadores de sementes de disco horizontal e inclinado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1990, Piracicaba. **Trabalhos apresentados...** Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1990, p. 969-79.

BROWN, F. R.; MILES, S. J; BUTLER, J. Design and development of a high-speed dibber drill for improved crop establishment. **Journal of Agriculture Engineering Research**, v. 58, p. 261-270, 1994.

BONNIN; J. J.; **Avaliação de protótipos de semeadoras de covas para semeadura direta.** 2000, 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

BUFTON. L. P.; BROWN. F. R; GRUNDON. P. M. Seed drill design and crop establishment. Work during 1983 and 1984 with an experimental dibber drill. **Division note DN 1413.** Institute of Engineering Research. Silsoe. 1986.

DOURADO-NETO, D.; FANCELLI, A. L.; LOPES, P. P.; Milho: população e distribuição de plantas. In: Fancelli. A. L.; DOURADO-NETO. D. (Ed). **Milho: tecnologia e produtividade**, Piracicaba: ESALQ, Dept. Produção Vegetal, 2001, p. 120-125.

FEBRAPDP. Federação brasileira de plantio direto na palha. Disponível em: <[www.febrapdp.org.br/area\\_PD\\_Brasil\\_2002.htm](http://www.febrapdp.org.br/area_PD_Brasil_2002.htm)>. Acesso em: 5 set. 2007.

FURLANI, C. E. A.; LOPES, A.; ABRAHÃO, F. Z.; LEITE. M. A. S. Características da cultura do milho (*Zea mays L.*) em função do tipo de preparo do solo e da velocidade de semeadura. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.19, n. 2, p.177- 186, dez. 1999.

GASSEN, D. N.; GASSEN, F.R. **Plantio direto a caminho do futuro.** Passo Fundo, Aldeia Sul, 1996, 207p.

HEINEMANN JUNIOR, W. H.; CARY, J. W.; DILWORTH, A. E. Experimental machine for autodibble planting. **Transactions of the ASAE**, v.16(3), p. 656-659, 1973.

JAFARI, J. V.; FORNSTROM, K. J. A precision punch-planter for sugar beets. **Transactions of the ASAE**, v. 15(3), p. 569-571, 1972.

JOHNSON, G. A.; HOVERSTAD, T. R.; GREENWALD, R. E. Integrated weed management using narrow com row spacing herbicides and cultivation. **Agronomy Journal**, v. 90, n. 1, p. 40-46, 1998.

KLEIN, V. A.; SIOTA, T. A.; ANESI, A.L.; BARBOSA, R. Efeito da velocidade na semeadura direta da soja. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n.1, p.75-82, jan. 2002.

KURACHI, S. A. H.; COSTA, J. A. S.; BERNARDI, J. A.; COELHO, J. L. O.; SILVEIRA, G. M. Avaliação tecnológica de semeadoras e/ou adubadoras. tratamento de dados de ensaios e regularidade de distribuição longitudinal de sementes. **Bragantia**, v.48, n.2, 1989.

MIALHE, L. G. **Máquinas Agrícolas: Ensaio & Certificação.** Piracicaba, SP, Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1996, 722 p.

MOLIN, J. P. A punch planter with adjustable seed spacing. **ASAE**, St. Joseph, Michigan, Paper n.021174, 2002.

OTTOMAN, M. J.; WELCH, L. F. Planting patterns and radiation interception. plant nutrient concentration, and yield in corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 81, n. 2, p.167-174, 1989.

PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering Design: a Systematic Approach**. Ed. Springer Verlag, 1996.

PALHARES, M. **Distribuição e população de plantas e produtividade de grãos de milho**. 2003, 107 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

RESENDE, R. C. **Design of a novel punch planter capable of producing equidistant seed spacing of irregular shaped seeds**. 2002, 229 f. Tese (Doutorado) - Cranfield University, Silsoe, Inglaterra.

RIZZARDI, M.A.; BOLLER, W.; DALLOGLIO, R. Distribuição de plantas de milho, na linha de semeadura, e seus efeitos nos componentes de produção. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, v. 29, n. 8, p. 1231-1236, 1994.

SANGOI, L. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. **Ciência Rural**, Santa Maria, 2000.

SHAW, L. N.; KROMER, K. H. Revolving spade planter soil opener. **ASAE**, St. Joseph, Michigan, Paper n. 87-1019, 1987.

SIDIRAS, N.; ROTH, C. H.; FARIAS, G. S. Efeito da intensidade de chuva na desagregação por impacto de gotas em três sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, n. 2. p. 251-254, 1984.

SILVA, J. G.; SILVEIRA, P. M. Avaliação de uma semeadora na cultura do milho. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e feijão. 2002. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento 2**, EMBRAPA – GO, 19 p., 2002.

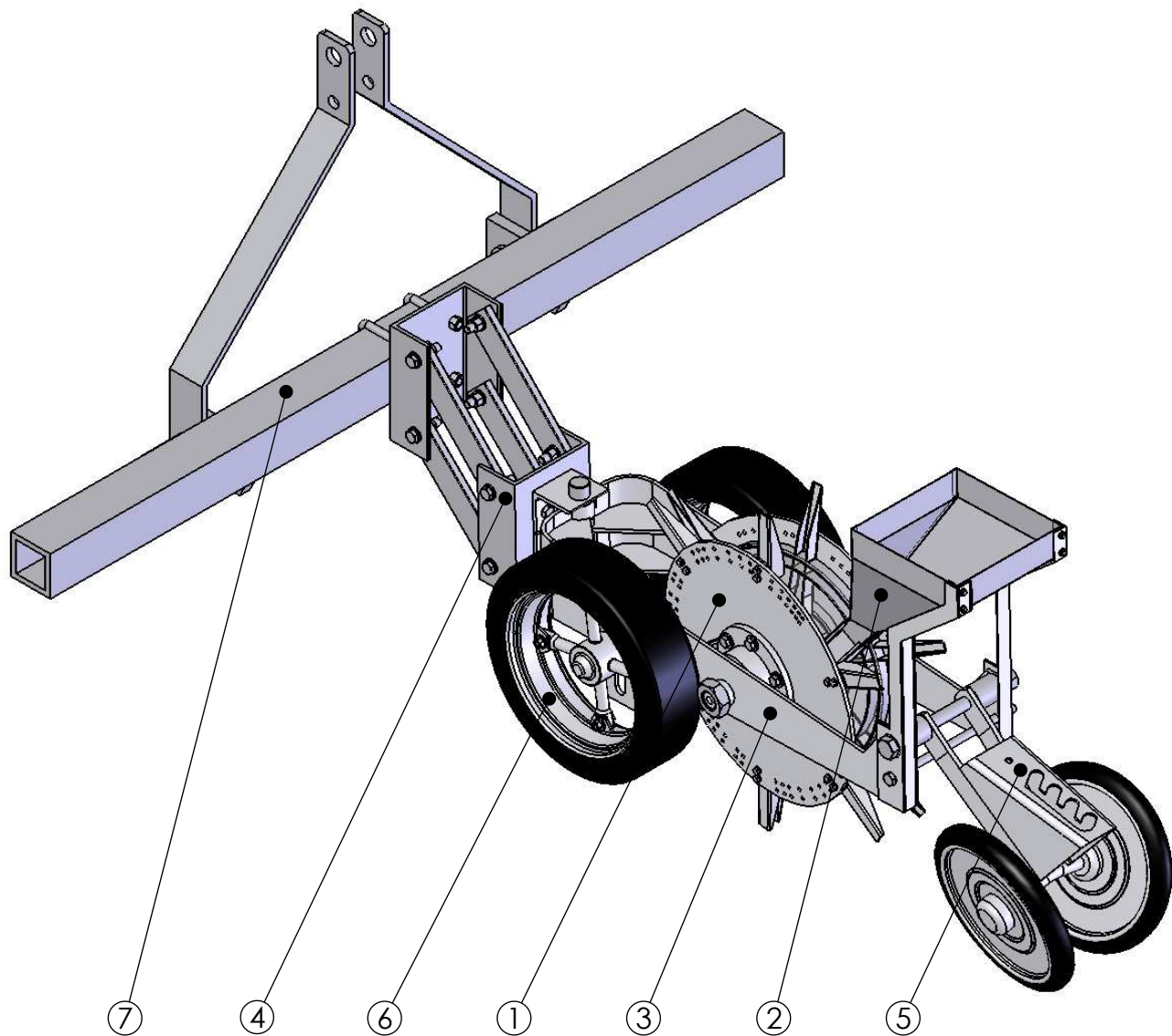
TEASDALE, J. R. Influence of narrow row/high population corn on weed control and light transmittance. **Weed Technology**, Lawrence, v. 9, n. 1, p. 113-118, 1995.

WILKINS, D. E.; ADRIAN, P. A.; CONLEY, W. J. Punch planting of vegetable seeds - a progress report. **Transactions of the ASAE**, v.22(4). p. 746-749, 1979.

YAMAMOTO, N. T. **Desenvolvimento de um mecanismo para adubação pontual em cobertura em sistema de plantio direto**. 2005, 57 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

## **APÊNDICE A**

Desenhos detalhados para a construção do protótipo bem como as listas de materiais e peças a serem utilizadas.



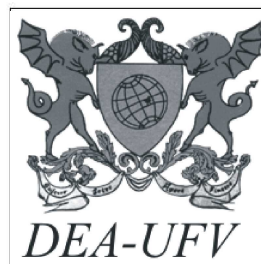
Item	Cod.	Descrição	Qdade
7	-	Porta ferramentas	1
6	-	Roda reguladora de profundidade	2
5	-	Roda recobridora	1
4	05.00	Mecanismo pantográfico	1
3	04.00	Chassi	1
2	03.00	Reservatório	1
1	01.00	Roda puncionadora	1

conjunto:

-

denominação:

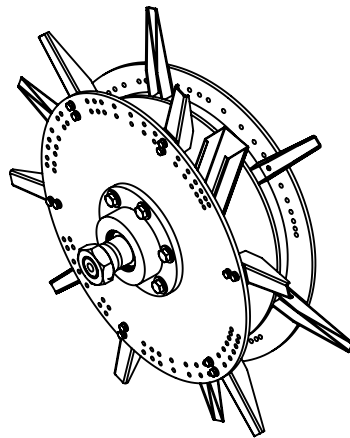
Semeadora puncionadora



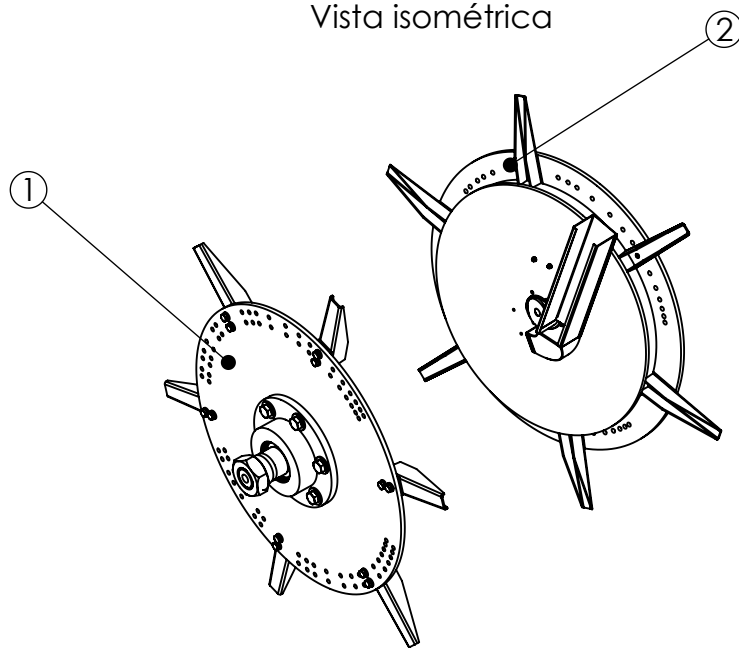
escala: 1:10

folha: A4

código: 00.00



Vista isométrica



Vista expodida

Item	Cod.	Descrição	Qdade
2	02.01	Roda puncionadora esquerda	1
1	01.01	Roda puncionadora direita	1

conjunto:  
Roda puncionadora

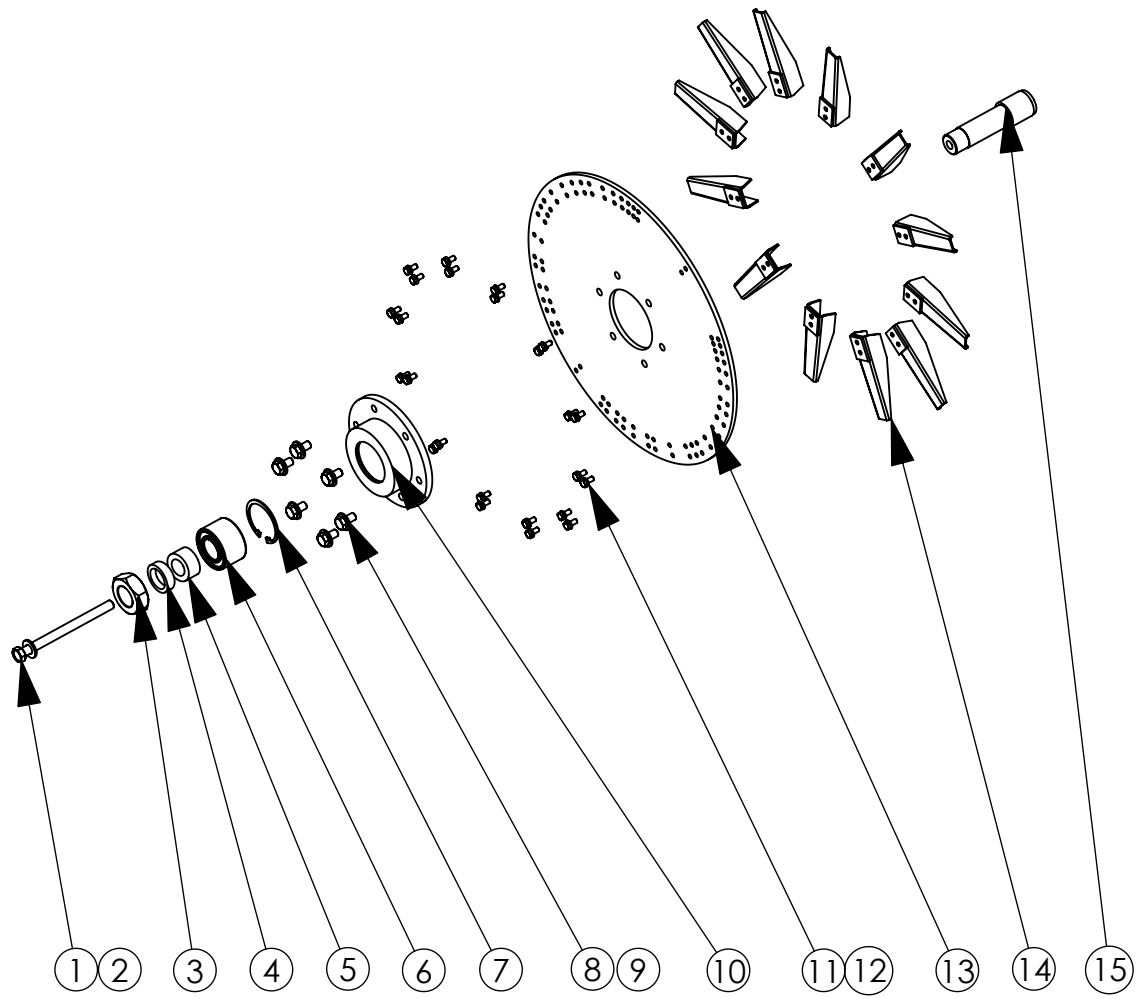
denominação:  
Conjunto



escala: 1:10

folha: A4

código: 01.00



conjunto:  
Roda puncionadora

denominação:  
Roda puncionadora direita



escala: 1:10

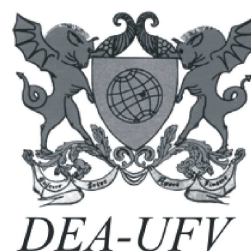
folha: A4

código: 0101-a

Item	Cod.	Descrição	Qdade
15	01.09	Eixo direito	1
14	01.08	Punção fêmea - montagem	12
13	01.07	Disco de fixação direita	1
12	-	Arruela de pressão 6	12
11	-	Parafuso cab. sextavada M6 - 12	12
10	01.06	Flange direita	1
9	-	Arrula aço lisa 10	6
8	-	Parafuso cab. sextavada M10x1,25-18	6
7	-	Anel elastico interno 60mm	1
6	01.05	Rolamento automotivo	1
5	01.04	Arruela separadora interna direita	1
4	01.03	Arruela separadora	1
3	01.02	Porca 1 1/8" modificada	1
2	-	Arruela aço lisa 12	1
1	-	Parafuso cab. sextavada M12x1,25 - 155	1

conjunto:  
Roda puncionadora

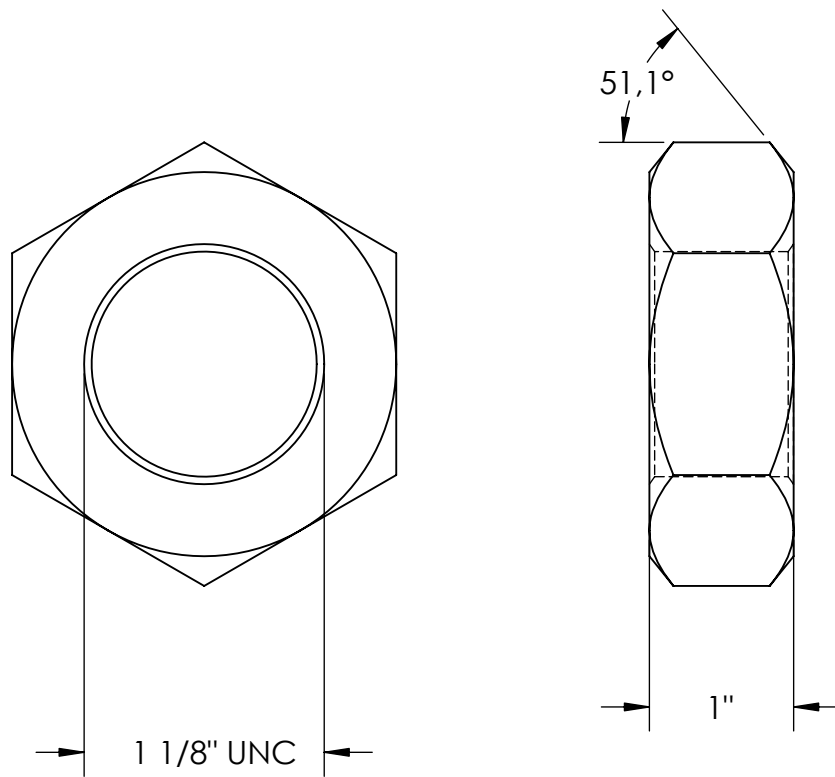
denominação:  
Roda puncionadora direita




escala: -

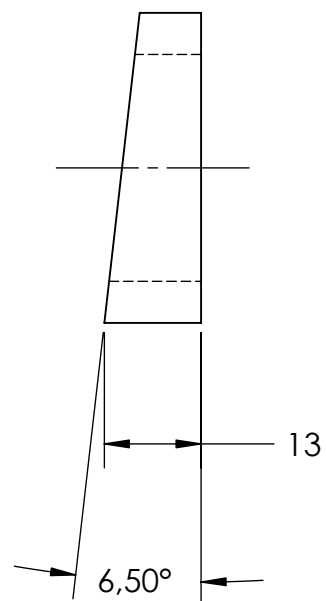
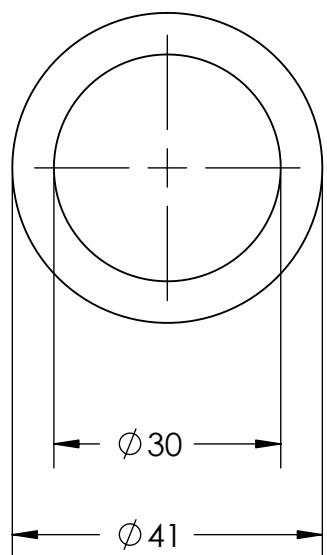
folha: A4


código: 01.01b

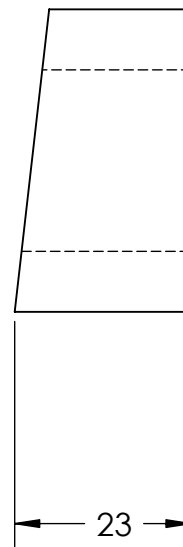
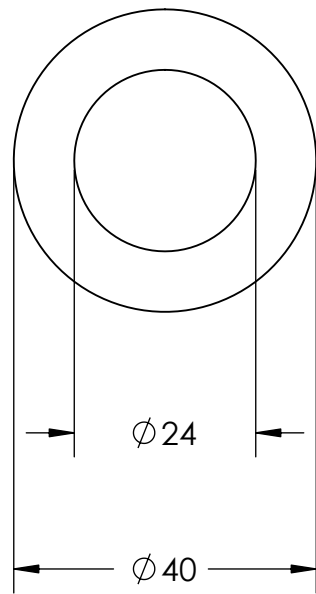



Nota:  
 Diminuição da espessura da porca para 1"

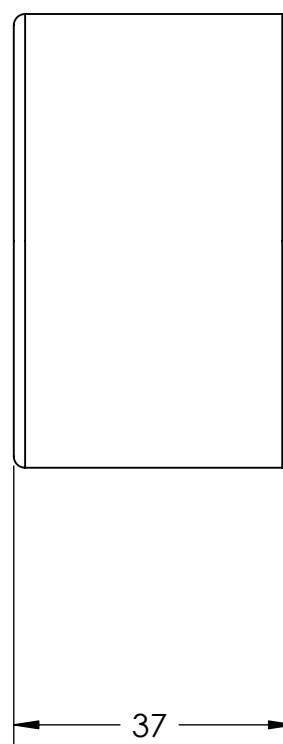
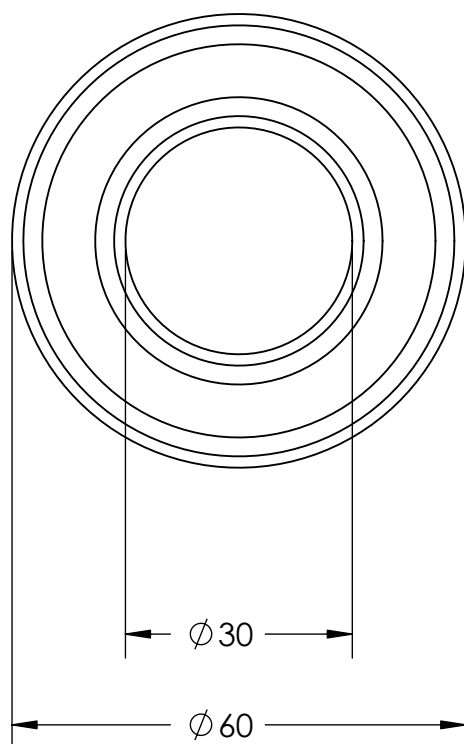
Material		Dimensão	
Porca sextavada 1 1/8" UNC		-	
conjunto: Roda puncionadora direita			
denominação: Porca 1 1/8" modificada			
escala: 1:1	folha: A4	código: 01.02	




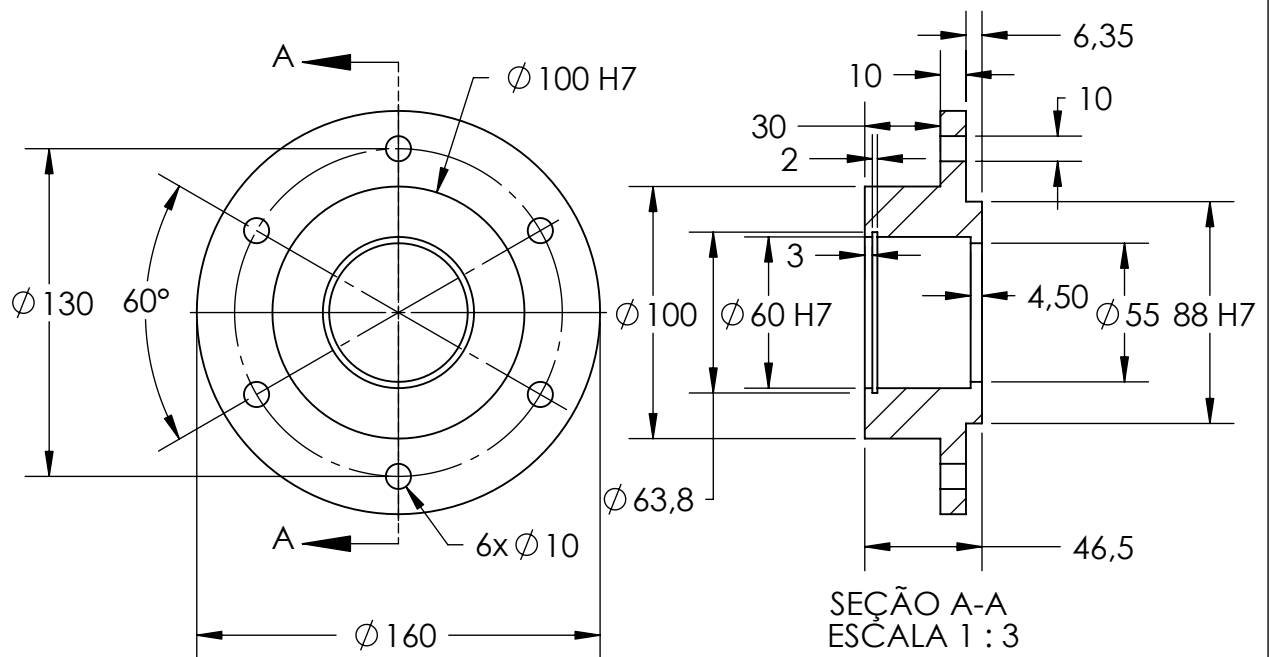
Material		Dimensão	
Barra aço 1010/1020		1 3/4" x 13	
conjunto: Roda puncionadora direita			
denominação: Arruela separadora			
escala: 1:1	folha: A4	código: 01.03	




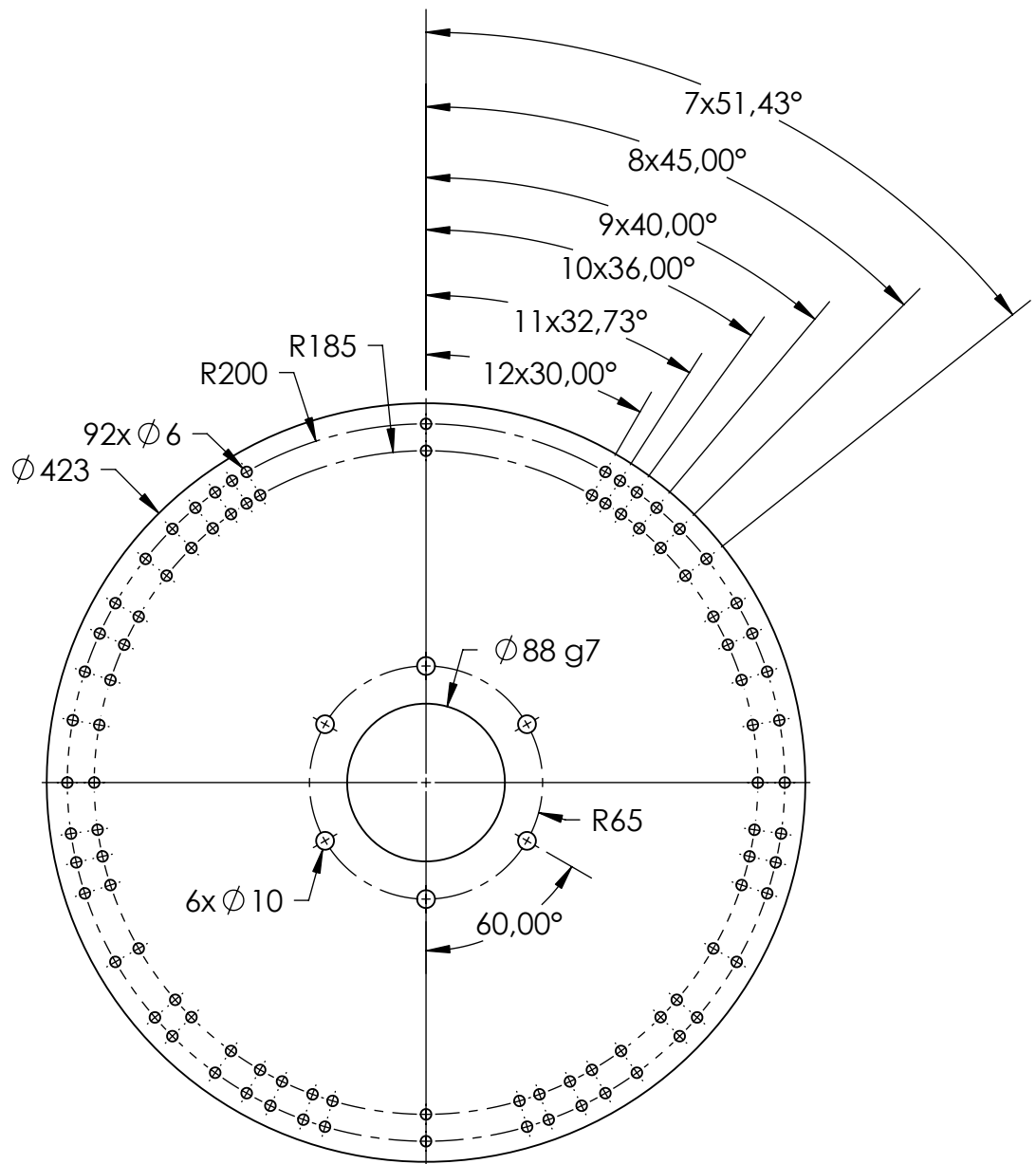
Material		Dimensão	
Barra aço 1010/1020		1 3/4" x 23	
conjunto: Roda puncionadora direita			
denominação: Arruela separadora direita			
escala: 1:1	folha: A4	código: 01.04	




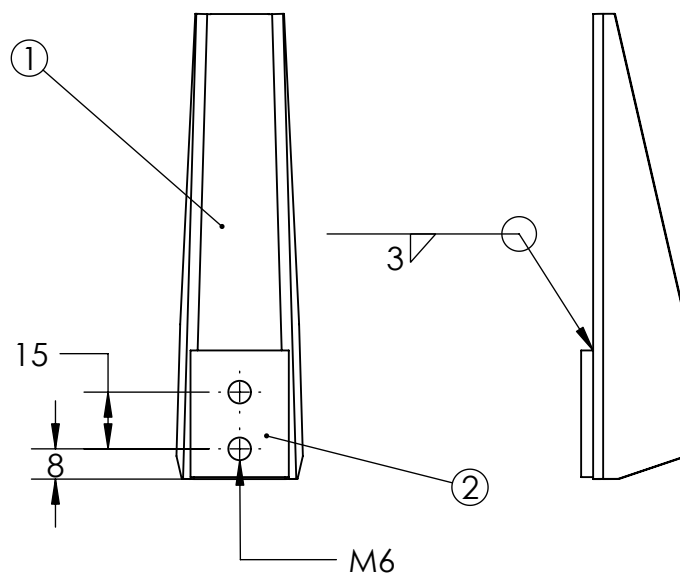
Material		Dimensão	
Rolamento automotivo SKF VKBA - 4625		-	
conjunto: Roda punc. direita / esquerda			
denominação: Rolamento automotivo			
escala: 1:1	folha: A4	código: 01.05	



Material		Dimensão	
Barra aço 1010/1020		Ø 160 x 50	
conjunto: Roda puncionadora direita			
denominação: Flange direita			
escala:	1:3	folha:	A4
código:		01.06	



Material		Dimensão	
Chapa aço		1/4" x 450 x 450	
conjunto: Roda puncionadora direita		 DEA-UFV	
denominação: Disco de fixação direito			
escala:	1:4	folha:	A4
		código:	01.07



Nota: a rosca M6 deverá ser feita após o processo de soldagem

Item	Cod.	Descrição	Qdade
2	01.11	Punção fêmea	1
1	01.10	Apoio da punção fêmea	1

conjunto:  
Roda puncionadora direita

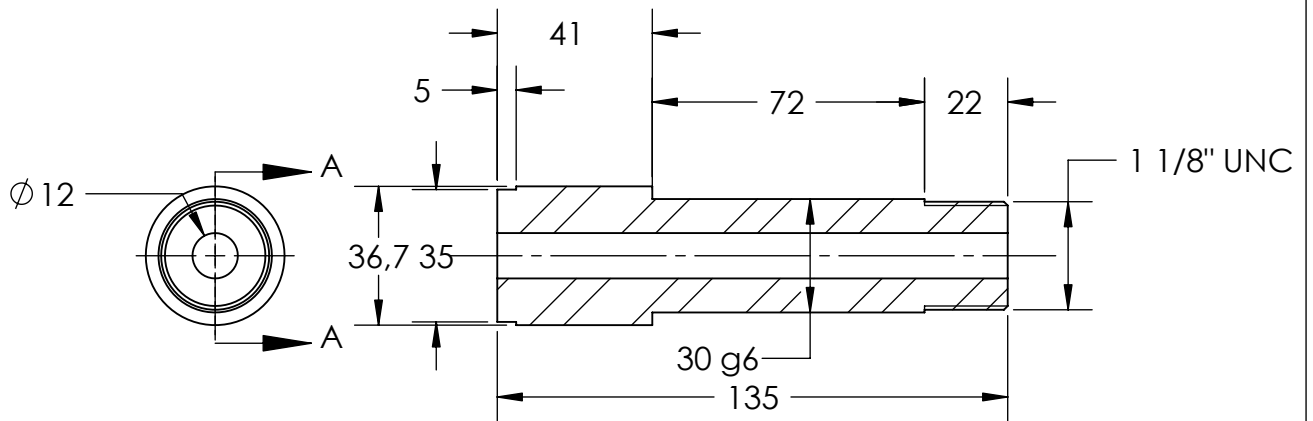
denominação:  
Punção fêmea - montagem




escala: 1:2

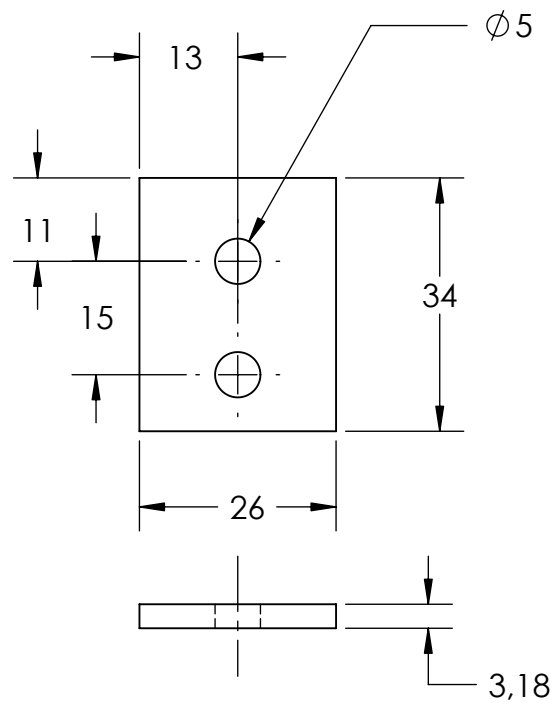
folha: A4


código: 01.08

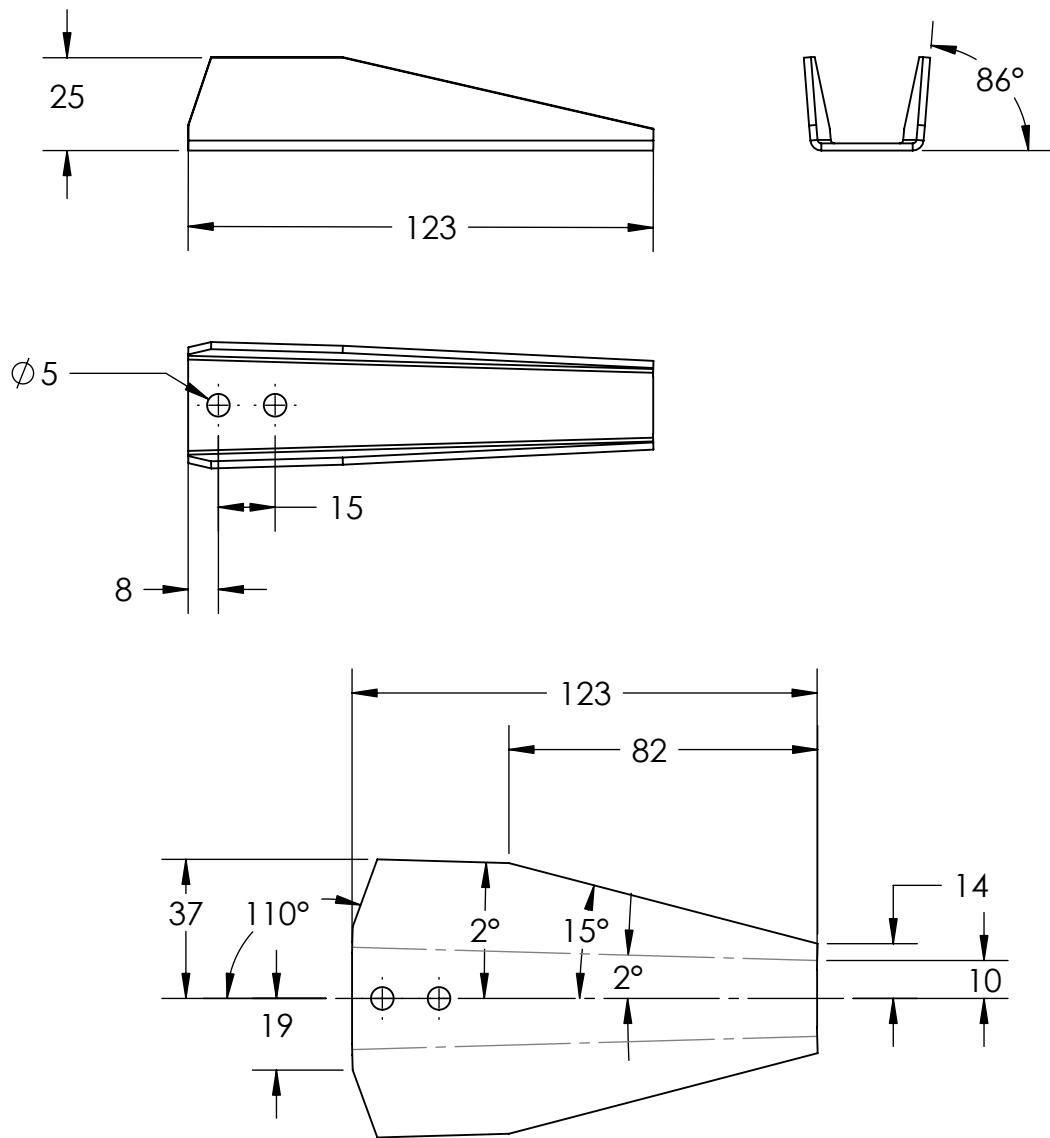



SEÇÃO A-A  
 ESCALA 1 : 2

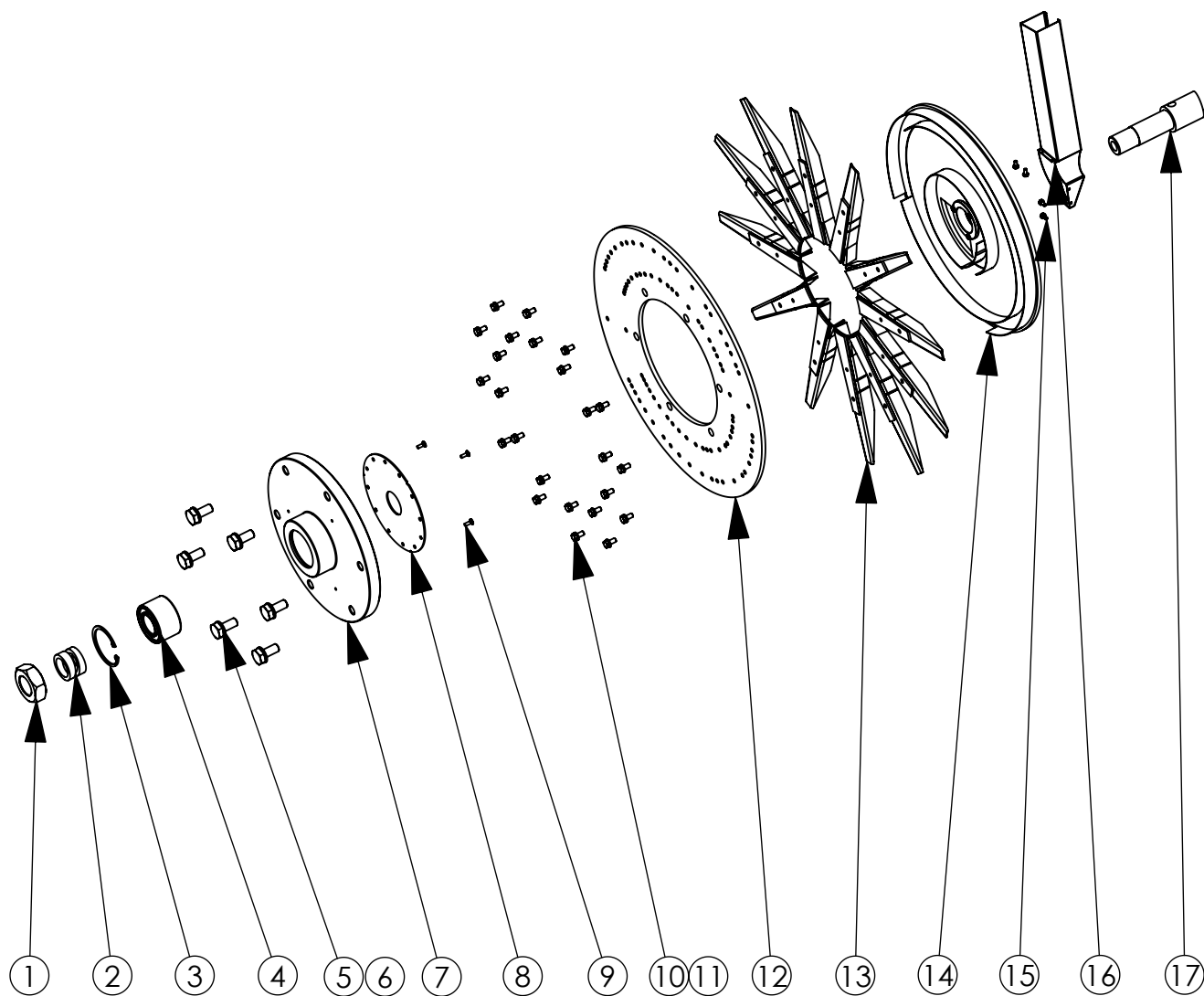
Material		Dimensão
Barra aço 1010/1020		1 1/2" x 140
conjunto: Roda puncionadora direita		
denominação: Eixo direito		
escala: 1:2	folha: A4	código: 01.09



Material		Dimensão	
Chapa de aço		1/8" x 34 x 26	
conjunto: Punção fêmea - montagem			
denominação: Apoio punção fêmea			
escala: 1:1	folha: A4	código: 01.10	



Material		Dimensão	
Chapa de aço		1/4"x 123 x 74	
conjunto: Roda puncionadora direita			
denominação: Punção fêmea			
escala:	1:2	folha:	A4
código:		01.11	



conjunto:  
Roda puncionadora

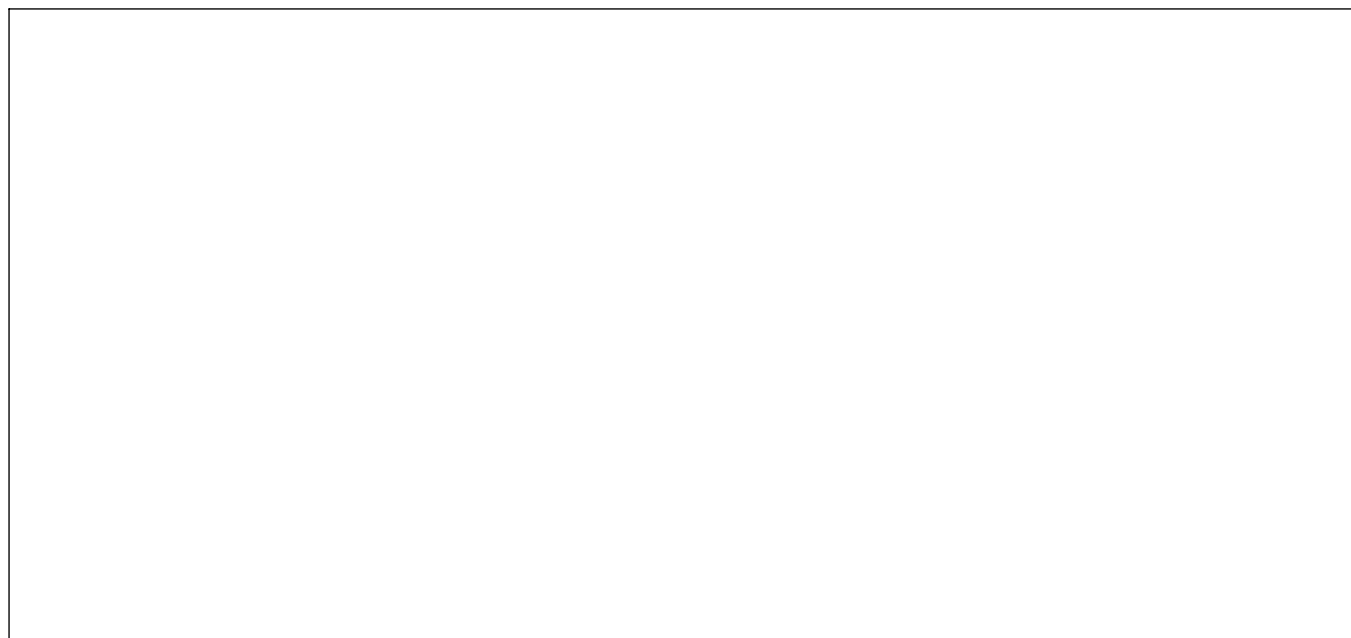
denominação:  
Roda puncionadora esquerda



escala: 1:10

folha: A4

código: 02.01-a



Item	Cod.	Descrição	Qdade
17	02.05	Eixo esquerdo	1
16	02.40	Duto de sementes - conjunto	1
15	-	Parafuso cabeça sextavada M4 - 8	4
14	02.30	Tampa do dosador - conjunto	1
13	02.20	Punção macho - conjunto	12
12	02.04	Disco de fixação esquerda	1
11	-	Arruela de pressão 6	12
10	-	Parafuso cab. sextavada M6 - 12	12
9	-	Parafuso cabeça chanfrada fendida M4 x 12	3
8	02.03	Disco dosador 12 furos	6
7	02.02	Flange esquerda	1
6	-	Arruela aço lisa 12	6
5	-	Parafuso cab. sextavada M12x1,25-18	6
4	01.05	Rolamento automotivo	1
3	-	Anel elástico interno 60mm	1
2	01.03	Arruela separadora	2
1	01.02	Porca 1 1/8" modificada	1

conjunto:  
Roda puncionadora

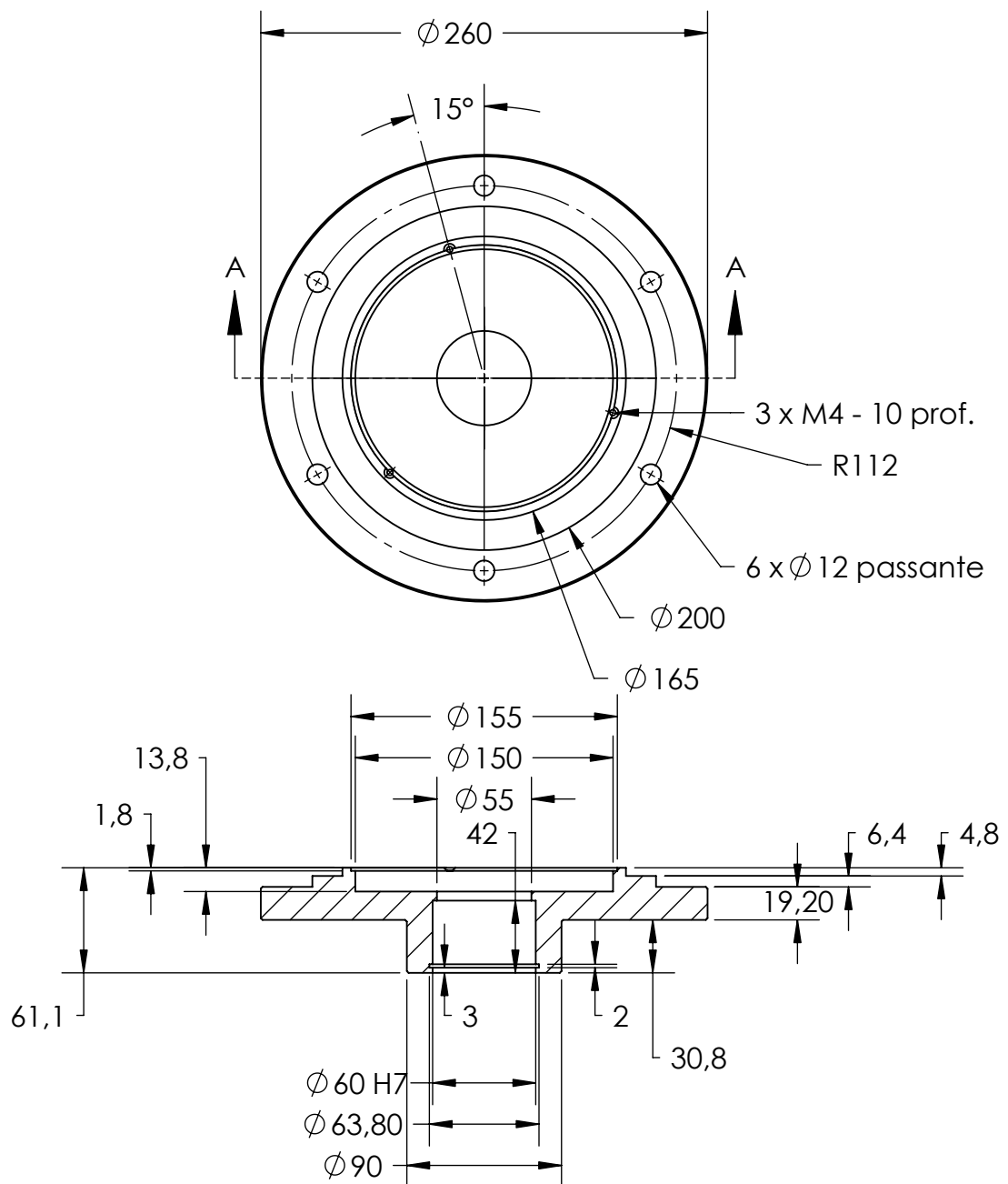
denominação:  
Roda puncionadora direita




escala: -

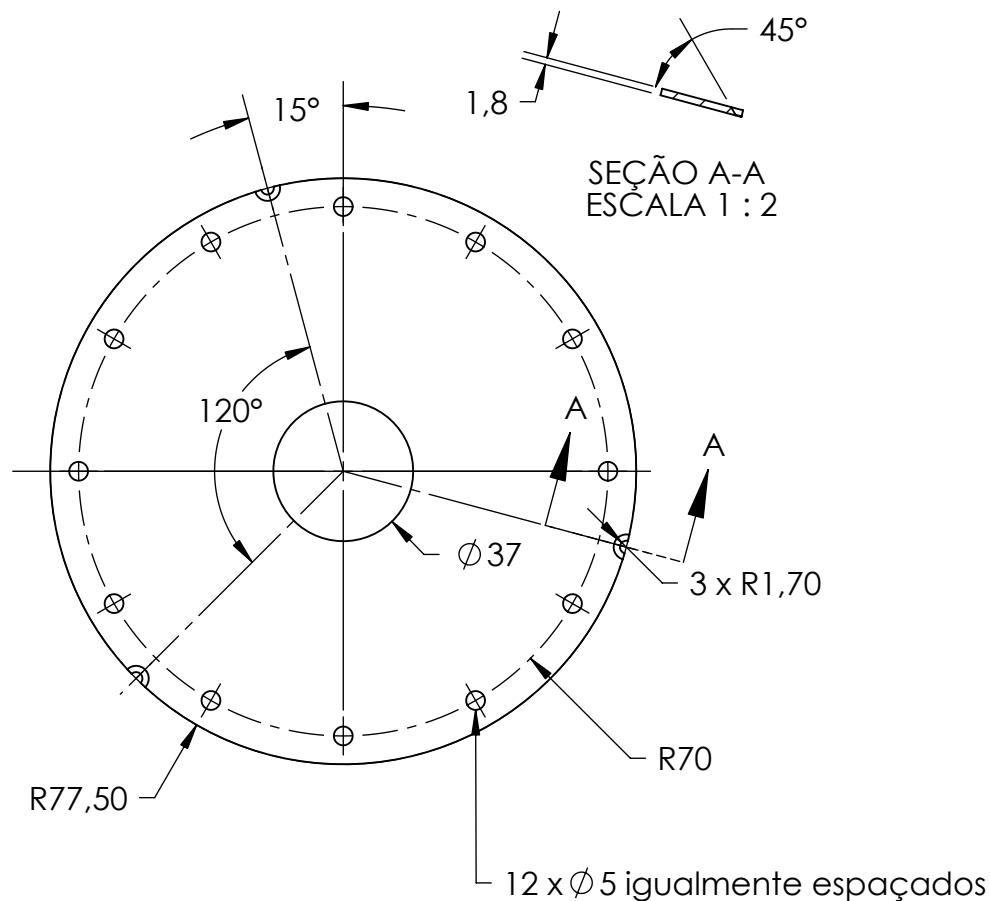
folha: A4

código: 02.01b




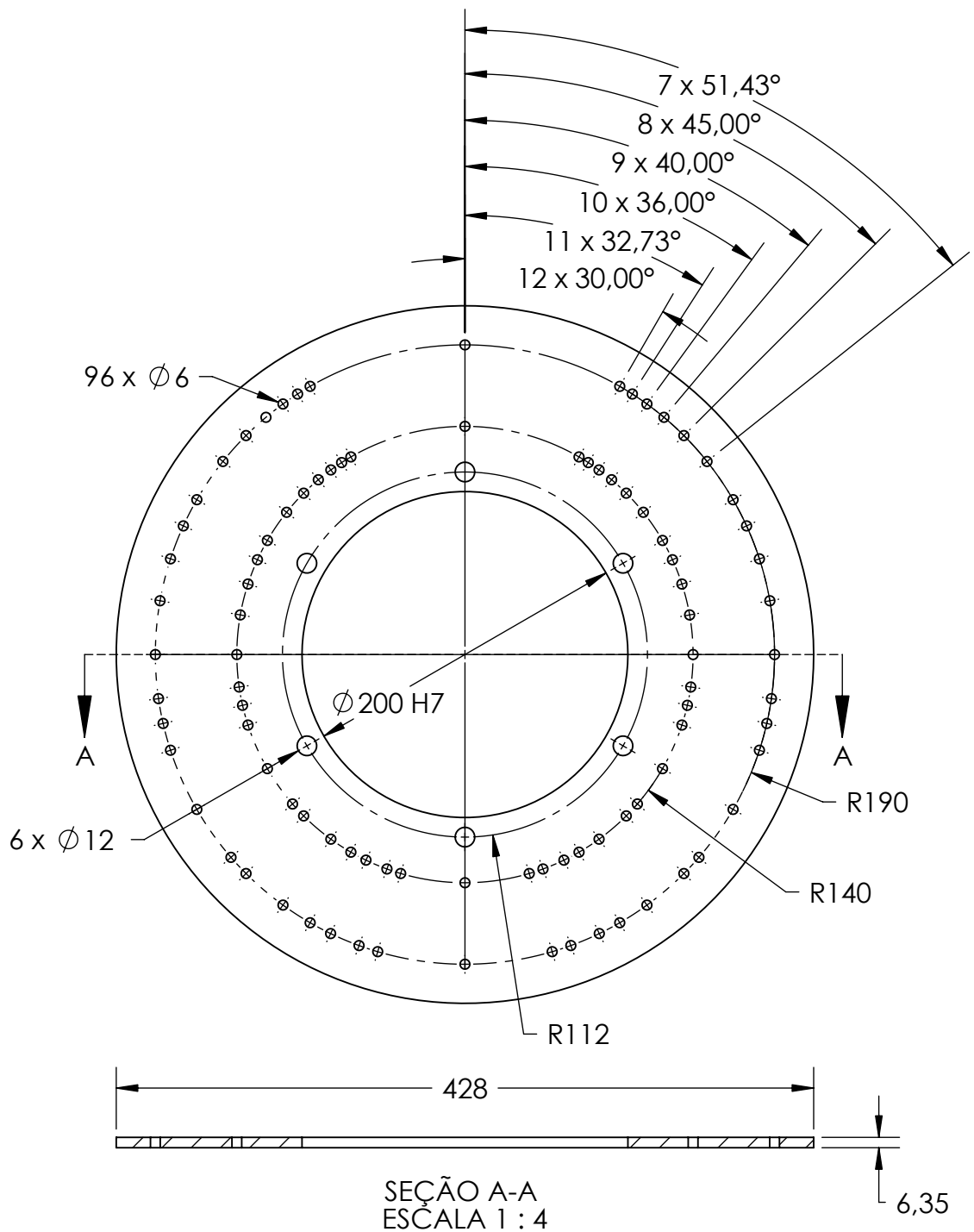
SEÇÃO A-A  
ESCALA 1 : 4


Material		Dimensão	
Barra aço SAE 1010/1020		Ø 260 x 62	
conjunto: Roda puncionadora esquerda			
denominação: Flange esquerda			
escala: 1:4	folha: A4	código: 02.02	

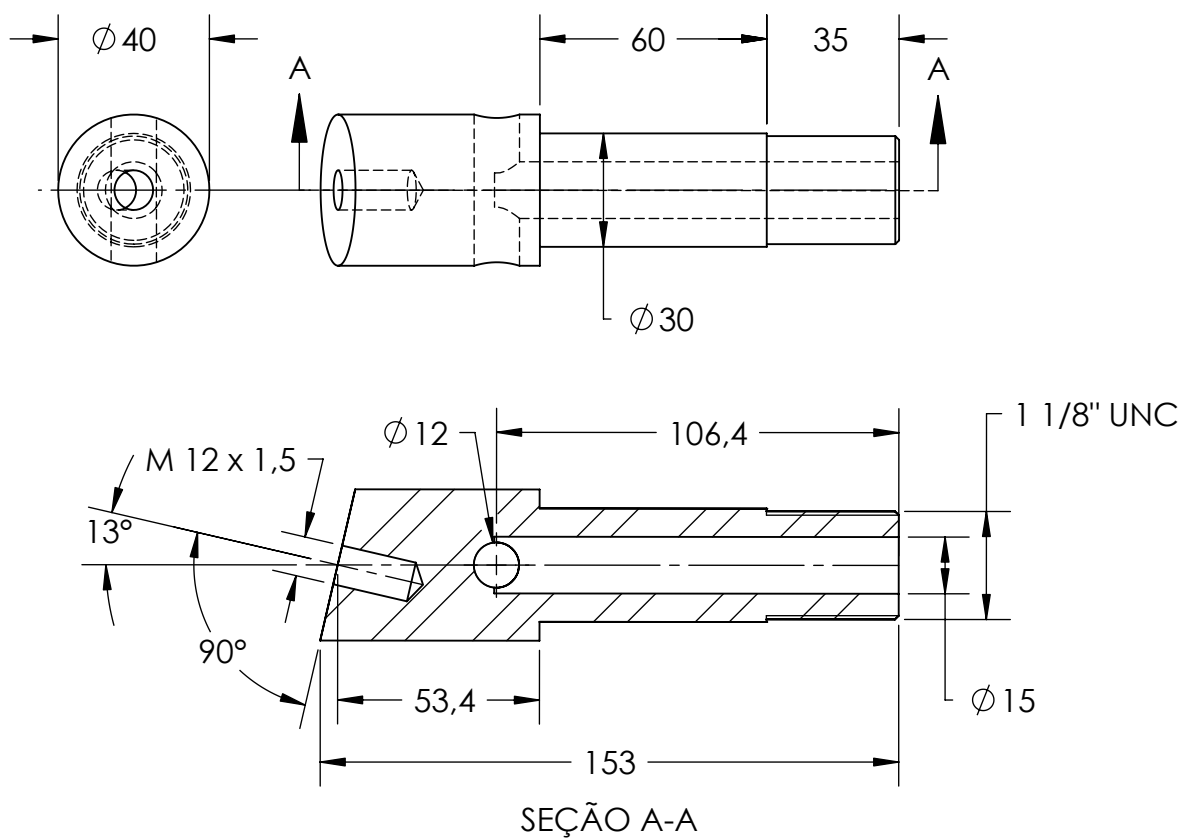



Discos dosadores com 6, 7, 8, 9, 10 e 11 furos possuem as mesmas dimensões do disco dosador com 12 furos, com furações igualmente espaçadas

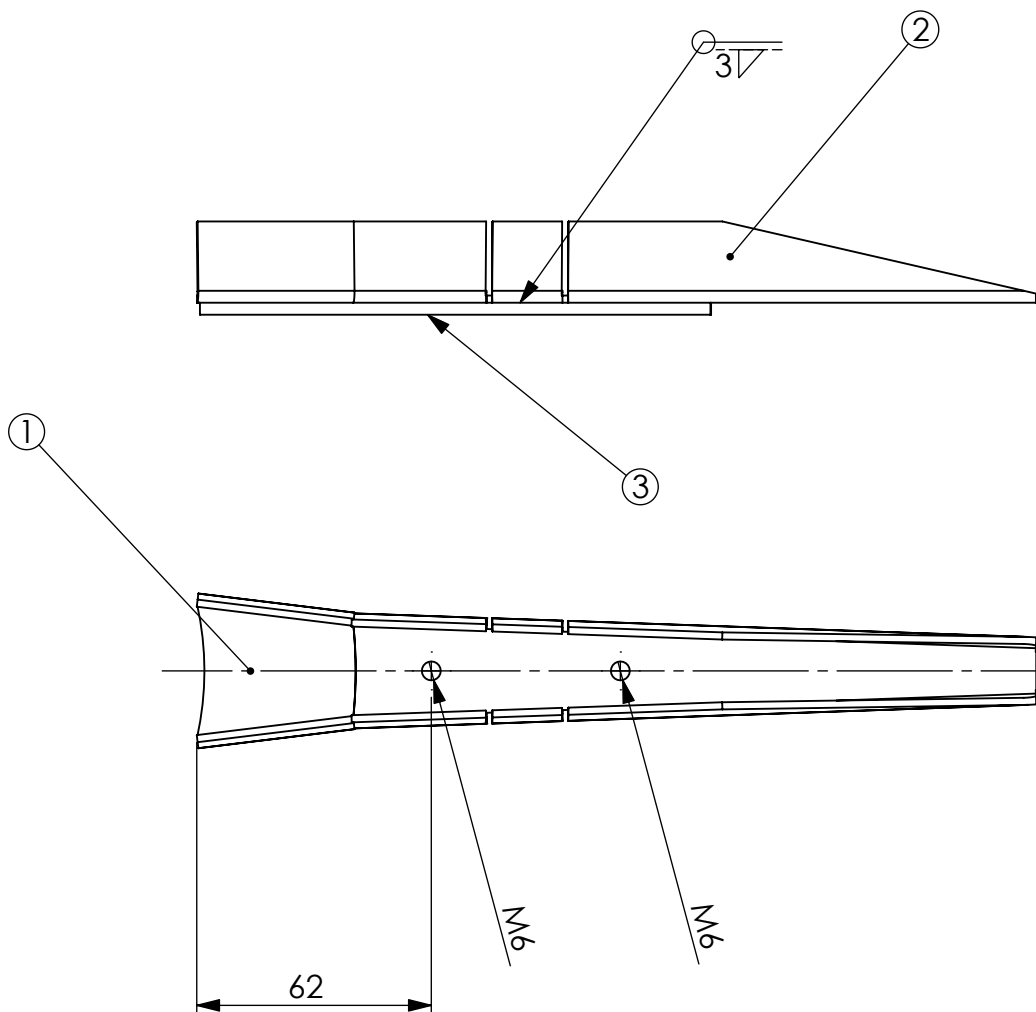
Material		Dimensão	
Chapa aço #14		Ø 260 x 62	
conjunto: Roda puncionadora direita			
denominação: Disco dosador 12 furos			
escala:	1:2	folha:	A4
código:		02.03	



Material		Dimensão	
Chapa de aço		1/4" x 428 x 428	
conjunto: Roda puncionadora esquerda		 DEA-UFV	
denominação: Disco de fixação esquerdo			
escala:	1:4	folha:	A4
código:		02.04	



Material		Dimensão
Barra aço 1010/1020		2" x 155
conjunto: Roda puncionadora esquerda		
denominação: Eixo esquerdo		
escala: 1:2	folha: A4	código: 02.05

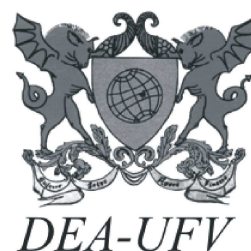


Nota: as rosacas devem ser executadas após processo de solda

Item	Cod.	Descrição	Qdade
3	02.21	Apoio da punção macho	1
2	02.22	Base do punção macho	1
1	02.23	Punção macho	1

conjunto:  
Roda puncionadora esquerda

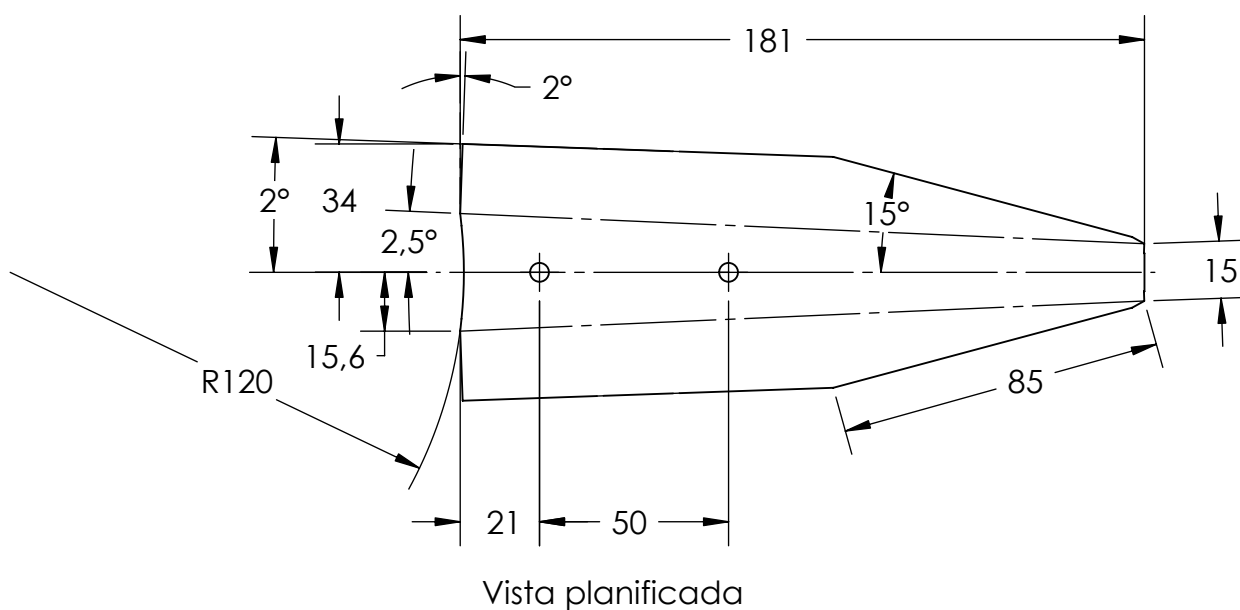
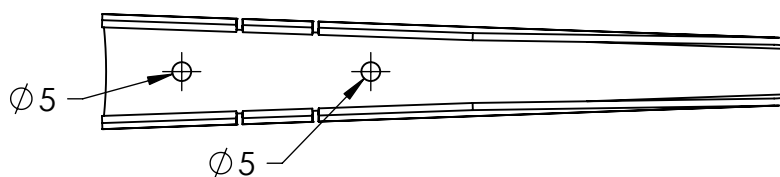
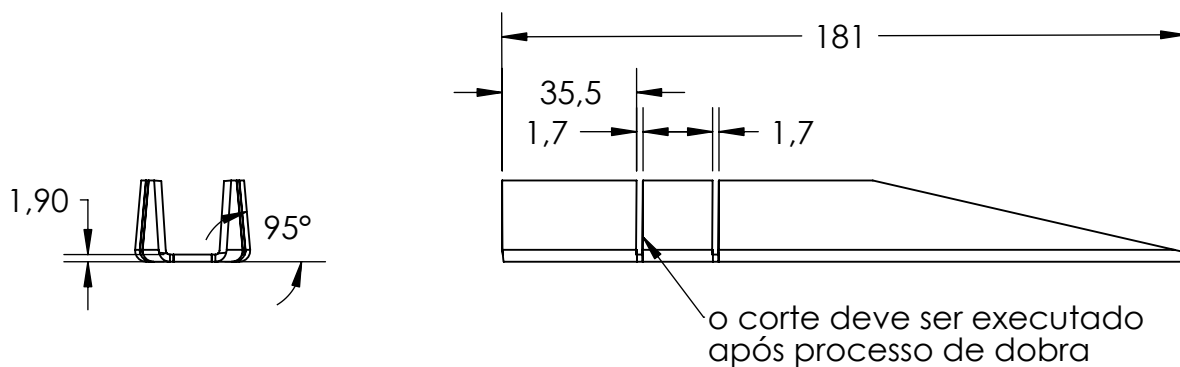
denominação:  
Punção macho - conjunto




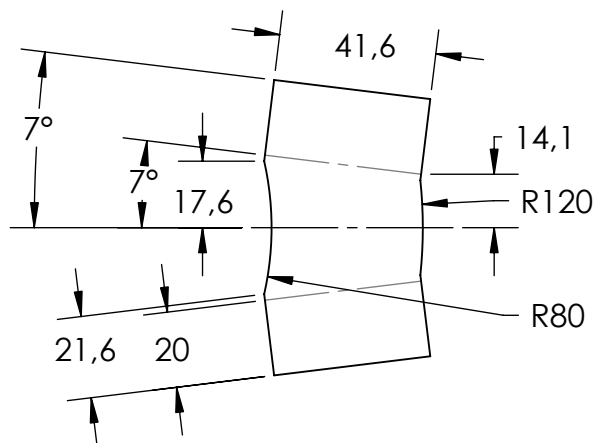
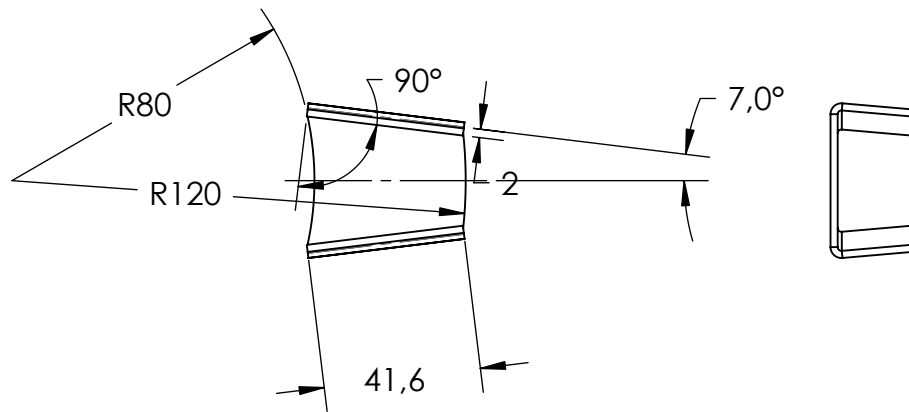
escala: 1:2


folha: A4

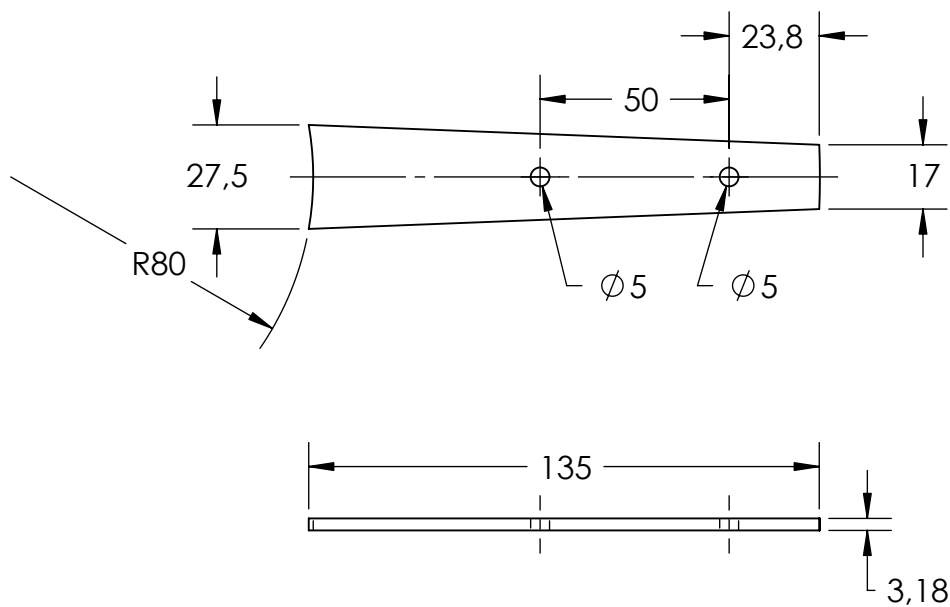
código: 02.20




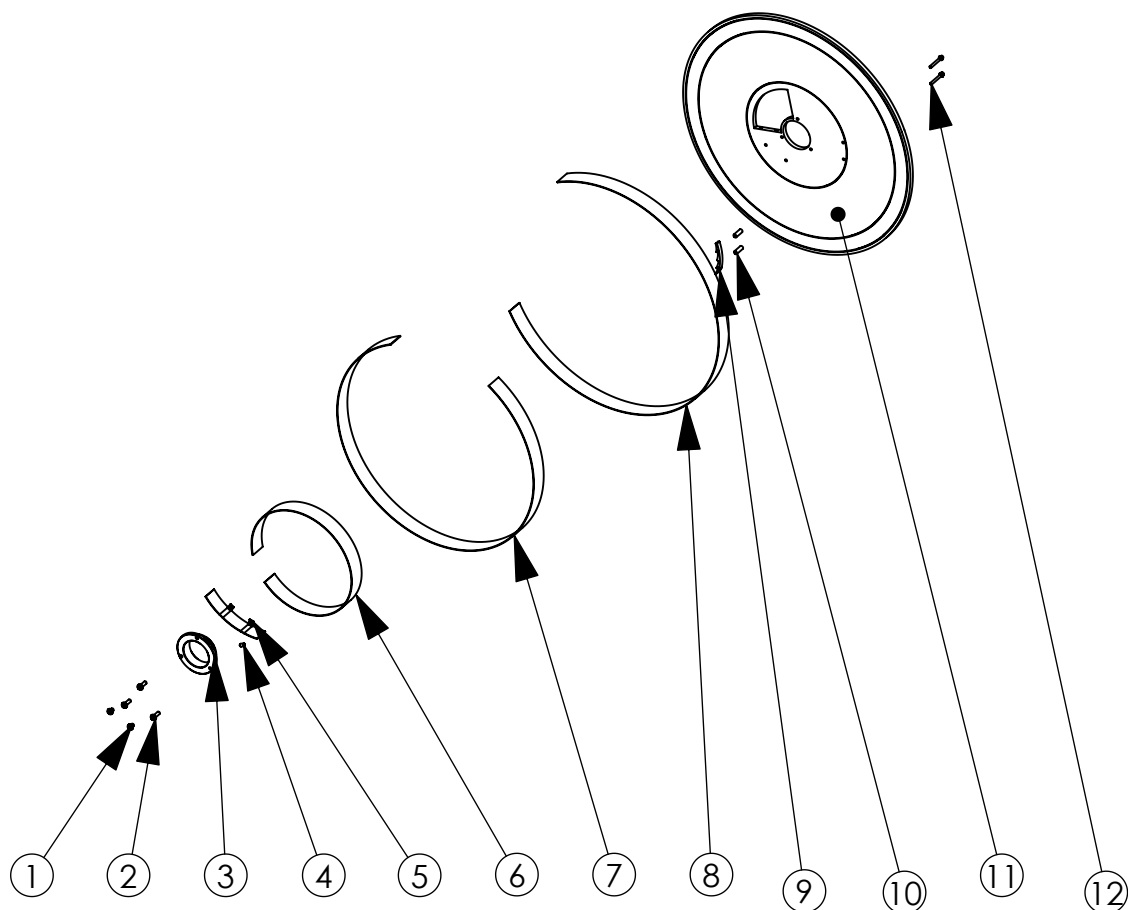
Material		Dimensão	
Chapa de aço		#14 x 181 x 68	
conjunto: Punção macho - conjunto		 DEA-UFV	
denominação: Punção macho			
escala: 1:2	folha: A4	código: 02.21	



Material		Dimensão	
Chapa de aço		1/4" x 80 x 50	
conjunto: Punção macho - conjunto			
denominação: Base do punção macho			
escala: 1:4	folha: A4	código: 02.22	



Material		Dimensão	
Chapa de aço		1/8" x 140 x 30	
conjunto: Punção macho - conjunto			
denominação: Base do punção macho			
escala: 1:2	folha: A4	código: 02.23	



Item	Cod.	Descrição	Qdade
12	-	Parafuso cabeça sextabada M3x0,5 - 25	2
11	02.39	Tampa do dosador	1
10	02.38	Tubo separador	2
9	02.37	Individualizador	1
8	02.36	Anel externo	1
7	02.35	Anel intermediário	1
6	02.34	Anel interno	1
5	02.33	Ejetor	1
4	-	Parafuso M4 - 8 allen com sextavado interno e ponta cônica	1
3	02.32	Flange fixadora do dosador	1
2	-	Parafuso M4 - 10 com fenda	3
1	-	Parafuso M4 - 5 com fenda	2

conjunto:  
Roda puncionador esquerda

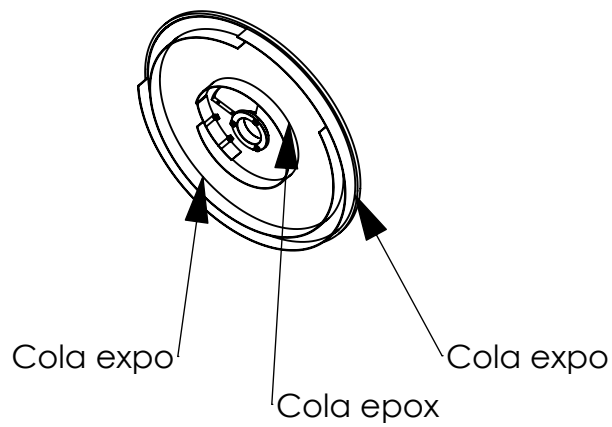
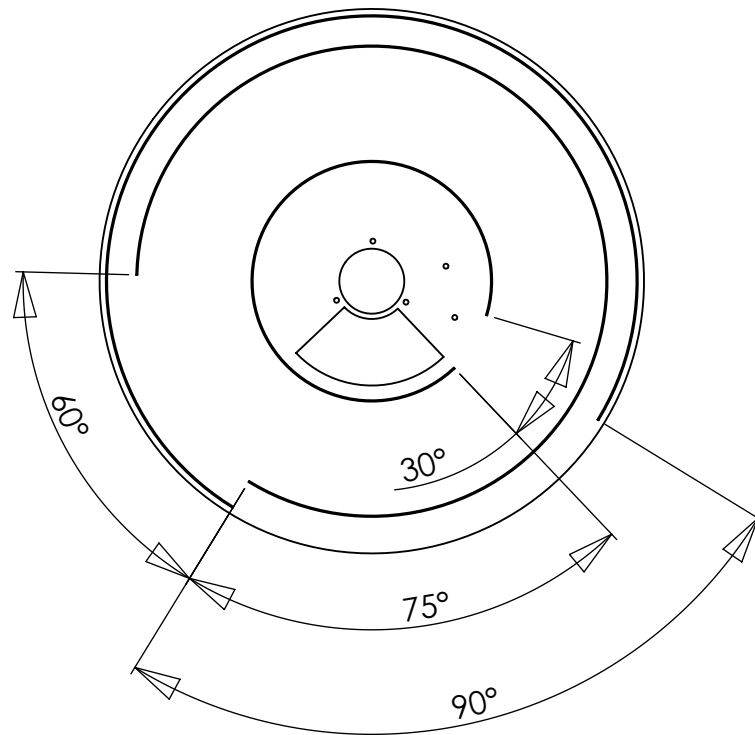
denominação:  
Tampa do dosador - conjunto



escala: 1:10

folha: A4

código: 02.30



Cola epox aplicada em torno dos anéis

conjunto:  
Roda punccionador esquerda

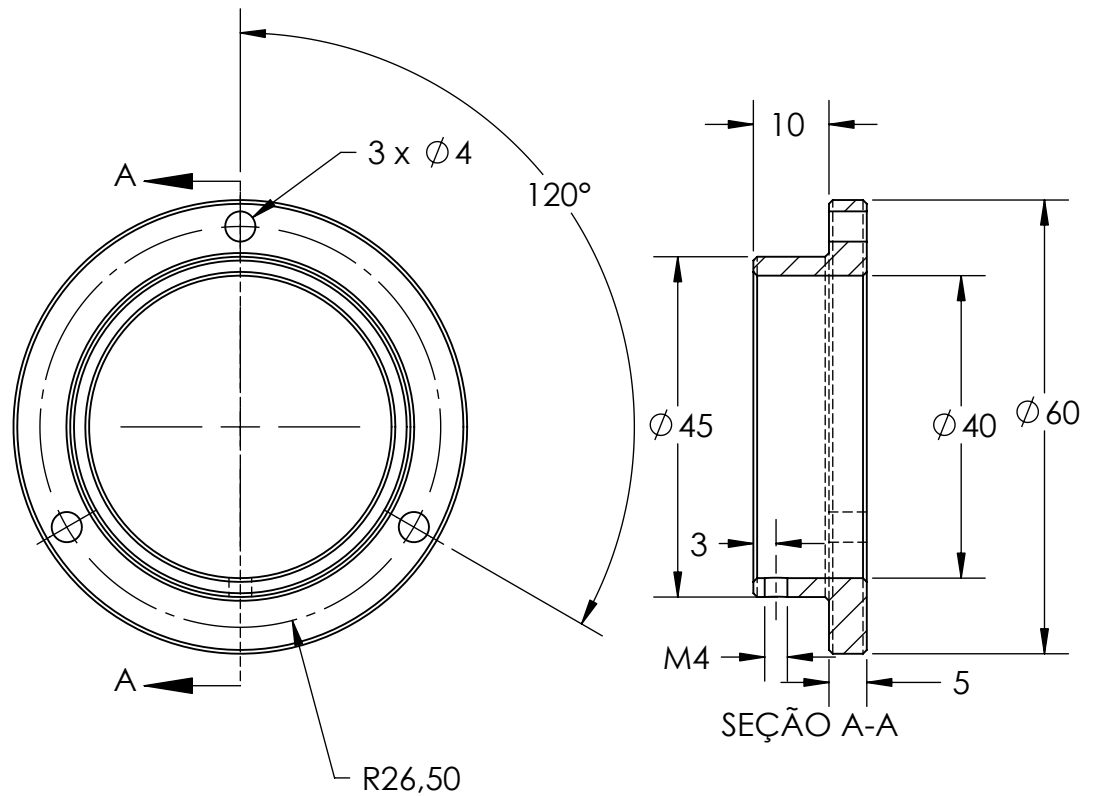
denominação:  
Tampa do dosador - solda




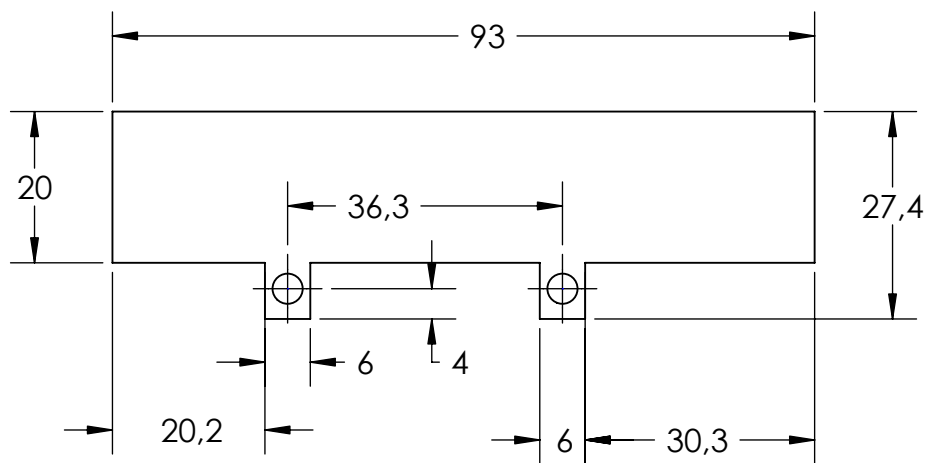
escala: 1:5

folha: A4

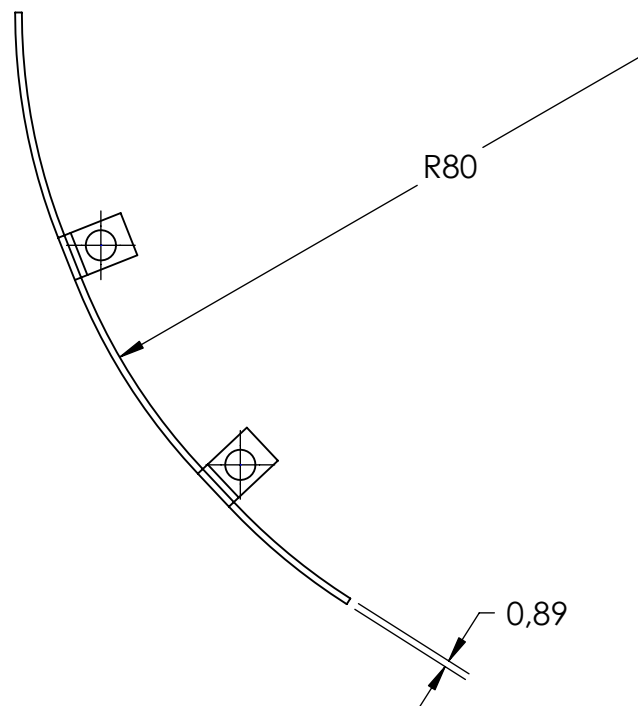
código: 02.31




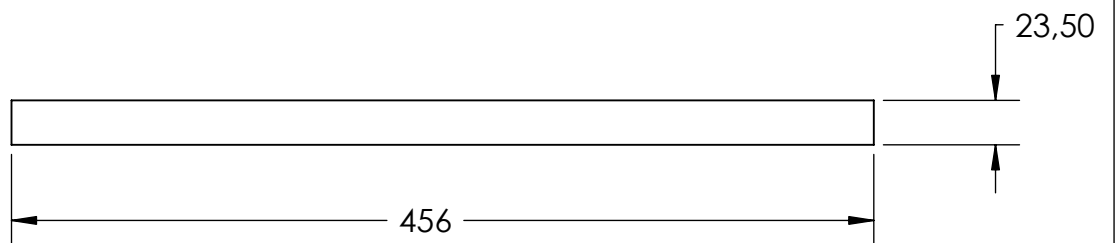
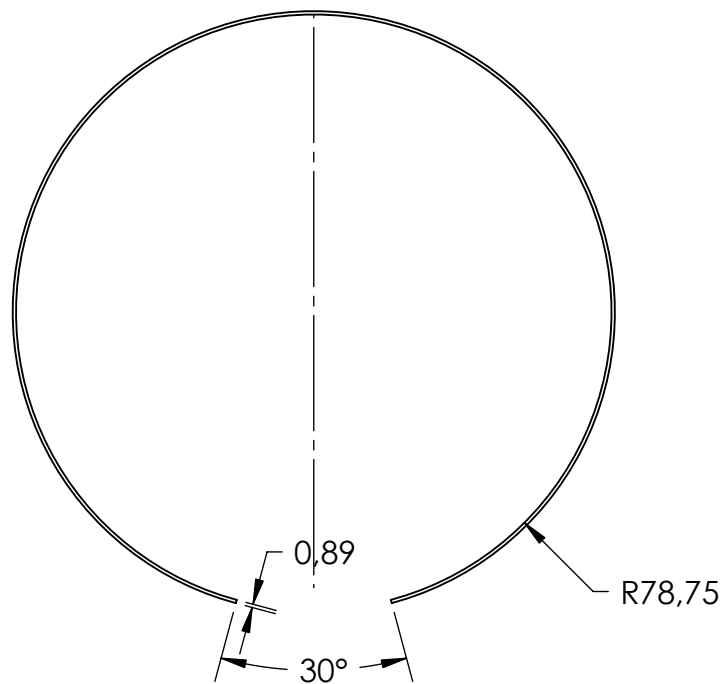
Material		Dimensão	
Aço 1010/1020		60 x 15	
conjunto: Tampa do dosador - conjunto			
denominação: Flange fixadora do dosador			
escala:	1:1	folha:	A4
		código:	02.32




Vista planificada

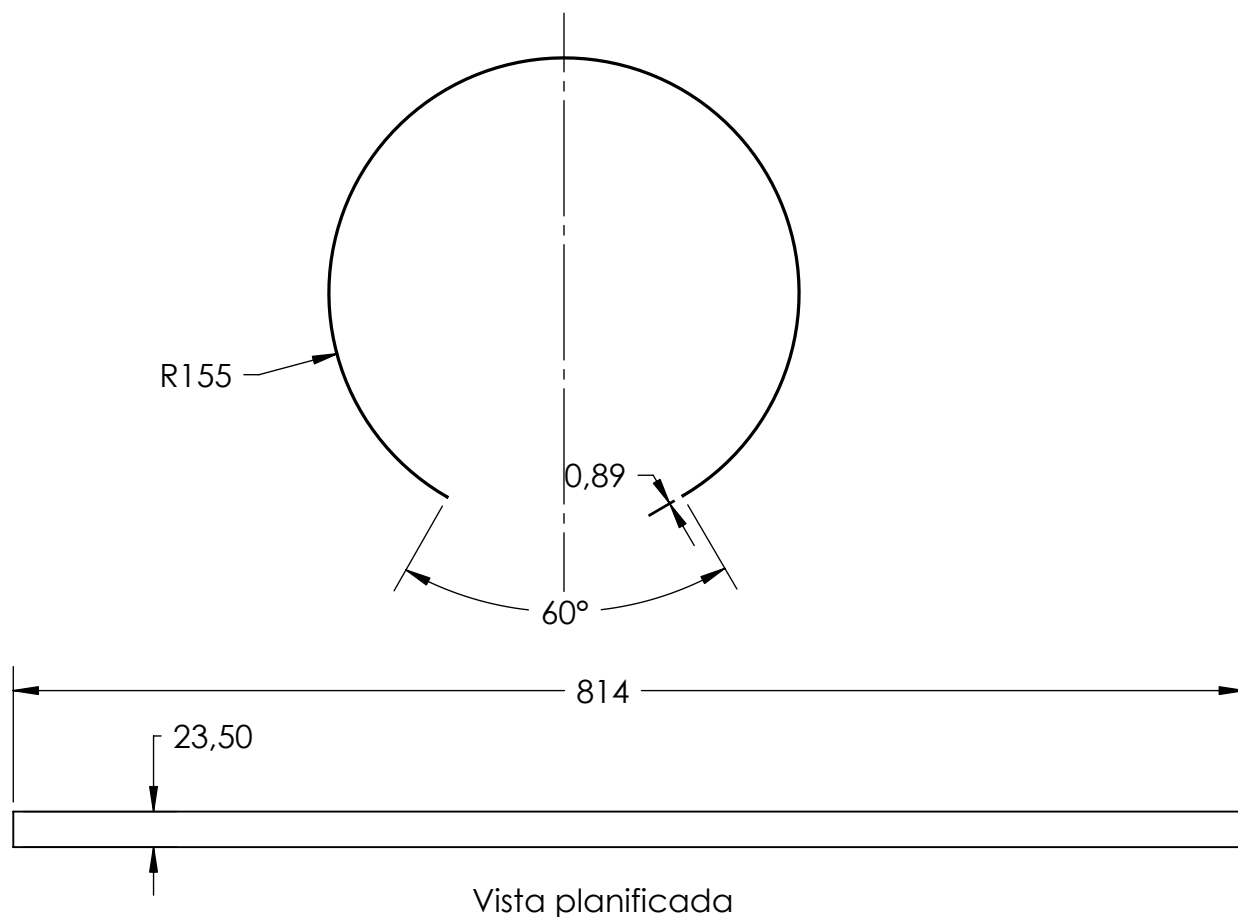



Material		Dimensão	
Chapa de aço galvanizado		#20 x 28 x 93	
conjunto: Tampa do dosador - conjunto			
denominação: Ejetor			
escala: 1:1	folha: A4	código: 02.33	

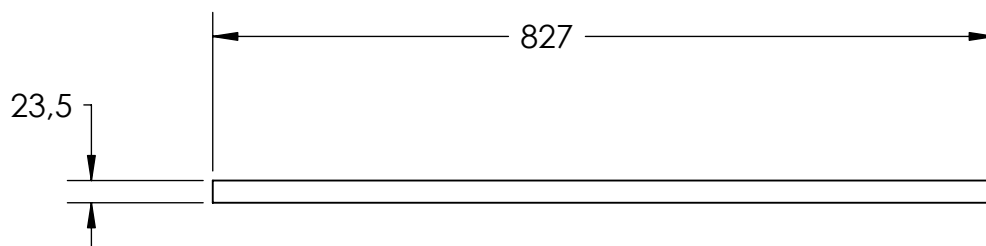
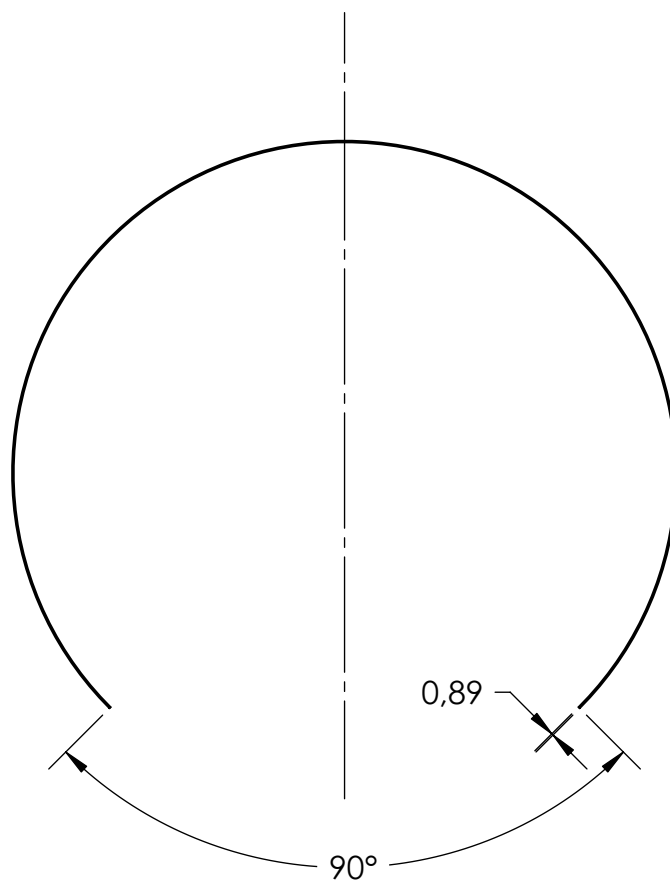


Vista planificada  
Esc. 1:4


Material		Dimensão	
Chapa de aço galvanizado		#20 x 23,5 x 456	
conjunto: Tampa dosador - conjunto			
denominação: Anel interno			
escala: 1:2	folha: A4	código: 02.34	

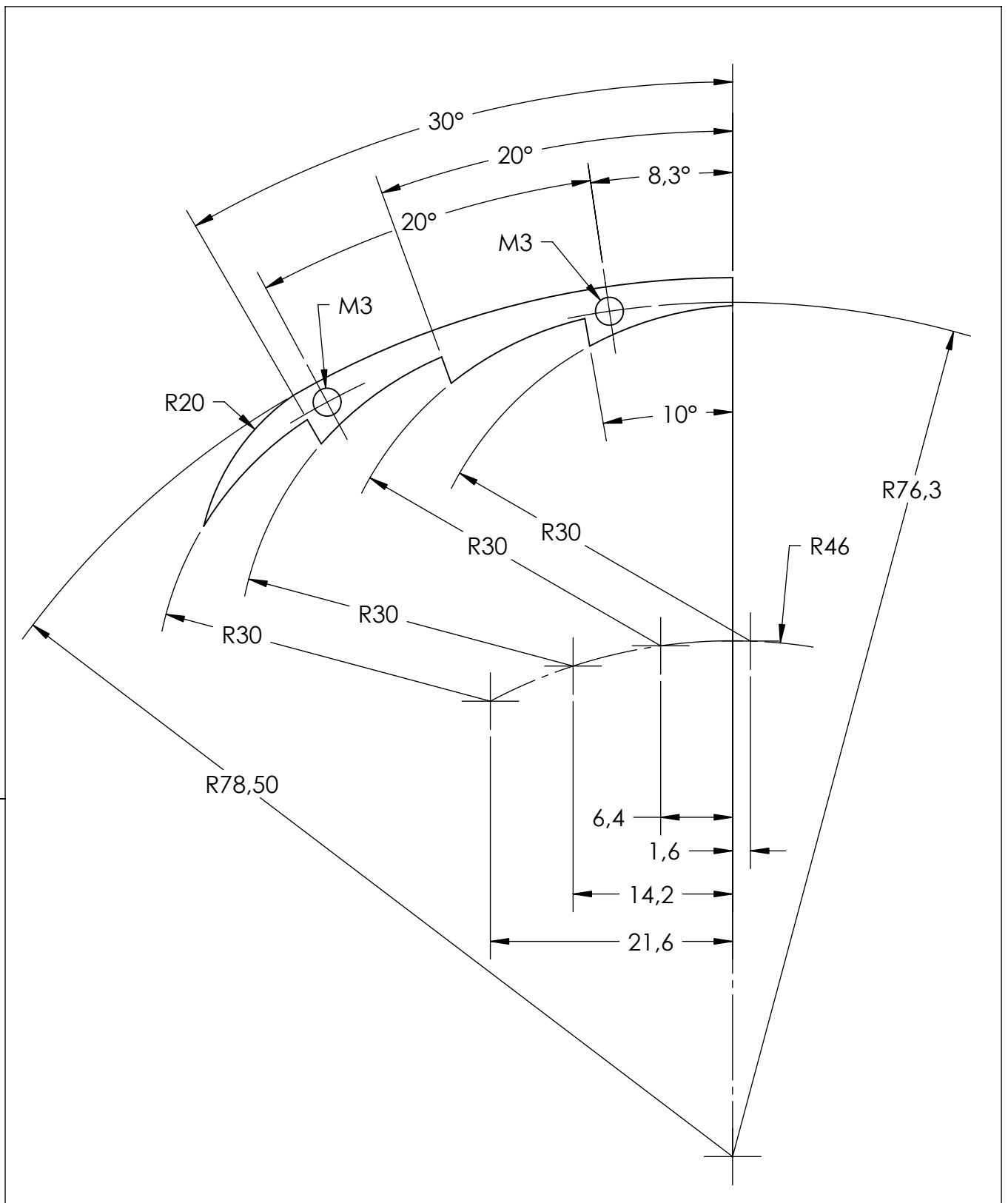



Material		Dimensão	
Chapa de aço galvanizado		#20 x 23,5 x 814	
conjunto: Tampa do dosador - conjunto			
denominação: Anel intermediário			
escala:	1:5	folha:	A4
		código:	02.35

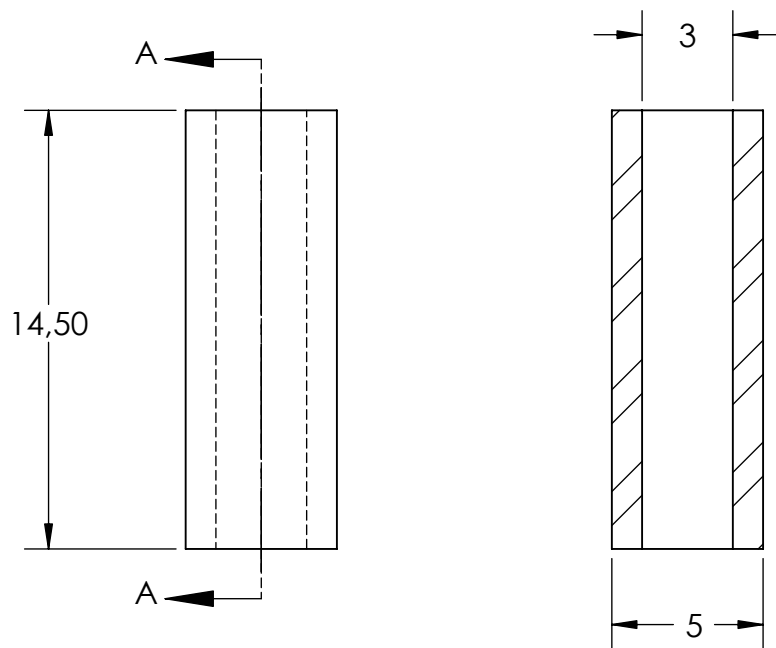


Vista planificada  
Esc. 1: 8


Material		Dimensão	
Chapa de aço galvanizado		#20 x 23,5 x 827	
conjunto: Tampa do dosador - conjunto		 DEA-UFV	
denominação: Anel externo			
escala:	1:4	folha:	A4
		código:	02.36

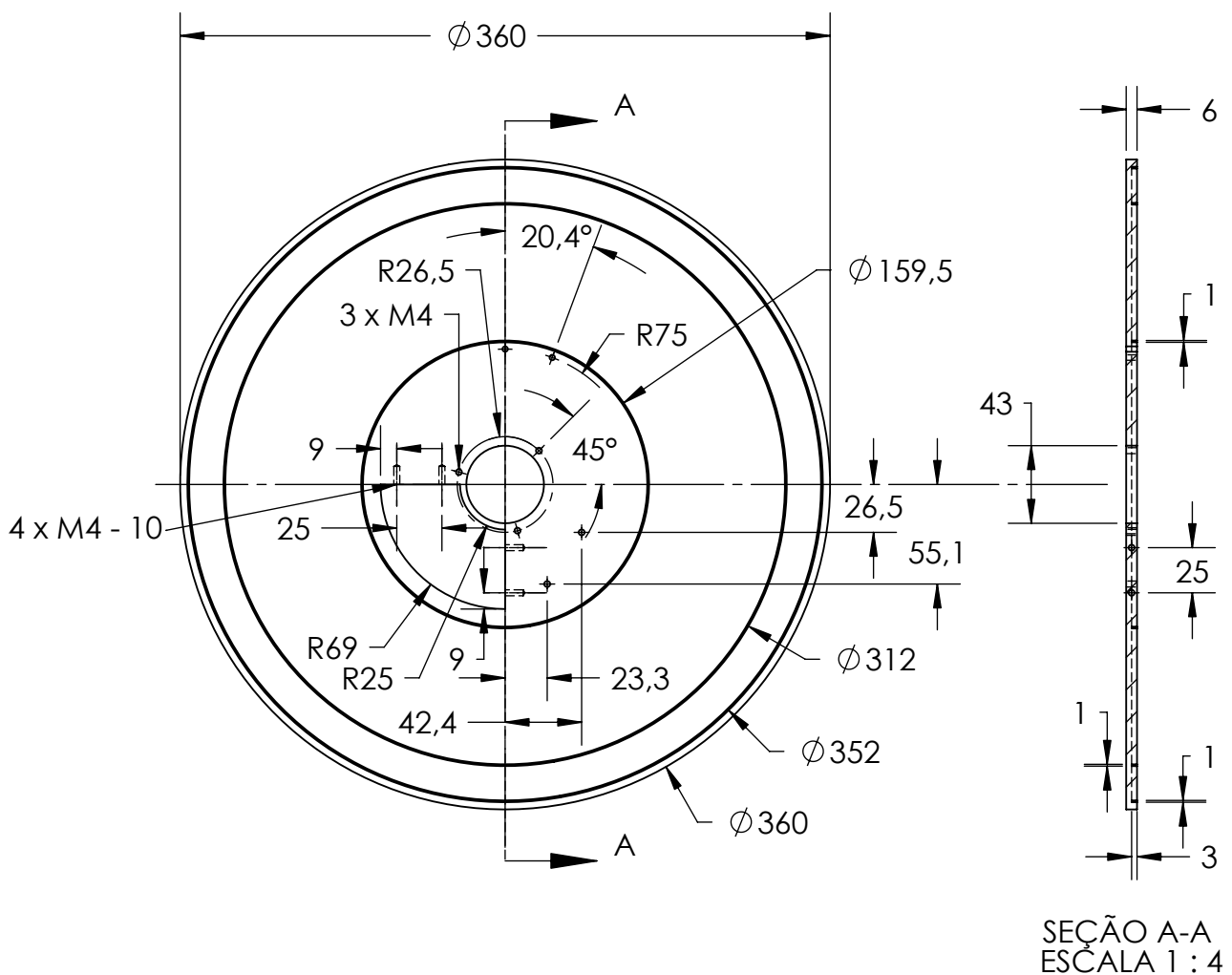



Material		Dimensão	
Chapa de acrílico		6 x 50 x 30	
conjunto: Tampa do dosador - conjunto		 DEA-UFV	
denominação: Individualizador			
escala: 2:1	folha: A4	código: 02.37	

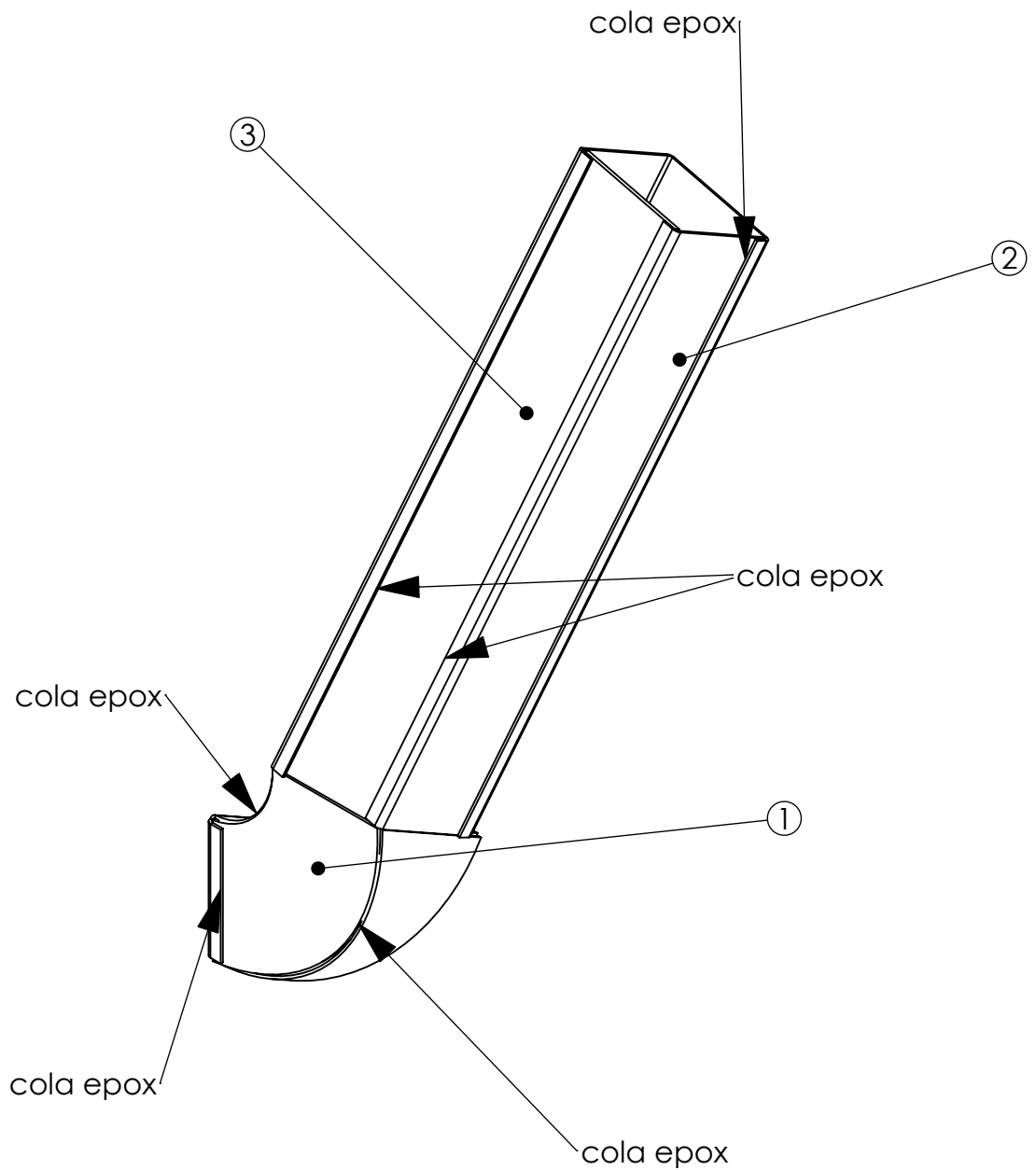


SEÇÃO A-A  
ESCALA 4 : 1

Material		Dimensão
Barra aço 1010/1020		5 x 14,5
conjunto: Tampa do dosador - conjunto		
denominação: Tubo separador		
escala: 4:1	folha: A4	código: 02.38



Material		Dimensão
Chapa de acrílico		6 x $\phi$ 360
conjunto: Tampa do dosador - conjunto		
denominação: Tampa do dosador		
escala:	1:4	folha: A4
		código: 02.39



Item	Cod.	Descrição	Qdade
3	02.43	Lateral do duto	1
2	02.42	Tampa superior do duto	1
1	02.41	Tampa inferior do duto	1

conjunto:  
Roda puncionadora esquerda

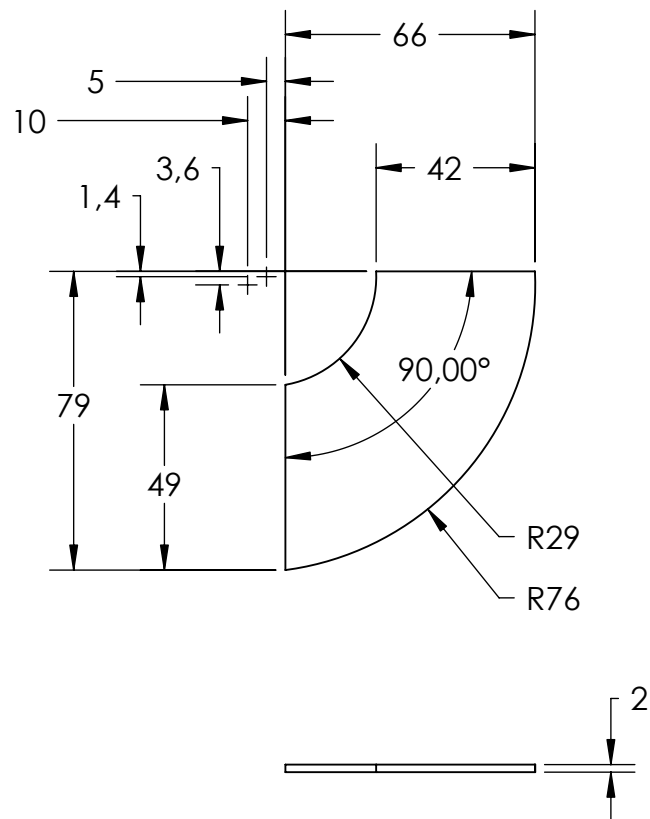
denominação:  
Duto de sementes - conjunto




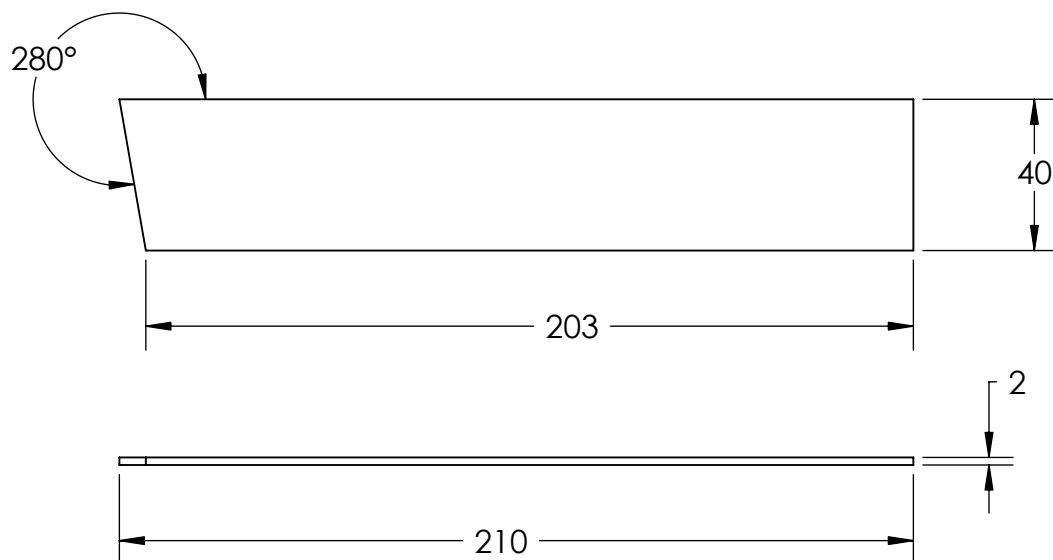
escala: 1:2


folha: A4

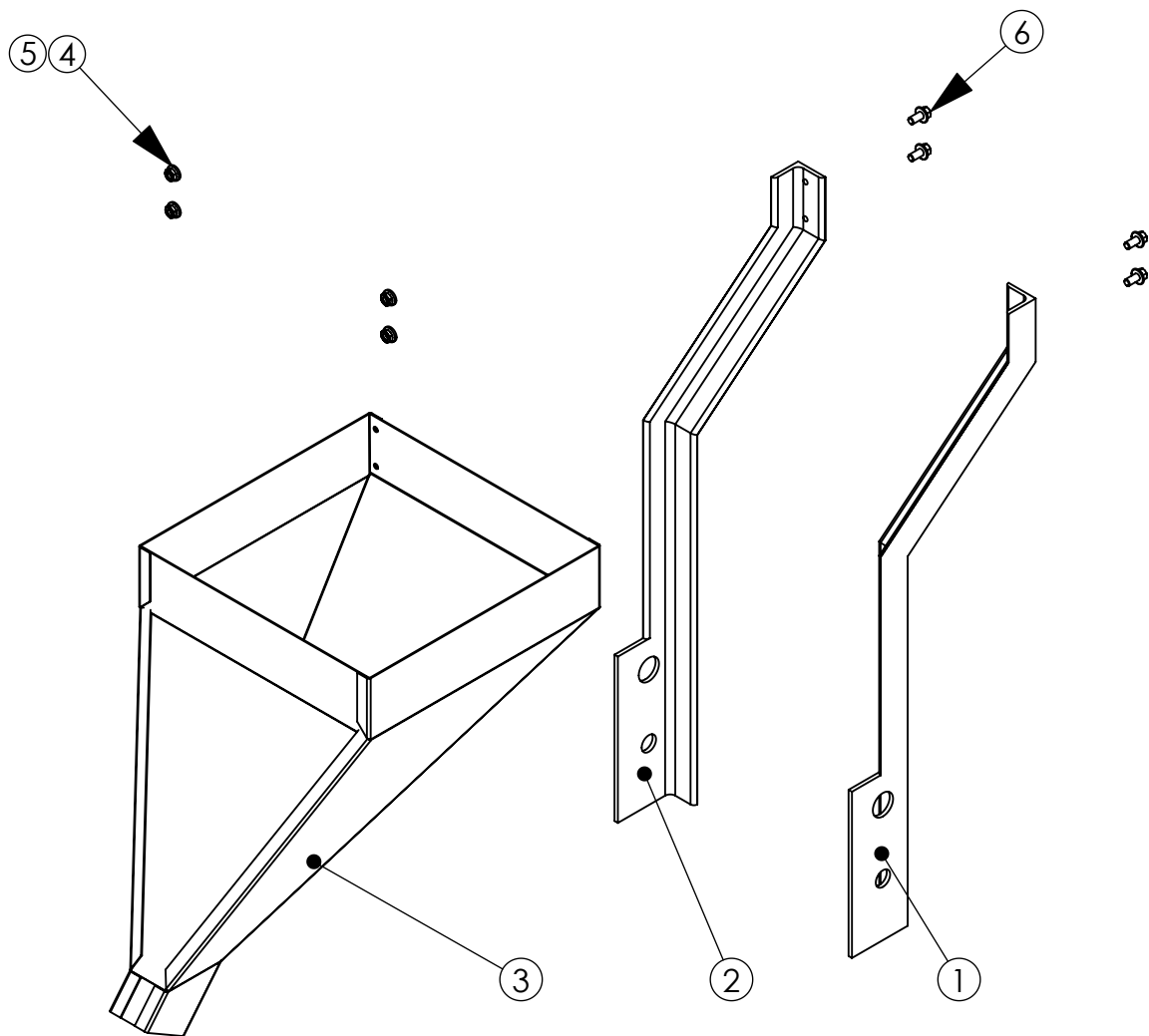
código: 02.40



Material		Dimensão	
Acrílico		2 x 80 x 68	
conjunto: Duto de sementes			
denominação: Tampa inferior do duto			
escala: 1:2	folha: A4	código: 02.41	



Material		Dimensão	
Acrílico		2 x 210 x 40	
conjunto: Duto de sementes			
denominação: Tampa superior do duto			
escala:	1:2	folha:	A4
		código:	02.42



Item	Cod.	Descrição	Qdade
6	-	Parafuso M5 -10 cabeça sextavada	4
5	-	Arruela lisa 5,5	4
4	-	Porca M5	4
3	03.10	Moega conjunto	1
2	03.02	Lateral de apoio esquerda	1
1	03.01	Lateral de apoio direita	1

conjunto:  
Semeadora puncionadora

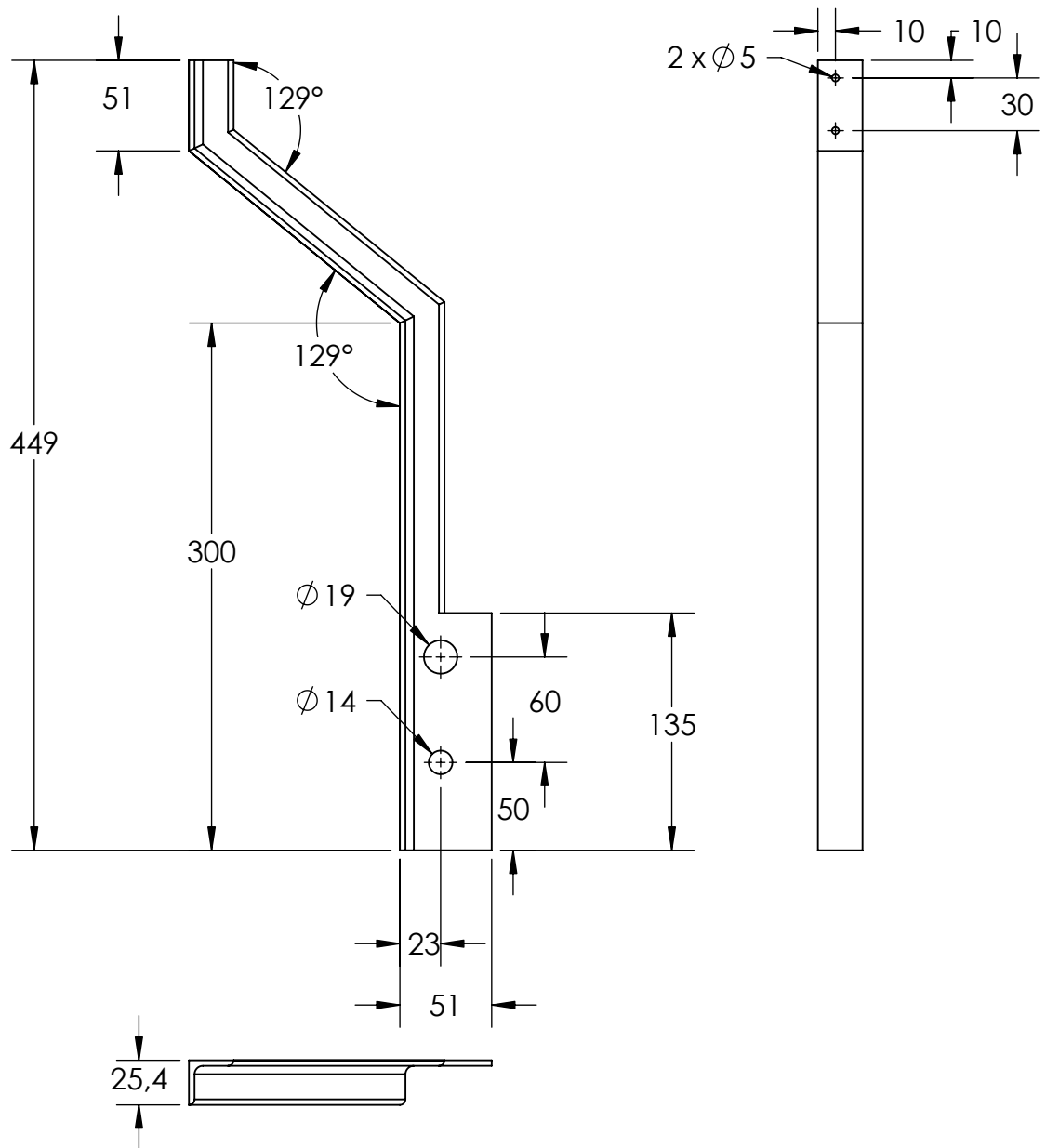
denominação:  
Reservatório - conjunto




escala: 1:5

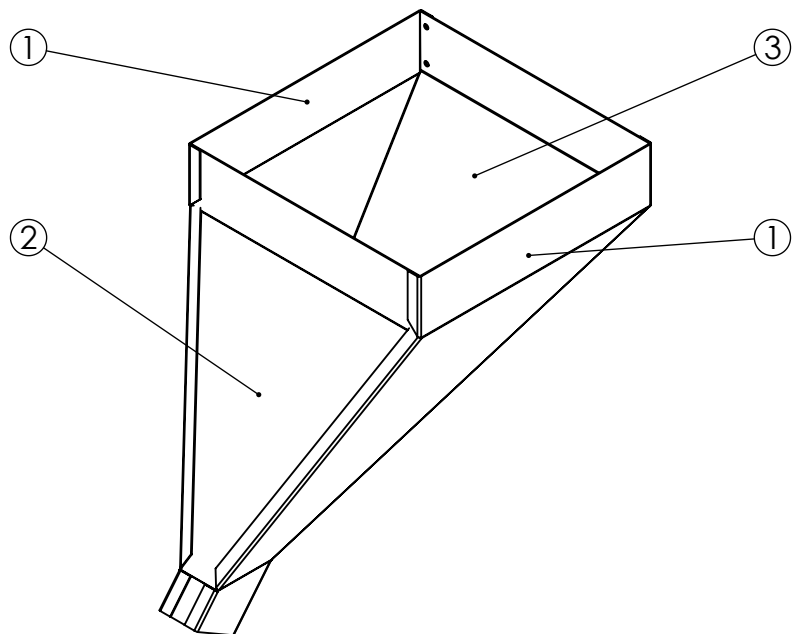
folha: A4

código: 03.00

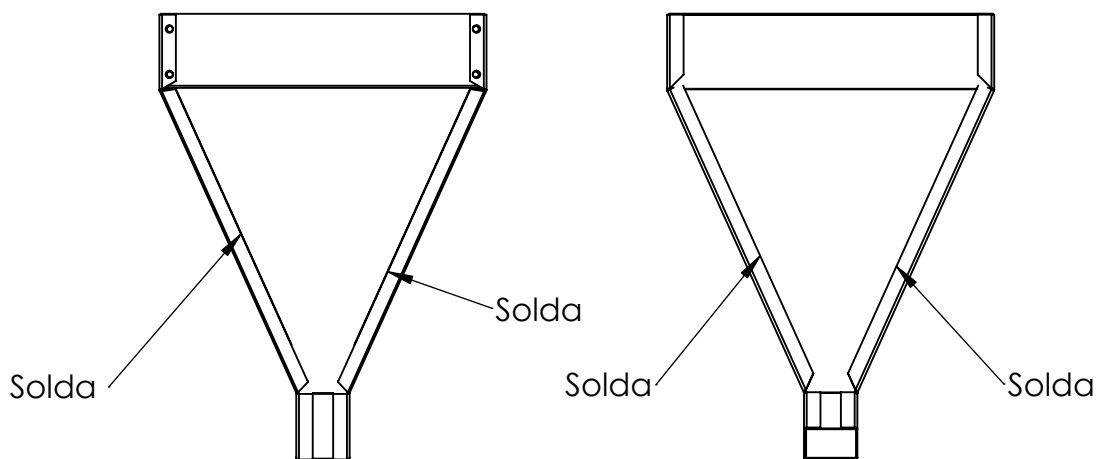


Material		Dimensão	
Chapa de aço		1" x 1/8" x 135	
Cantoneiras abas iguais		1" x 1/8" x 510	
conjunto: Reservatório - conjunto		 DEA-UFV	
denominação: Lateral de apoio direita			
escala:	1:4	folha:	A4
		código:	03.01





Vista isométrica



Vista traseira

Vista frontal

Solda - Tipo estanho em todo o contato das dobras com a parte frontal e traseira do reservatório

Item	Cod.	Descrição	Qdade
3	03.13	Chapa traseira da moega	1
2	03.12	Chapa frontal da moega	1
1	03.11	Chapa lateral da moega	2

conjunto:  
Reservatório - conjunto

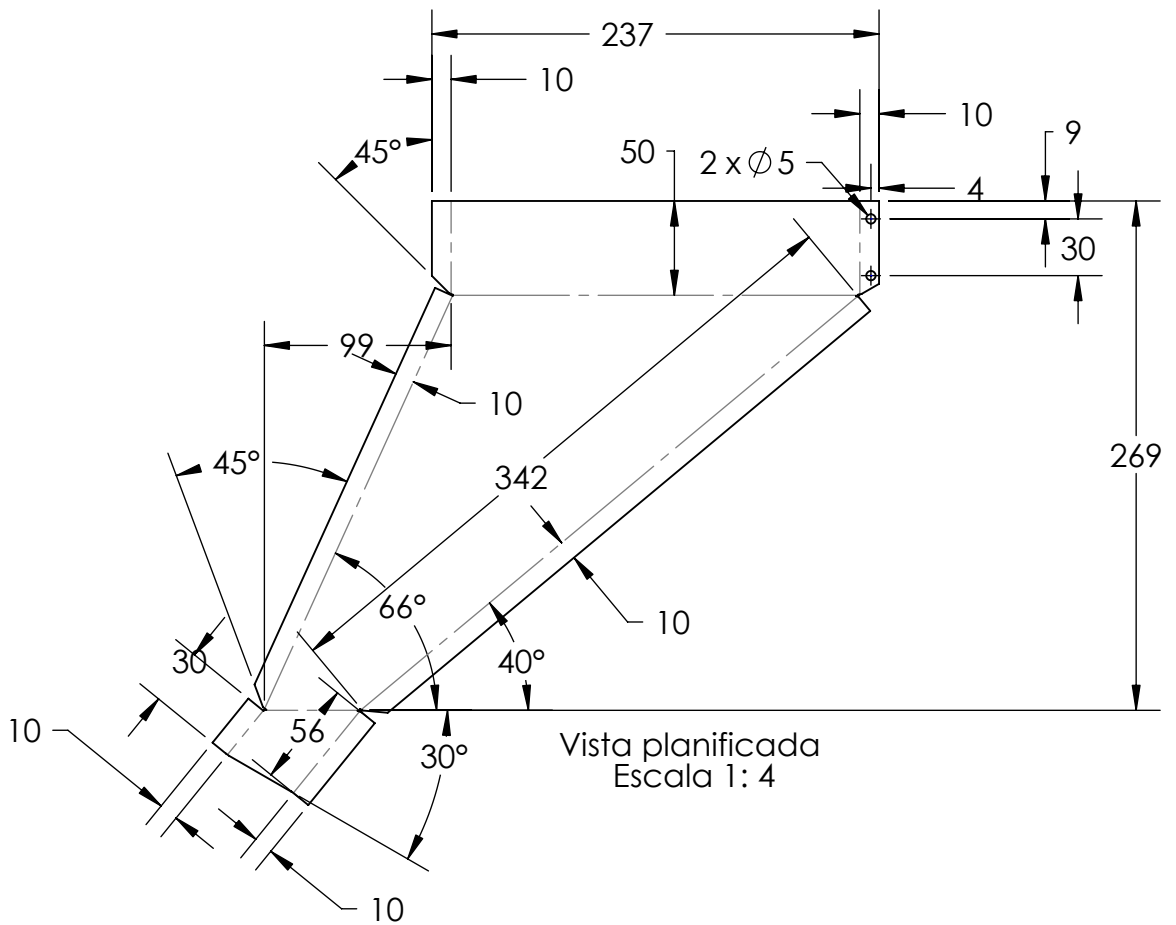
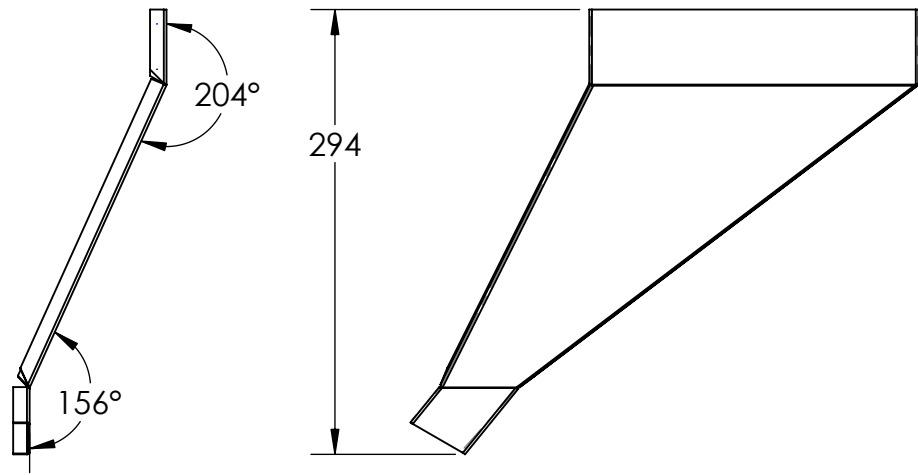
denominação:  
Moega - conjunto




escala: 1:5

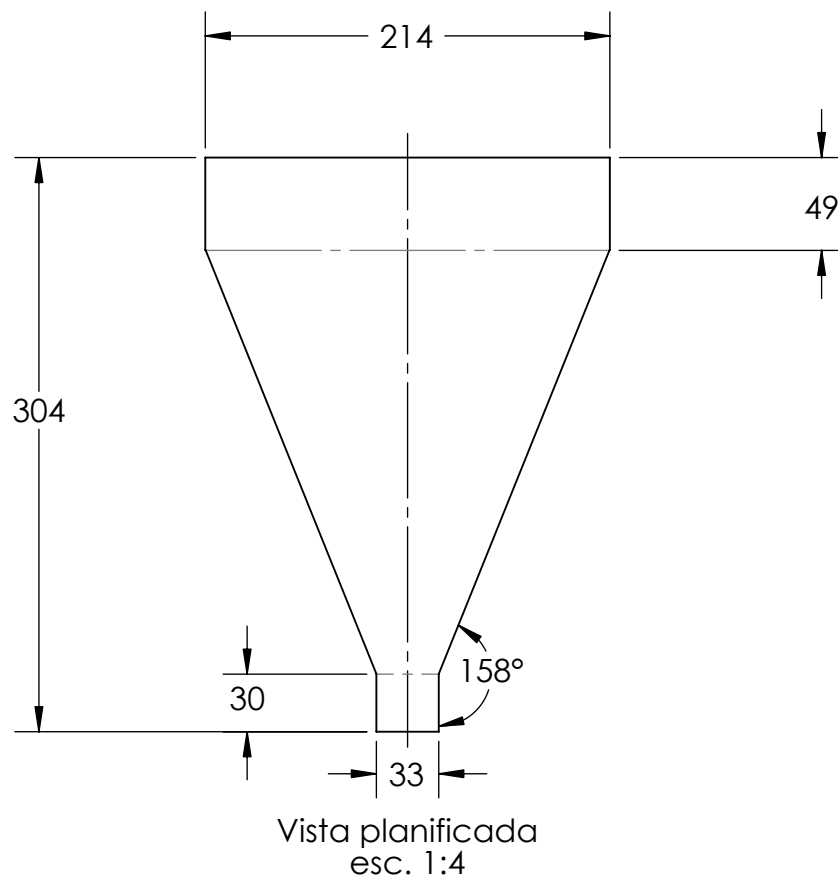
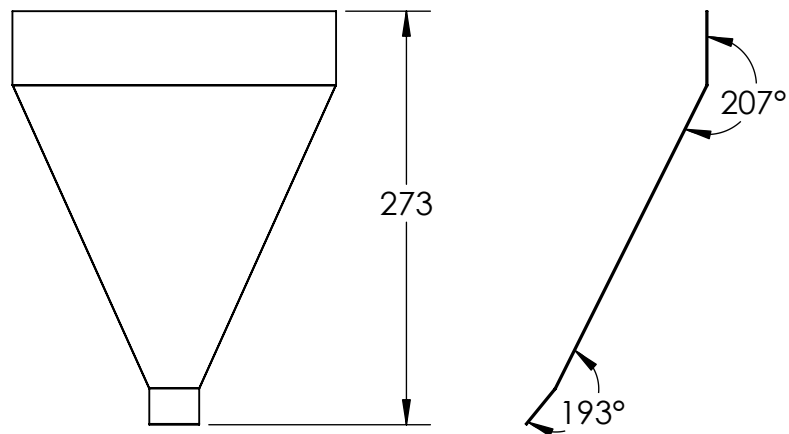
folha: A4


código: 03.10

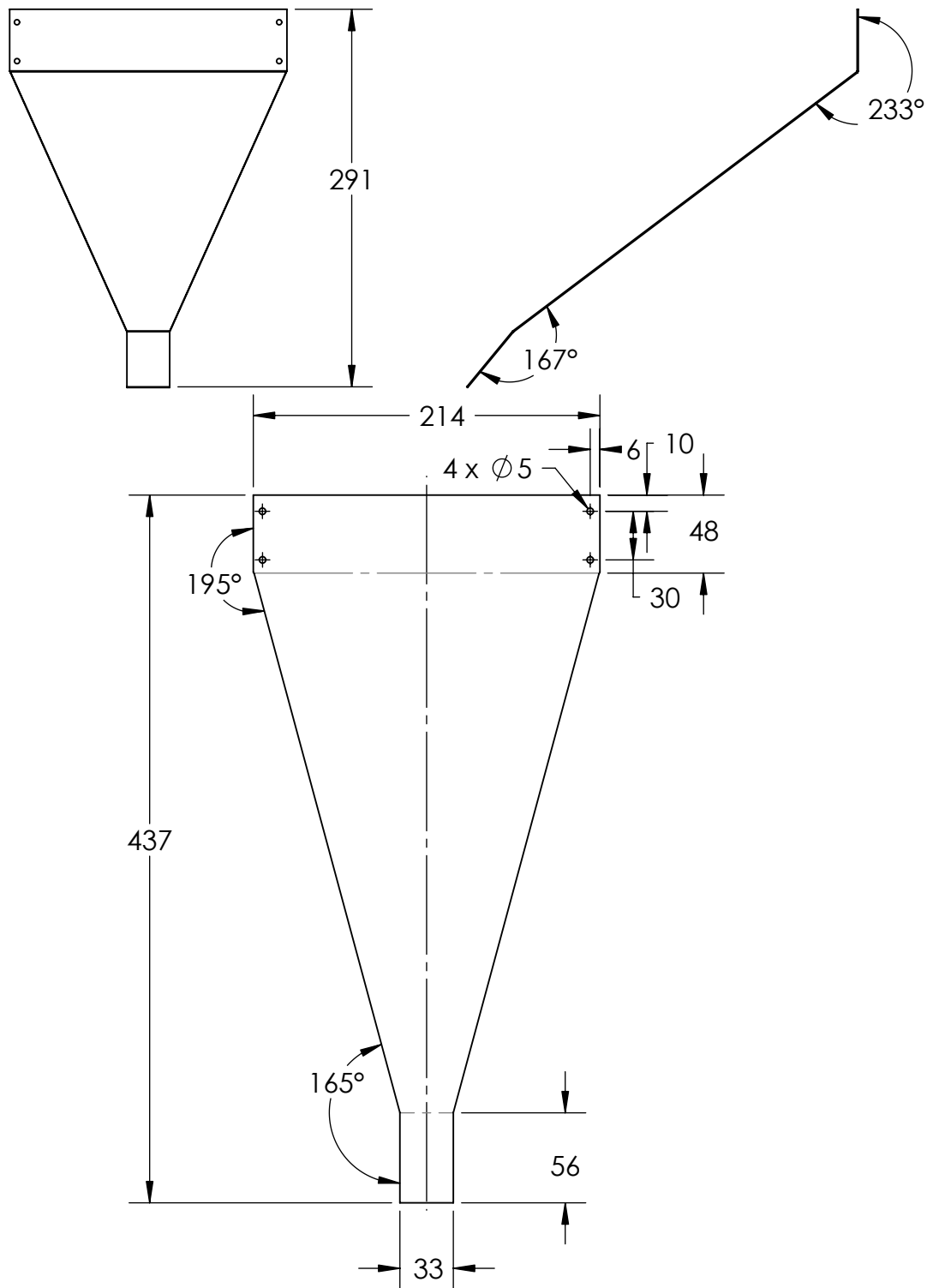



Lateral direita e esquerda possuem a mesma vista planificada porém com dobras opostas

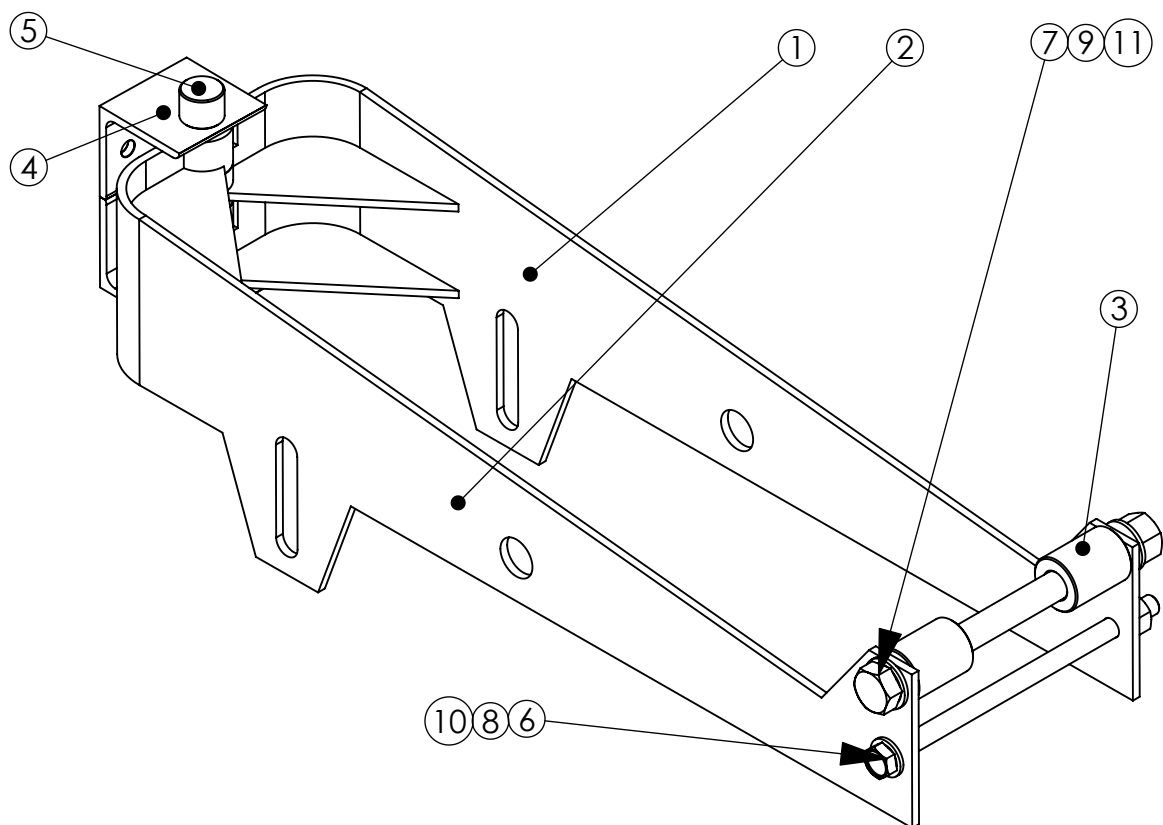
Material		Dimensão	
Chapa de aço		#20 x 353 x 320	
conjunto: Moega - conjunto			
denominação: Lateral da moega			
escala:	1:4	folha:	A4
		código:	03.11



Material		Dimensão	
Chapa de aço		#20 x 304 x 214	
conjunto: Moega - conjunto			
denominação: Chapa frontal da moega			
escala:	1:5	folha:	A4
		código:	03.12



Material		Dimensão	
Chapa de aço		#20 x 537 x 214	
conjunto: Moega - conjunto			
denominação: Chapa traseira da moega			
escala:	1:4	folha:	A4
		código:	03.13



Item	Cod.	Descrição	Qdade
11	-	Arruela lisa 20	2
10	-	Arruela lisa 14	2
9	-	Porca M20x1,5	1
8	-	Porca M14x1,5	1
7	-	Parafuso cab. sextavada M20x1,5 (250 comp. x 20 rosca)	1
6	-	Parafuso cab. sextavada M14x1,5 (250 comp. x 20 rosca)	1
5	04.10	Pino	1
4	04.09	Cantoneira de ligação	2
3	04.08	Tubo separador	2
2	04.02	Braço direito - conjunto	1
1	04.01	Braço esquerdo - conjunto	1

conjunto:  
Semeadora puncionadora

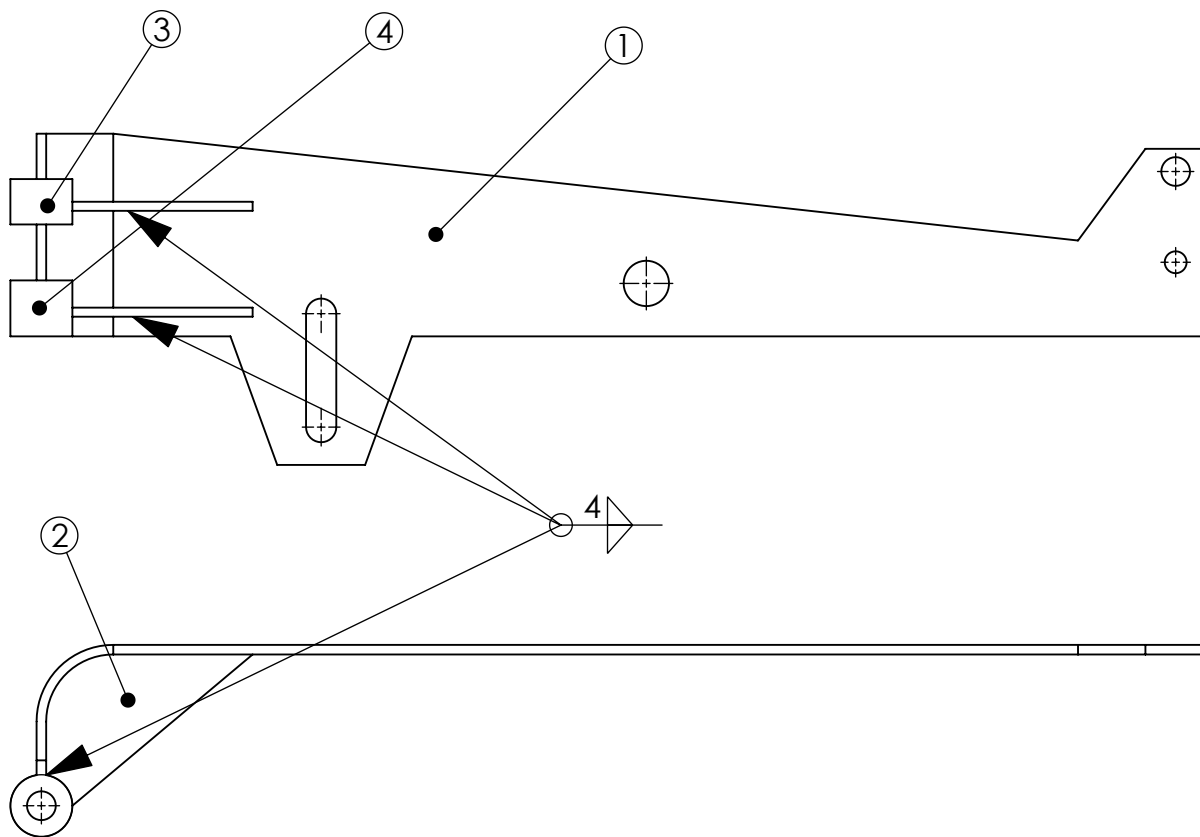
denominação:  
Chassi - conjunto



escala: 1:5

folha: A4

código: 04.00



Item	Cod.	Descrição	Qdade
4	04.07	Tubo maior	1
3	04.06	Tubo menor	1
2	04.05	Apoio	2
1	04.03	Chapa braço esquerdo	1

conjunto:  
Chassi

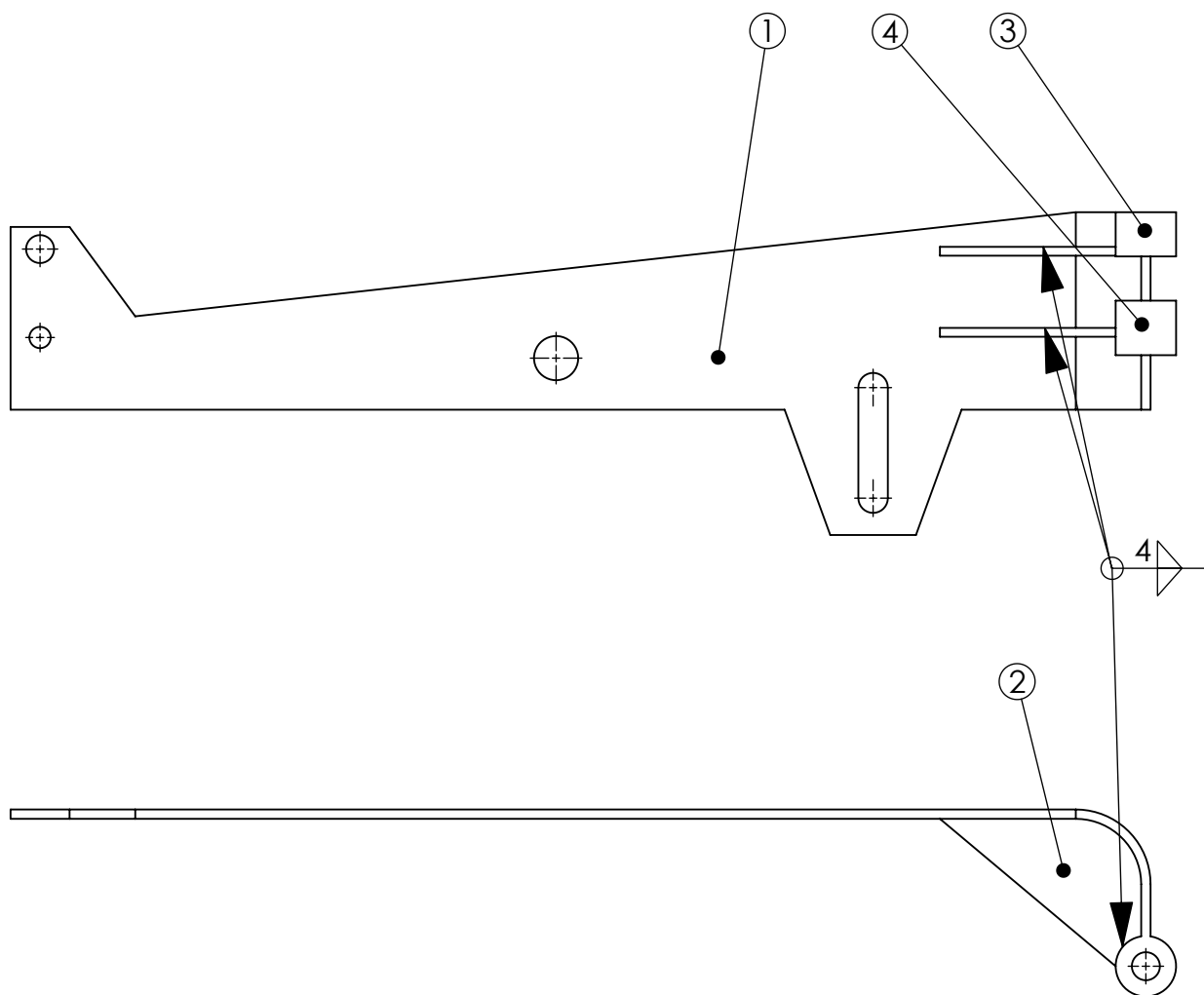
denominação:  
Braço esquerdo conj. solda



escala: 1:5

folha: A4

código: 04.01



Item	Cod.	Descrição	Qdade
4	04.07	Tubo maior	1
3	04.06	Tubo menor	1
2	04.05	Apoio	2
1	04.04	Chapa braço direito	1

conjunto:  
Chassi

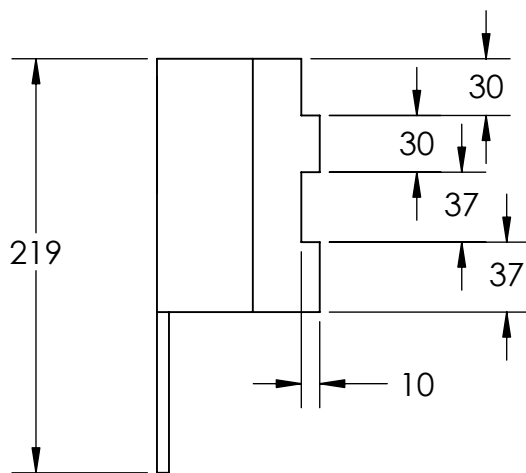
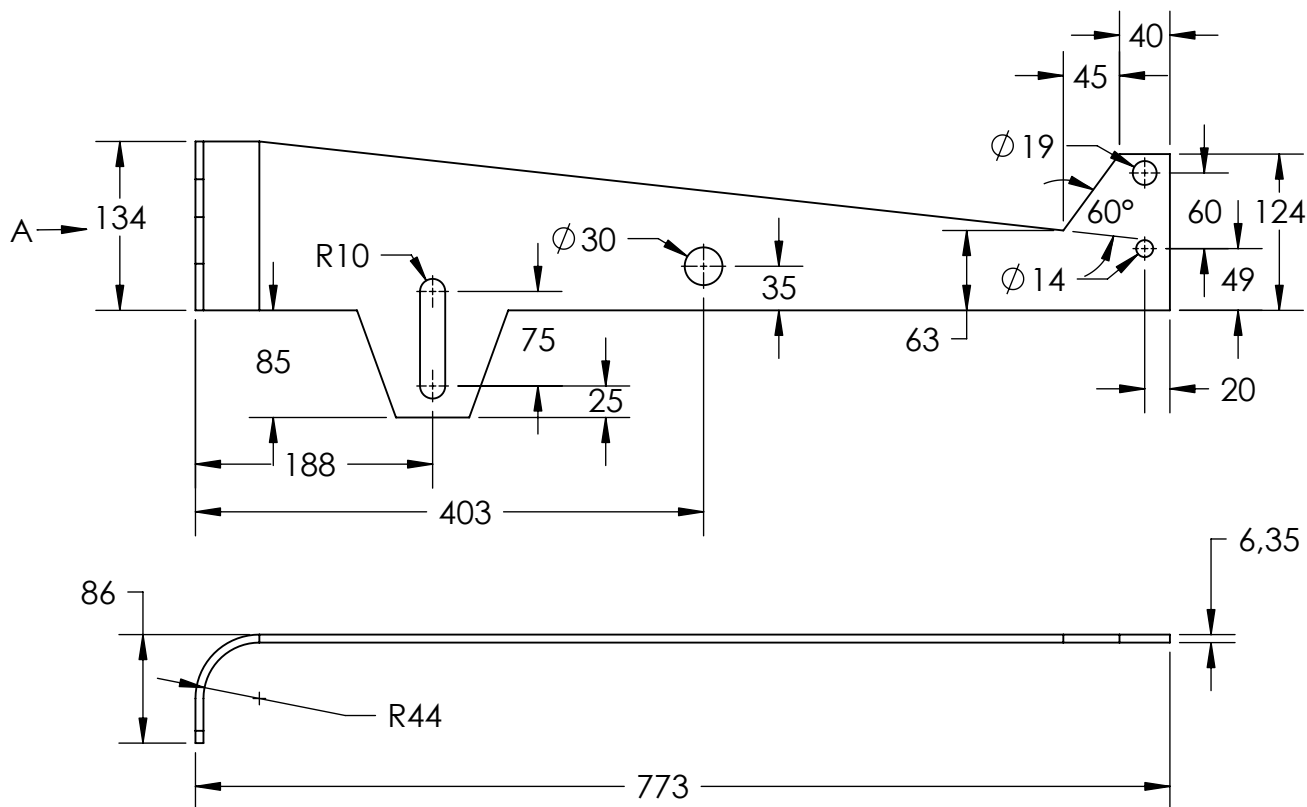
denominação:  
Braço direito - conjunto




escala: 1:5

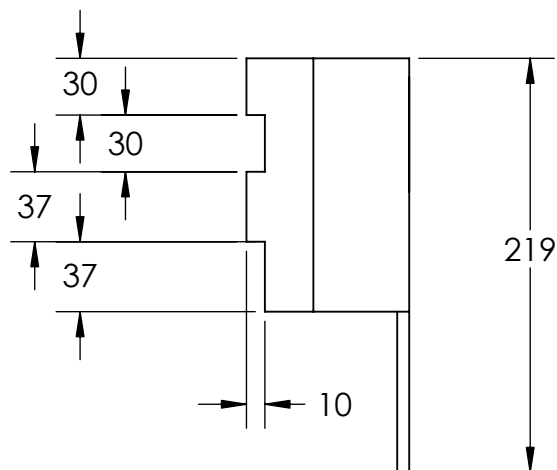
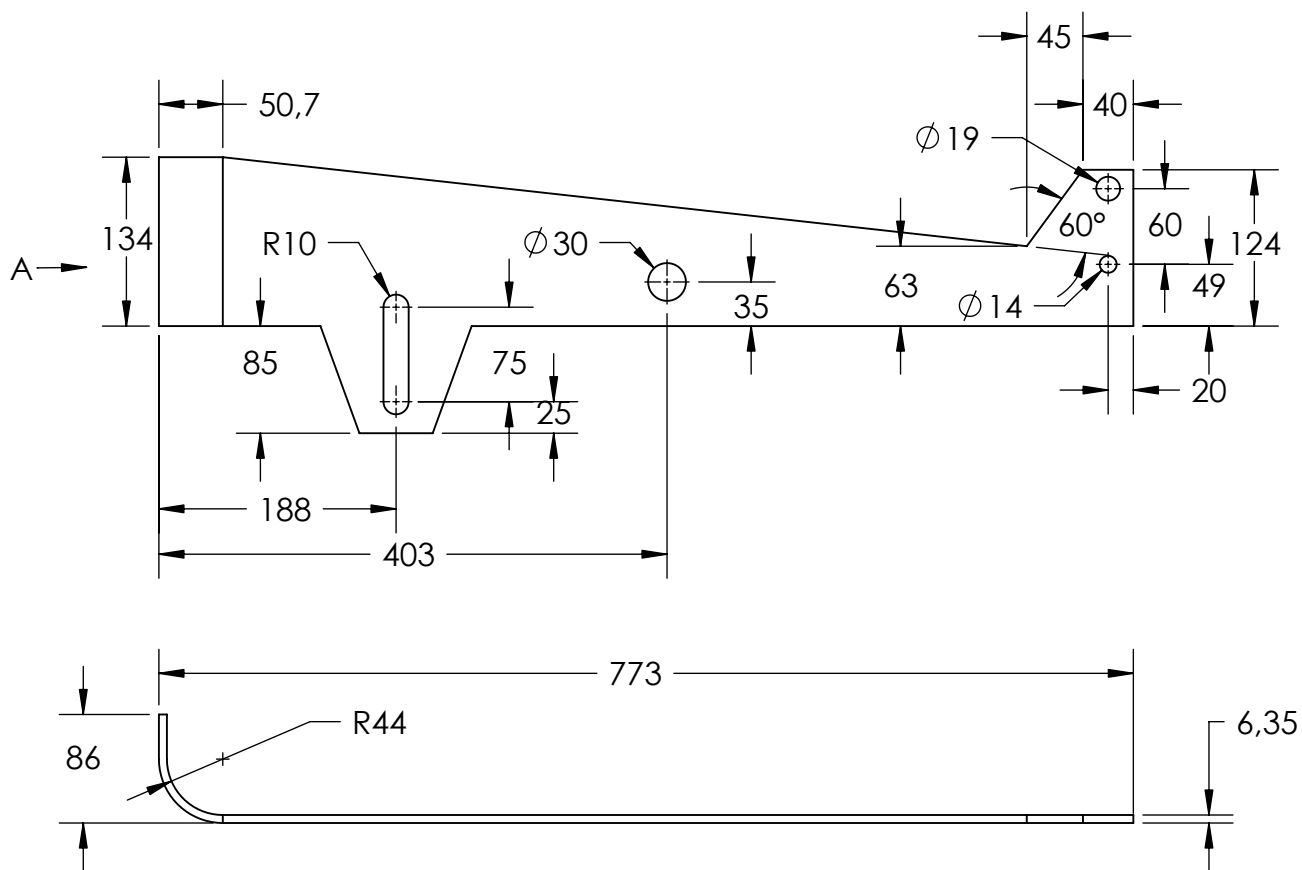
folha: A4

código: 04.02




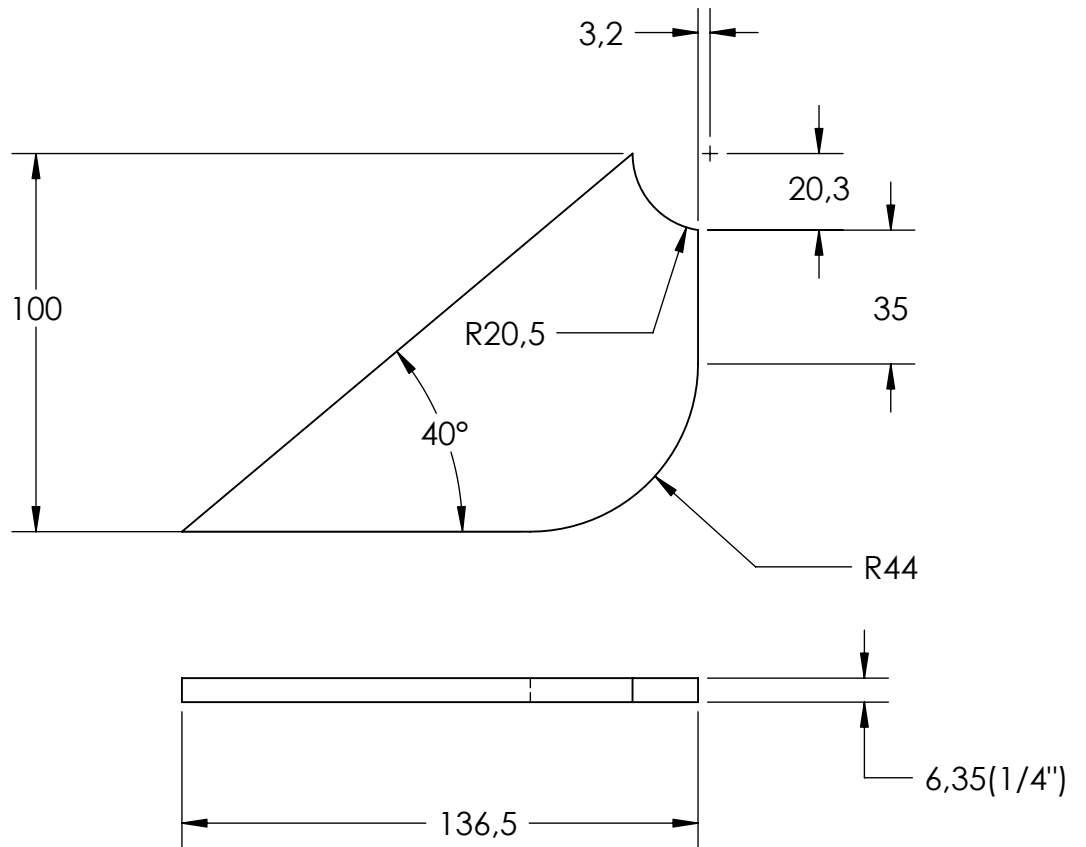
Vista A  
Esc. 1:4


Material		Dimensão	
Chapa		1/4"x 831x219	
conjunto: Braço esquerdo		 DEA-UFV	
denominação: Chapa braço esquerdo			
escala: 1:6	folha: A4	código: 04.03	

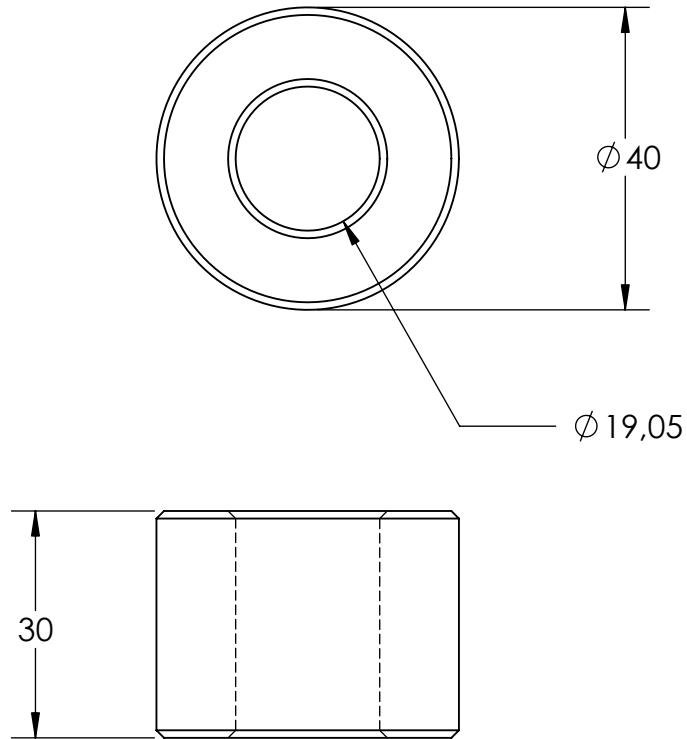


Vsita - A  
Esc. 1:4


Material		Dimensão	
Chapa		1/4"x 831x219	
conjunto: Braço direito		 DEA-UFV	
denominação: Chapa braço direito			
escala:	1:6	folha:	A4
		código:	04.04

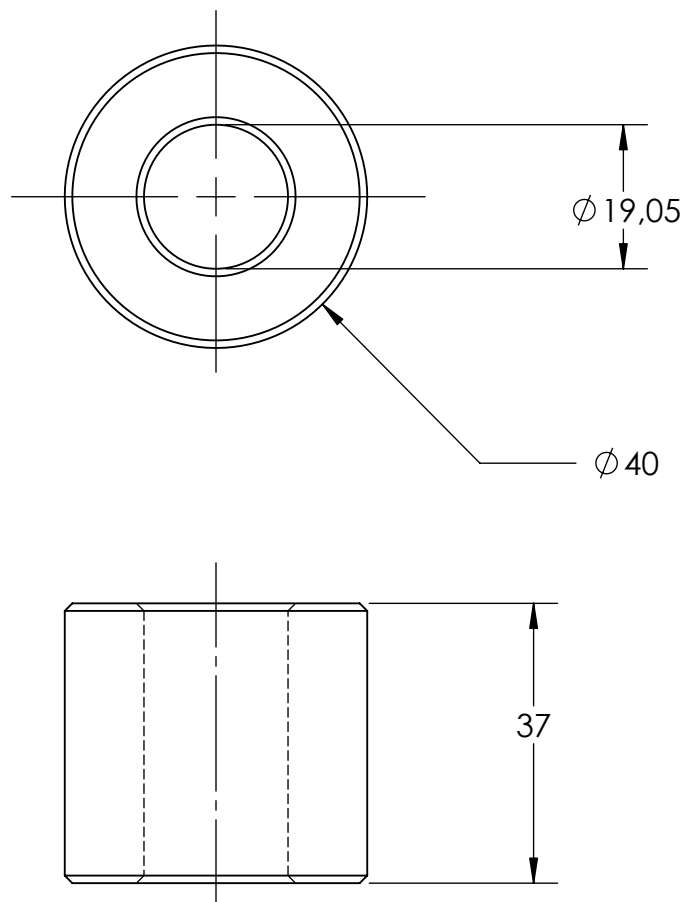


Material		Dimensão	
Chapa		1/4"x 100x137	
conjunto: Braço direito e esquerdo			
denominação: Apoio			
escala: 1:1	folha: A4	código: 04.05	




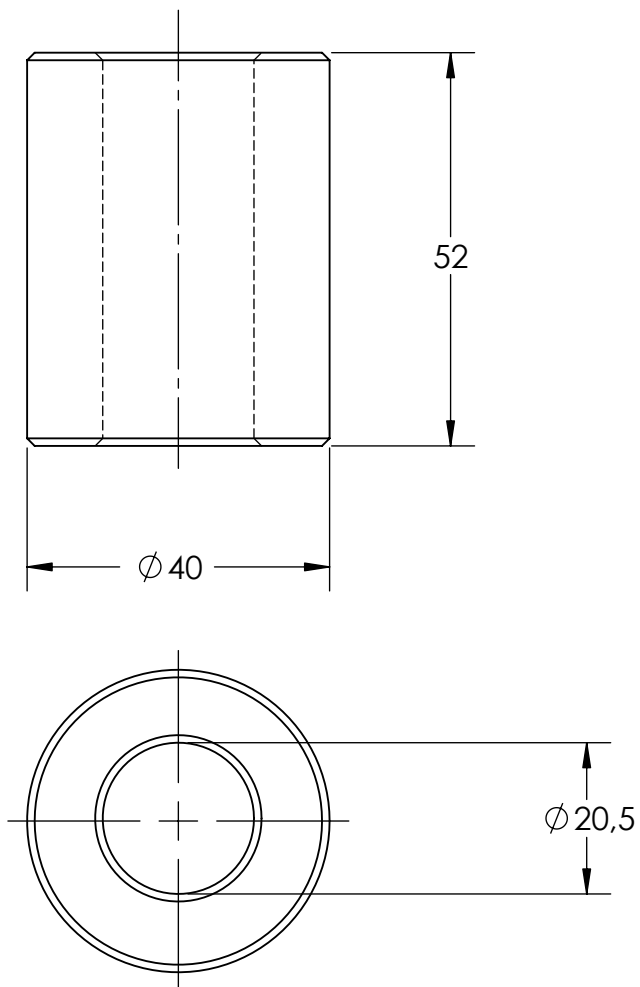
Chanfro de 1x45

Material		Dimensão	
Barra mecânica		1 5/8" x 32	
conjunto: Braço direito e esquerdo		 DEA-UFV	
denominação: Tubo menor			
escala: 1:1	folha: A4	código: 04.06	




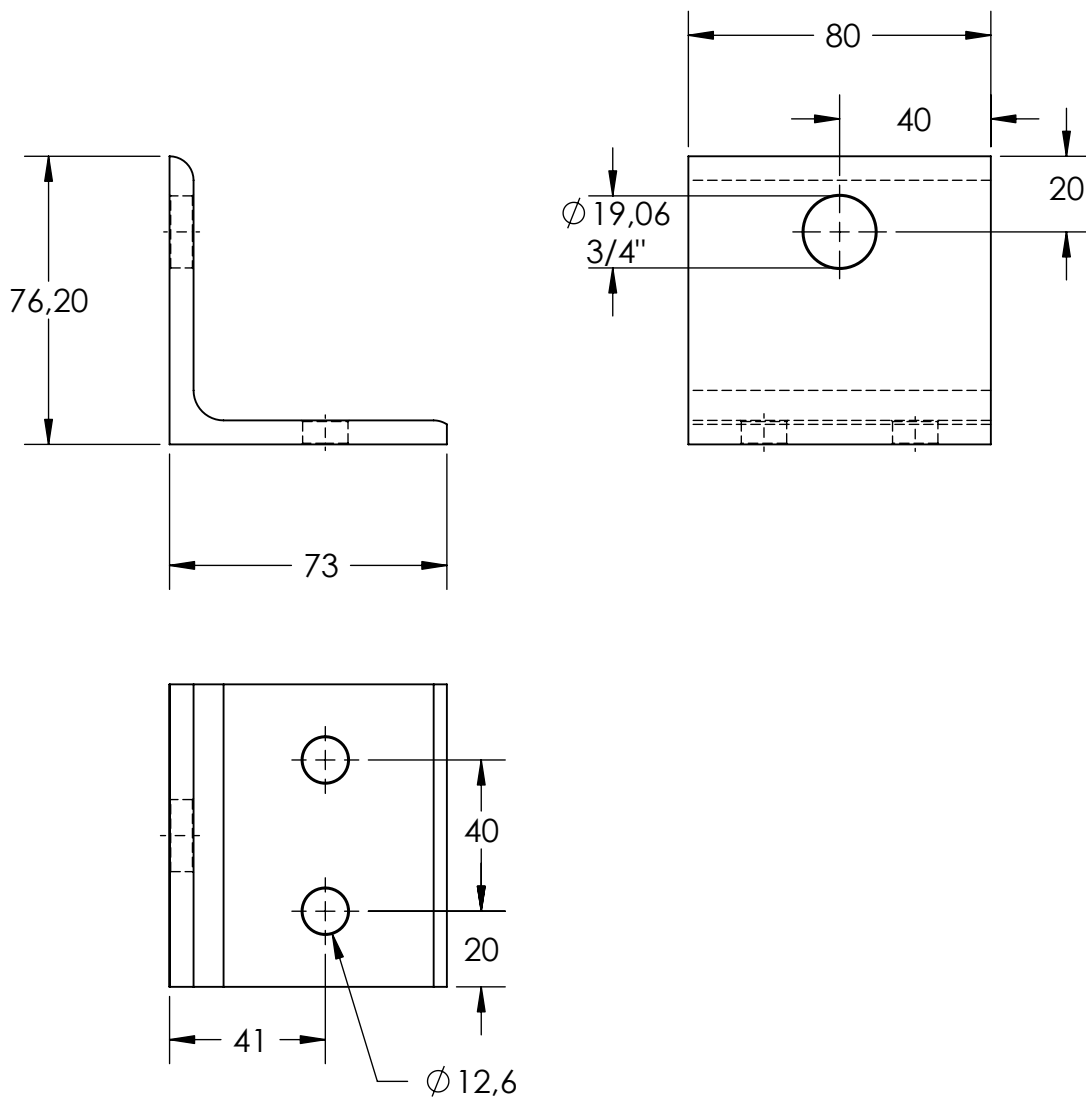
Chanfro de 1x45

Material		Dimensão	
Barra mecânica		1 5/8" x 40	
conjunto: Braço direito e esquerdo		 DEA-UFV	
denominação: Tubo maior			
escala:	1:1	folha:	A4
		código:	04.07




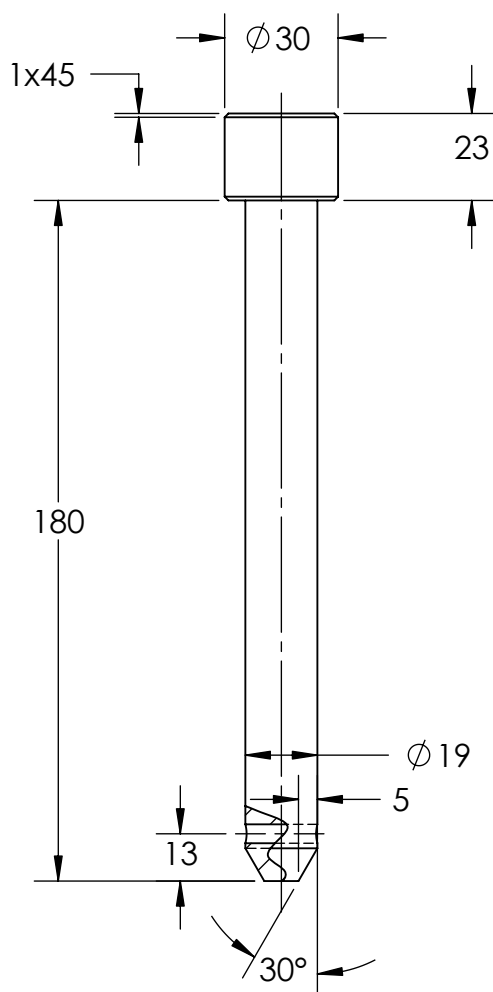
Chanfro 1x45


Material		Dimensão	
Barra chata		2"x52	
conjunto: Chassi			
denominação: Tubo separador			
escala:	1:1	folha:	A4
		código:	04.08

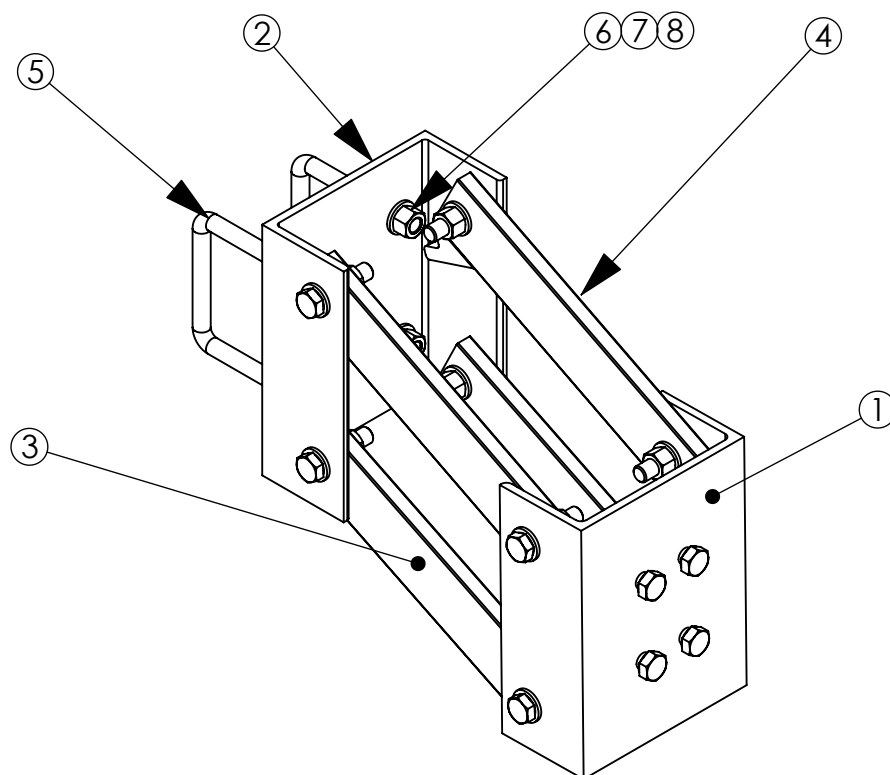


Chanfro 1X45

Material		Dimensão	
Cantoneira		3"x80	
conjunto: Chassi			
denominação: Cantoneira de ligação			
escala:	1:2	folha:	A4
		código:	04.09



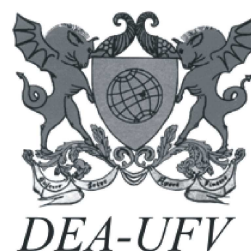
Material		Dimensão	
Barra redonda SAE 1020		1 1/4"x 180	
conjunto: Chassi			
denominação: Pino			
escala: 1:2	folha: A4	código: 04.10	



Item	Cod.	Descrição	Qdade
8	-	Porca M12	16
7	-	Arruela 12mm	24
6	-	Parafuso M12	12
5	05.05	Grampo de fixação	2
4	05.04	Braço com apoio - conjunto	2
3	05.03	Braço	2
2	05.02	Base dianteira	1
1	05.01	Base traseira	1

conjunto:  
Mecanismo pantográfico

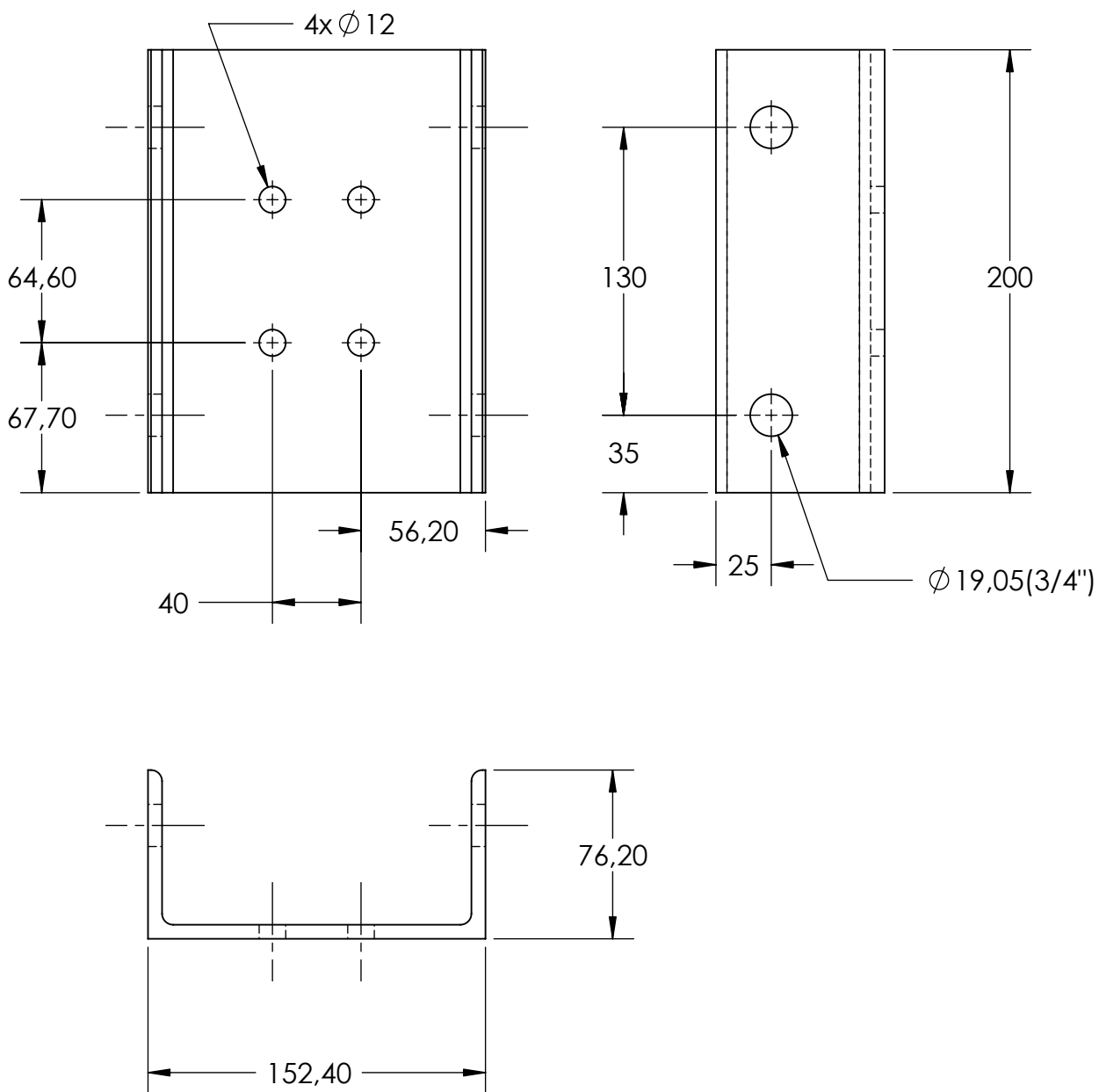
denominação:  
Conjunto




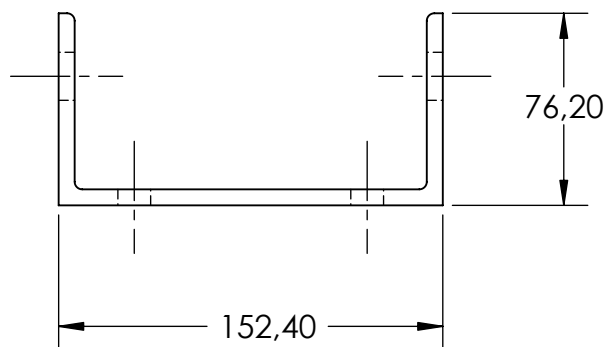
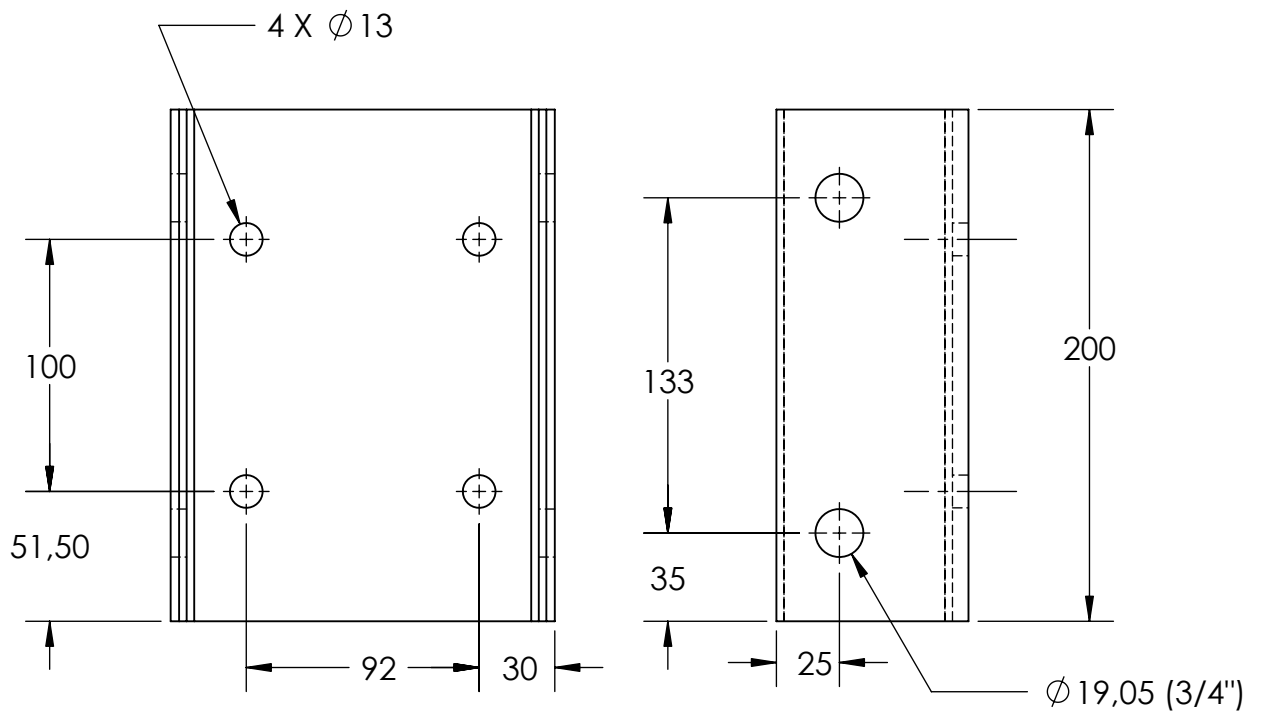
escala: 1:5


folha: A4

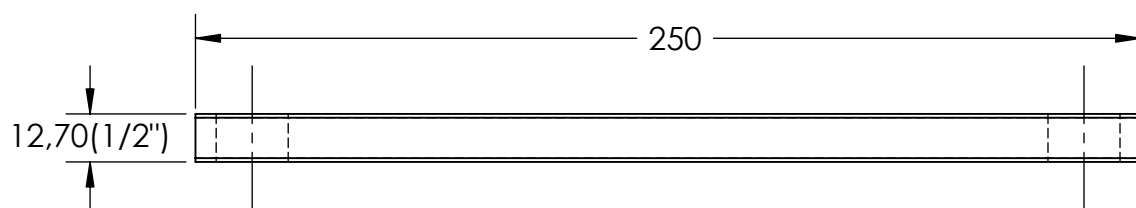
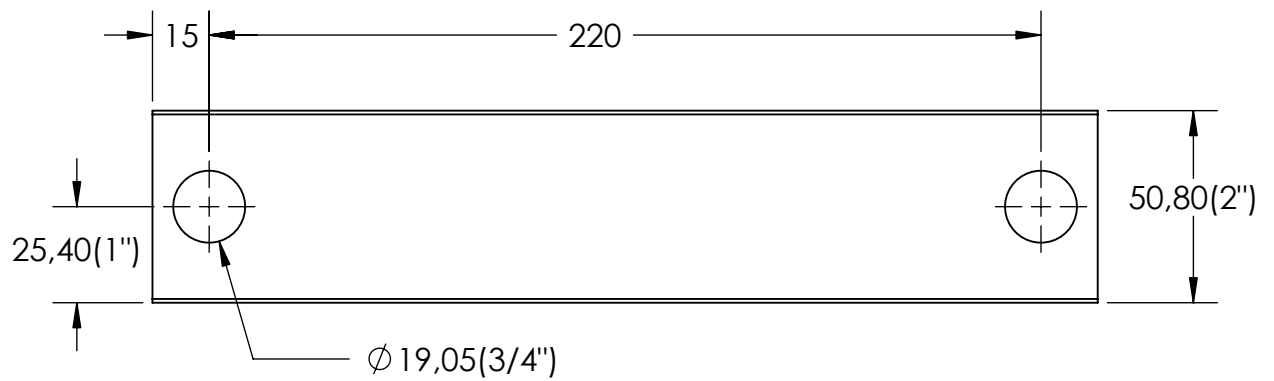
código: 05.00




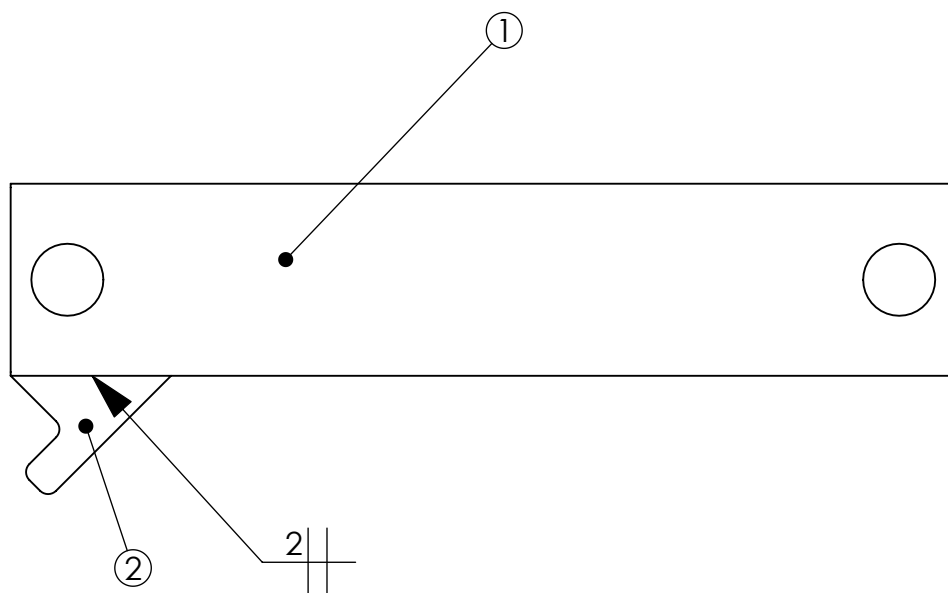
Material		Dimensão	
Perfil U		6"x3"x200	
conjunto: Mecanismo pantográfico		 DEA-UFV	
denominação: Base traseira			
escala:	1:3	folha:	A4
		código:	05.01



Material		Dimensão	
Perfil U		6"x3"x200	
conjunto: Mecanismo pantográfico			
denominação: Base dianteira			
escala:	1:3	folha:	A4
		código:	05.02



Material		Dimensão
Barra chata		2" x 1/2" x 250
conjunto: Mecanismo pantográfico		
denominação: Braço		
escala: 1:2	folha: A4	código: 05.03



Item	Cod.	Descrição	Qdade
2	05.06	Apoio	1
1	05.03	Braço	1

conjunto:  
Mecanismo pantográfico

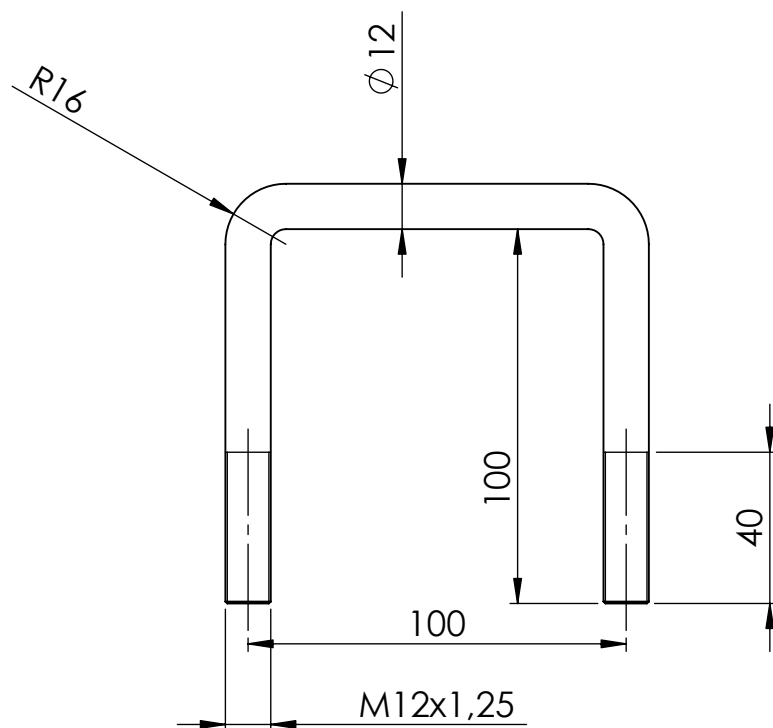
denominação:  
Braço com apoio




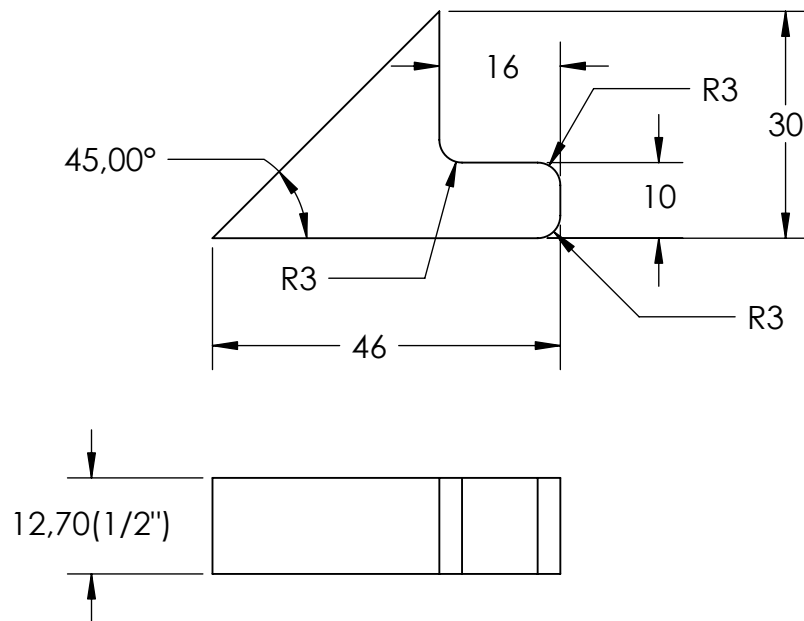
escala: 1:2


folha: A4

código: 05.04



Material		Dimensão	
Barra SAE 1020		12 x 312	
conjunto: Mecanismo pantográfico			
denominação: Grampo de fixação			
escala:	1:2	folha:	A4
		código:	05.05



Material		Dimensão	
Barra chata		2"x 1 1/2"x46	
conjunto: Braço com apoio			
denominação: Apoio			
escala: 1:1	folha: A4	código: 05.06	