

Eduardo Prisco Angelo

**PROJETOS DE DOSADORES MECÂNICOS E PNEUMÁTICOS PARA A  
SEMEADURA MECANIZADA DE AMENDOIM**

Buri  
2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRONÔMICA

Eduardo Prisco Angelo

**PROJETOS DE DOSADORES MECÂNICOS E PNEUMÁTICOS PARA A  
SEMEADURA MECANIZADA DE AMENDOIM**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Agrônômica para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Orientação: Prof. Dr. Murilo A. Voltarelli

Buri - SP  
Junho / 2020

ANGELO, Eduardo Prisco. PROJETOS DE DOSADORES MECÂNICOS E PNEUMÁTICOS PARA A SEMEADURA MECANIZADA DE AMENDOIM. 2020.  
65f. Trabalho de Conclusão de Curso Graduação em Engenharia Agrônômica –  
Universidade Federal de São Carlos, Buri, 2020.

EDUARDO PRISCO ANGELO

PROJETOS DE DOSADORES MECÂNICOS E PNEUMÁTICOS PARA  
A SEMEADURA MECANIZADA DE AMENDOIM

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
como requisito parcial à obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Agrônoma pela  
Universidade Federal de São Carlos.

Aprovado em: 22/06/2020.

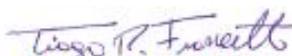
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Murilo Ap. Voltarelli  
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)



Prof. Dr. Jonathan Gazzola  
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)



Prof. Dr. Tiago R. Francetto  
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

*Dedico este trabalho a todos os meus familiares e amigos que puderam contribuir com minha trajetória na graduação até o presente momento. Em especial, meus pais Rosinei e Márcio e irmãos João e Maryana que mesmo em momentos difíceis, nunca deixaram de me apoiar. Sou eternamente grato por tudo!*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço minha família por ser minha base em todos os momentos da faculdade.

Agradeço ao meu Professor Murilo Aparecido Voltarelli por todos os momentos de aprendizagem, orientação, paciência e comprometimento com meus trabalhos acadêmicos. Afirmo que você foi fundamental para o meu amadurecimento profissional e pessoal. Meu muito obrigado por tudo!

Agradeço a COPLANA – Cooperativa Agroindustrial de Jaboticabal pelo apoio e fornecimento das sementes de amendoim, esse trabalho só foi possível em função deste patrocínio.

Agradeço ao pessoal do LAMMA – Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola da UNESP de Jaboticabal por todo o apoio e oportunidades que me ofereceram em especial ao Professor Rouverson Pereira.

Agradeço ao meu primo Pedro Guilherme Nonis por fazer parte de toda minha trajetória e sempre me apoiar!!!

Agradeço aos meus tios e tias, em especial ao Maurício e Jorge por sempre me alegrar e somar em todos os momentos da minha vida! Aos meus avós Maria e Antônio e Nair e Prisco por todo o carinho e força!

Agradeço a todos meus amigos de graduação, em especial ao Celsinho Ricardo e João Pedro Rebite por todos os momentos juntos, com certeza vocês fizeram grande diferença em minha vida!!

Agradeço a minha namorada Lais Saldanha por fazer parte do meu desenvolvimento profissional e pessoal, obrigado também pelo carinho e apoio!!

**O meu mais nobre e sincero Muito Obrigado.**

## RESUMO

ANGELO, Eduardo Prisco. PROJETOS DE DOSADORES MECÂNICOS E PNEUMÁTICOS PARA A SEMEADURA MECANIZADA DE AMENDOIM. 2020.65f. Trabalho de Conclusão de Curso Graduação em Engenharia Agrônômica – Universidade Federal de São Carlos, Buri, 2020.

A cultura do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) está propiciando ganhos importantes para o país. No entanto, embora haja um o aumento de área semeada no país ao decorrer dos anos, a necessidade de se aumentar a produtividade também cresce. Para isso, o desenvolvimento de mecanismos dosadores específicos para a cultura é de grande importância, uma vez que a utilização de discos dosadores padrões para a cultura pode favorecer injúrias mecânicas e falhas nas deposições de sementes. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi projetar dois mecanismos dosadores de sementes de amendoim. Com a caracterização dos parâmetros lineares e físicos das sementes foi possível determinar a mecânica de enchimento dos alvéolos para o disco alveolado, e com os dados de densidades de semeadura (12; 15; 17 e 20 sementes  $m^{-1}$ ) juntamente com velocidades de deslocamento da máquina (4,00; 5,00 e 6,00  $km\ h^{-1}$ ) determinou-se a pressão negativa do sistema pneumático. De acordo com as análises da mecânica de enchimento dos alvéolos, a velocidade tangencial base que o disco alveolar deve conter para dosar as três variedades foi de 43,65 rpm. Por outro lado, com a determinação da pressão negativa foi possível constatar que há uma variação a cerca de 10,4 kPa de pressão entre a menor e a maior média da velocidade de 4,0  $km\ h^{-1}$  em relação ao número de sementes por metro, já para as velocidades de trabalho de 5,0 e 6,0  $km\ h^{-1}$  as variações das médias foram de 16,4 e 22,7 kPa, respectivamente. Dessa forma, os parâmetros utilizados para o dimensionamento dos mecanismos foram dimensões lineares e a área projetada das sementes. Os mecanismos dosadores foram elaborados no *software* AutoCAD® e impressos por meio de uma impressora 3D.

**Palavras-chave:** *Arachis hypogaea* L. AutoCAD. Projetos de máquinas agrícolas.

## ABSTRACT

ANGELO, Eduardo Prisco. PROJECTS OF MECHANICAL AND PNEUMATIC DOSERS FOR MECHANIZED SEEDING PEANUT. 2020.65f. Completion of Course Work. Graduation in Agronomic Engineering – Federal University of São Carlos, Buri, 2020.

The cultivation of peanuts (*Arachis hypogaea* L.) is providing important gains for the country. However, although there has been an increase in the area sown in the country over the years, the need to increase productivity also grows. For this, the development of specific dosing mechanisms for the crop is of great importance, since the use of standard dosing discs for the crop can favor mechanical injuries and failures in the deposition of seeds. In this context, the objective of this work was to design two peanut seed dosing mechanisms. With the characterization of the linear and physical parameters of the seeds it was possible to determine the mechanics of filling the alveoli for the honeycomb disk, and with the data of sowing densities (12; 15; 17 and 20 seeds m<sup>-1</sup>) together with displacement speeds of the machine (4.00; 5.00 and 6.00 km h<sup>-1</sup>) the negative pressure of the pneumatic system was determined. According to the analysis of the filling mechanics of the alveoli, the base tangential velocity that the alveolar disk must contain to dose the three varieties was 43.65 rpm. On the other hand, with the determination of the negative pressure it was possible to verify that there is a variation of about 10.4 kPa of pressure between the lowest and the highest average speed of 4.0 km h<sup>-1</sup> in relation to the number of seeds per meter, for the working speeds of 5.0 and 6.0 km h<sup>-1</sup> the variations of the averages were 16.4 and 22.7 kPa, respectively. Thus, the parameters used for dimensioning the mechanisms were linear dimensions and the projected area of the seeds. The metering mechanisms were developed using AutoCAD® software and printed using a 3D printer.

**Keywords:** *Arachis hypogaea* L. AutoCAD. Agricultural machinery project.

## LISTAS DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Dosador de disco alveolado horizontal. ....	17
<b>Figura 2.</b> Disco alveolado.....	17
<b>Figura 3.</b> Dosador apanhador com auxílio pneumático.....	18
<b>Figura 4.</b> Representação das principais etapas de impressão 3D. ....	21
<b>Figura 5.</b> Desenho esquemático dos grãos de amendoim considerados esferoides triaxiais. ....	22
<b>Figura 6.</b> Ferramenta ‘Circle’ selecionada e disco cotado. ....	43
<b>Figura 7.</b> Ferramenta ‘Elliptical Arc’ selecionada para a construção da elipse. ....	44
<b>Figura 8.</b> Distância de 0,75 centímetros descontados do raio total. ....	44
<b>Figura 9.</b> Alvéolo espaçado e centralizado no disco. ....	45
<b>Figura 10.</b> Ferramenta ‘Polar Array’ selecionada. ....	46
<b>Figura 11.</b> Interface da ferramenta ‘Polar Array’ especificada com 28 células. ....	46
<b>Figura 12.</b> Furo e diâmetros do design cotados no disco. ....	47
<b>Figura 13.</b> Ângulo das linhas de centro cotadas e ferramentas selecionadas. ....	48
<b>Figura 14.</b> Plataforma 3D e alvéolos com alturas arbitrárias. ....	48
<b>Figura 15.</b> Rebaixo de 0,5 centímetros no verso do disco.....	49
<b>Figura 16.</b> Disco mecânico 3D com a ferramenta ‘Solid Subtract’ selecionada. ....	50
<b>Figura 17.</b> Linhas cotadas para execução do disco dentado. ....	51
<b>Figura 18.</b> Distância e alvéolo cotados.....	51
<b>Figura 19.</b> Furos e diâmetro de designs cotados.....	52
<b>Figura 20.</b> Espessuras estabelecidas ao disco e ao diâmetro de design.....	53
<b>Figura 21.</b> Disco com chanfro no diâmetro de design e orifícios subtraídos. ....	53
<b>Figura 22.</b> Chanfro formado no verso do disco.....	54
<b>Figura 23.</b> Disco pneumático 3D, com dentes engrenados. ....	54
<b>Figura 24.</b> Disco mecânico com margem de 15% e inclinação de 20°. ....	55
<b>Figura 25.</b> Disco mecânico com margem de 15% e inclinação de 25°. ....	55
<b>Figura 26.</b> Disco mecânico com margem de 15% e inclinação de 30°. ....	56
<b>Figura 27.</b> Disco mecânico com margem de 15% e inclinação de 45°. ....	56
<b>Figura 28.</b> Disco mecânico com margem de 20% e inclinação de 20°. ....	56
<b>Figura 29.</b> Disco mecânico com margem de 20% e inclinação de 25°. ....	57
<b>Figura 30.</b> Disco mecânico com margem de 20% e inclinação de 30°. ....	57
<b>Figura 31.</b> Disco mecânico com margem de 20% e inclinação de 45°. ....	57

<b>Figura 32.</b> Disco mecânico com alvéolo circular. ....	58
<b>Figura 33.</b> Disco pneumático com 10% da área projetada. ....	58
<b>Figura 34.</b> Disco pneumático com 15% da área projetada. ....	58
<b>Figura 35.</b> Disco pneumático com 20% da área projetada. ....	59
<b>Figura 36.</b> Disco pneumático com 30% da área projetada. ....	59
<b>Figura 37.</b> Disco pneumático com 35% da área projetada. ....	59
<b>Figura 38.</b> Disco pneumático com 40% da área projetada. ....	60

## LISTAS DE TABELAS

Tabela 1. Estatística descritiva dos parâmetros da variedade Granoleico.....	31
Tabela 2. Teste de correlação de Pearson entre os parâmetros da variedade Granoleico. .....	33
Tabela 3. Estatística descritiva dos parâmetros da variedade IAC OL3. ....	34
Tabela 4. Teste de correlação de Pearson entre os parâmetros da variedade IAC OL3. .	35
Tabela 5. Estatística descritiva dos parâmetros da variedade IAC 503.....	36
Tabela 6. Teste de correlação de Pearson entre os parâmetros da variedade IAC 503. .	37
Tabela 7. Massa de 1000 sementes.....	37
Tabela 8. Umidade das sementes.....	38
Tabela 9. Média dos centros de massas das variedades. ....	38
Tabela 10. Dimensão mínima para os diâmetros dos alvéolos.....	39
Tabela 11. Cálculos da velocidade relativa operacional das sementes.....	39
Tabela 12. Determinação da força de sucção em função do número de sementes por metros e velocidade de trabalho (km h-1). ....	40
Tabela 13. Demonstração das forças de atrito das variedades. ....	40
Tabela 14. Demonstração da pressão negativa do sistema.....	41

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>15</b>
2.1	AMENDOIM .....	15
2.2	SEMEADORAS-ADUBADORAS .....	16
2.3	MECANISMOS DOSADORES DE SEMENTES .....	17
2.4	REQUISITOS DE PROJETO .....	19
2.4.1	MECÂNICA DE ENCHIMENTO DOS ALVÉOLOS.....	19
2.4.2	DETERMINAÇÃO DA PRESSÃO NEGATIVA.....	20
2.4.3	PROJETOS DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS COM AUXÍLIO DE SOFTWARES.....	21
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>22</b>
3.1	DIMENSÕES LINEARES DAS SEMENTES.....	22
3.2	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DAS SEMENTES .....	23
3.2.1	DIÂMETRO DA ESFERA EQUIVALENTE .....	23
3.2.2	VOLUME DA SEMENTE .....	23
3.2.3	ESFERICIDADES DAS SEMENTES .....	23
3.2.4	CIRCULARIDADE DA SEMENTE .....	24
3.2.5	ÁREA PROJETADA DA SEMENTE.....	24
3.2.6	EXCENTRICIDADE.....	24
3.2.7	MASSA ESPECÍFICA UNITÁRIA .....	25
3.2.8	UMIDADE DOS GRÃOS.....	25
3.2.9	MASSA DE 1000 SEMENTES .....	25
3.3	MECÂNICA DE ENCHIMENTO DOS ALVÉOLOS.....	26
3.4	DETERMINAÇÃO DA PRESSÃO NEGATIVA.....	28
<b>4</b>	<b>ANÁLISE DOS DADOS .....</b>	<b>30</b>
4.1	ESTATÍSTICA DESCRITIVA.....	30
4.2	CORRELAÇÃO DE PEARSON .....	30
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>31</b>
5.1	ANÁLISE DA ESTATÍSTICA DESCRITIVA .....	31
5.2	ANÁLISE DA MECÂNICA DE ENCHIMENTO DOS ALVÉOLOS .....	38
5.3	ANÁLISE DA DETERMINAÇÃO DA PRESSÃO NEGATIVA PARA O MECANISMO PNEUMÁTICO .....	39
5.4	PARÂMETROS PARA O PROJETO DOS PROTÓTIPOS DOS DISCOS DOSADORES .....	42
5.4.1	ELABORAÇÃO DO MECANISMO DOSADOR POR MEIO DO AUTOCAD .....	42
5.4.2	ELABORAÇÃO DO MECANISMO DOSADOR MECÂNICO .....	43
5.4.3	ELABORAÇÃO DO MECANISMO DOSADOR PNEUMÁTICO .....	50
5.5	PROTÓTIPOS DOS DISCOS DOSADORES .....	55
5.5.1	PROTÓTIPOS DO MECANISMO DOSADOR MECÂNICO.....	55
5.5.2	PROTÓTIPOS DO MECANISMO DOSADOR PNEUMÁTICO.....	58
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>61</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>62</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A cultura do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) tem sido destaque no cenário nacional há décadas. Essa liderança é fruto das diversas interações entre produtores, pesquisadores e instituições de ensino e pesquisa envolvidos desde a produção a campo até a comercialização do produto, que por ser autossuficiente, a produção nacional ganha espaço no mercado externo (IEA, 2019).

A busca por novas fontes alternativas de combustíveis pode garantir ainda mais espaço no cenário econômico brasileiro, em razão de ser uma oleaginosa. Os óleos provenientes de produtos vegetais surgem como uma alternativa para uma substituição aos tradicionais combustíveis originados do petróleo (FERRARI et al., 2005).

Um dos principais fatores que condicionam a cultura no campo é a produtividade. Esta é uma medida que avalia a eficácia e a racionalidade das atividades realizadas em determinado período de tempo, isto é, aumentar a produção com os mesmos recursos utilizados (RATTNER, 1967). Para o amendoim, a produtividade está diretamente associada à produção de vagens, que por sua vez está atrelada com os tratamentos culturais.

Romanini Junior (2007) ao estudar a densidade de plantio e o número de vagens por planta constatou uma relação antagônica entre os fatores, indicando que tal componente de produção é o mais afetado pelo aumento da população de plantas. A competição por água, luz e nutrientes também é intensificada com o acúmulo de plantas, ocasionando uma redução da produção individual e desenvolvimento das plantas mais altas, sujeitas ao acamamento (TOURINO et al., 2002).

Em contrapartida, as falhas entre plantas na linha de semeadura favorecem o processo de erosão do solo e desenvolvimento de plantas invasoras (EMBRAPA, 2005). Dessa forma, é possível afirmar que a dosagem e distribuição das sementes pelas semeadoras podem ser determinantes para produtividade da cultura (FRANCETTO et al., 2015). A eficiência do processo de dosagem de sementes consiste na sua distribuição uniforme, de acordo com os padrões recomendados para a cultura (MERCANTE et al., 2005).

É conhecido o fato de que a semente de amendoim não possui regularidade quanto à forma e tamanho, variando conforme as variedades existentes no mercado.

Dessa forma, a utilização de discos dosadores tradicionais pode desacomodar as sementes durante a semeadura mecanizada, impedindo as semeadoras de alcançar um mínimo de 90% de espaçamentos adequados (COELHO, 1996).

A semente de amendoim possui uma proteção bastante eficiente, mas quando não está bem acomodada no disco dosador pode ser descascada em função do atrito com o disco, exibindo um tegumento delicado que a torna bastante sensível à injúria mecânica. Além disso, seu tecido de reserva predominante exalbuminoso agrava os problemas causados pela injúria mecânica devido a sua rápida deterioração (CARVALHO E NAKAGAWA, 1983). Os efeitos da injúria mecânica somente são verificados quando ela é drástica, chegando a partir das sementes, porém ocorre que os efeitos latentes dessa injúria, mesmo que superficial, apesar de não afetarem prontamente a germinação, causam reduções no vigor e no potencial de armazenamento das sementes (BAUDET et al., 1978).

Portanto, a criação de mecanismos dosadores específicos para as variedades mais cultivadas é essencial para o condicionamento eficaz da cultura no campo, podendo contribuir com maiores produtividades garantindo retorno financeiro para o produtor e elevando a importância da cultura no país.

Em função disso, pressupondo que as falhas na semeadura mecanizada de amendoim são decorrentes da ausência de mecanismos dosadores adequados para melhor acomodar as sementes nos alvéolos. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi projetar dois mecanismos dosadores de sementes de amendoim.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Amendoim

Atualmente, o amendoim vem ganhando nova expressividade no mercado nacional em relação à produção de óleo e de subprodutos, em razão das adoções de sistemas de produções tecnificados e de investimentos em novas cultivares, responsáveis pela alta qualidade do produto final (EMBRAPA, 2009). De acordo com os dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a estimativa da safra de 2019/2020 em área plantada de amendoim foi de 141,1 mil ha para o estado de São Paulo, e totalizou 150,4 mil ha no país. Logo, a produção de grãos foi estimada em 471,7 mil t no estado paulista, e 503,7 mil t no país. Dessa forma, a produtividade alcançou cerca de 3.343 kg ha<sup>-1</sup> no estado paulista e 3.349 kg ha<sup>-1</sup> no país, totalizando um aumento de 10,3% em relação a safra anterior.

Para o estabelecimento do amendoim no campo alguns fatores se tornam fundamentais, dentre eles, está a temperatura. Por sua vez, tanto o florescimento quanto a maturação dos frutos estão diretamente associados a esse fator. Por possuir um mecanismo fotossintético do tipo C3, a cultura apresenta uma temperatura de taxa fotossintética líquida máxima de 30°C, podendo comprometer o poder de germinação quando estão submetidas a temperaturas abaixo de 18°C (EMBRAPA, 2009).

A classe textural de solo recomendada para a cultura é a arenosa ou franco-arenosa devido à maior facilidade de desenvolvimento das vagens em subsuperfície e por apresentar menores índices de perdas de colheita mecanizada (GODOY et al., 2014). A semeadura da cultura no estado de São Paulo se inicia basicamente em dois momentos, na safra das águas, situada entre os meses de setembro/outubro e a safra das secas, janeiro/fevereiro (EMBRAPA, 2009).

Em sua grande maioria, no estado paulista, a produção de amendoim se estabelece com a mecanização do processo agrícola. A inserção de máquinas agrícolas na cultura proporciona um aumento em área plantada consolidando um processo uniforme, rápido e econômico, que viabiliza e impulsiona a produção nacional bem como potenciais ganhos em produtividade.

## 2.2 Semeadoras-adubadoras

Quanto à forma de distribuição das sementes no solo, as semeadoras são classificadas em dois modelos, semeadoras de precisão e de fluxo contínuo. A semeadora de fluxo contínuo distribui as sementes no solo de forma contínua, onde ocorre a deposição por meio do volume ou massa das sementes (ABNT, 1987). Já, a semeadora de precisão distribui as sementes de acordo com a densidade de semeadura pré-estabelecida da cultura (ABNT, 1994). Esse último modelo é o mais utilizado para a cultura do amendoim, uma vez que tem a função de abrir o sulco, dosar e distribuir a semente, logo em seguida, cobri-la com solo e compacta-lo para garantir o bom contato solo-semente (PANNING et al., 2000).

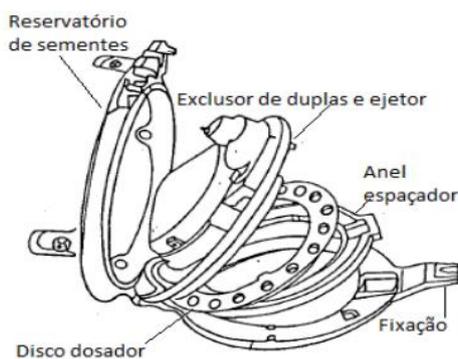
A forma de acionamento das semeadoras pode ser por meio de tração animal, manual e tratorizada. Toledo et al. (2009) ressalta, a importância do desempenho do conjunto mecanizado trator/semeadora, para alcançar melhores resultados. Uma vez que a patinagem dos rodados motrizes é um fator que pode contribuir negativamente para a qualidade da operação, principalmente para as semeadoras de precisão com dispositivo dosador de discos alveolares. Isto é, ligado aos rodados da máquina e operando por gravidade, dessa forma, a patinagem pode fazer com que haja excesso ou uma falta de deposição de semente nas linhas de semeadura.

Por outro lado, as semeadoras de precisão com dispositivo dosador-apanhador com auxílio pneumático possuem o acionamento dos mecanismos dosadores por meio de motores de comandos eletro-hidráulicos ou elétricos, esses motores são responsáveis por diminuir a fonte de variação elétrica, e as falhas de plantio. Dentre os fatores que podem prejudicar a distribuição longitudinal das sementes nos mecanismos pneumáticos, além do diâmetro dos orifícios, tamanho, formato e massa das sementes, estão os níveis de pressão negativa e velocidade de deslocamento da semeadora (SEGUNDO, 2004).

### 2.3 Mecanismos dosadores de sementes

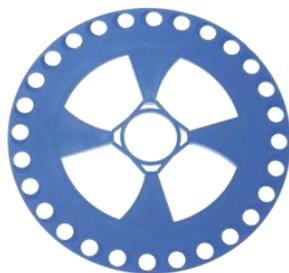
Considerando a utilização de máquinas precisas para a cultura, os mecanismos dosadores possuem dois modelos, o dosador alveolar horizontal e o dosador-apanhador com auxílio pneumático a vácuo. O princípio de funcionamento do dosador alveolar horizontal (Figuras 1 e 2) consiste na rotação do disco dosador que está coberto por sementes, ocorrendo o preenchimento dos alvéolos e a individualização das mesmas. As sementes ficam alocadas nos alvéolos até o ponto em que o mecanismo raspador efetua a exclusão das sementes em excesso sob o alvéolo, assim, em seguida, o mecanismo rolete realiza a expulsão das sementes previamente individualizadas, sendo liberadas em um ponto de saída presente no anel espaçador e conduzidas pela ação da gravidade até o solo por meio de tubos (CARPES, 2019).

**Figura 1.** Dosador de disco alveolado horizontal.



Fonte: Adaptado de (Ogliari 1990).

**Figura 2.** Disco alveolado.

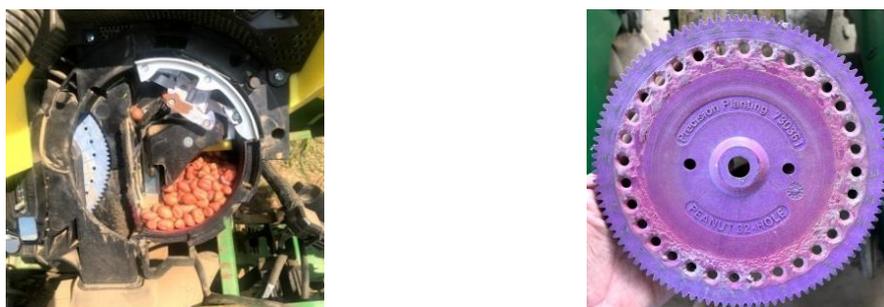


Fonte: J.ASSY (2019)

Ainda de acordo com CARPES (2019), o princípio de funcionamento do dosador-apanhador com auxílio pneumático é baseado em um disco vertical com orifícios que rotaciona apanhando a semente em um reservatório localizado na base do

disco (Figura 3). A pressão negativa do ar mantém as sementes aderidas ao orifício. Essa pressão pode ser gerada por um ventilador centrífugo ou motores elétricos localizado na região central da máquina. Por fim, a liberação das sementes é realizada por um dispositivo responsável por suprimir a pressão no final da câmara de vácuo fazendo com que as sementes escoem por tubos condutores até o fundo do sulco de semeadura.

**Figura 3.** Dosador apanhador com auxílio pneumático.



Fonte: Oliveira, L.P.

Inicialmente, para projetar mecanismos dosadores é necessário ter o conhecimento do funcionamento dos tipos de máquinas, de fluxo contínuo ou de precisão, que se pretende adaptar. Em seguida, é necessário conhecer as dimensões lineares e físicas das sementes que se pretende trabalhar, uma vez que o comprimento e a largura são fatores fundamentais para uma boa acomodação nos discos.

A falta de homogeneidade dimensional entre as sementes é um agravante quando se trata de discos horizontais alveolados. Os alvéolos apresentam uma medida fixa do diâmetro tornando difícil o alojamento correto das sementes nos alvéolos do dosador (KRZYZANOWSKI, 1991). Nesse sentido, as sementes poderão permanecer no reservatório ou irão ficar expostas no alvéolo, sendo lesionadas quando o disco passar sob o limitador (BALASTREIRE, 1987). Em função disso, uma das alternativas que se pode tomar é a utilização de 15% e/ou 20% de margem para o dimensionamento do diâmetro do alvéolo do disco dosador.

Em contrapartida, os discos dosador-apanhadores com auxílio pneumático podem ser empregados para uma grande variedade de sementes, sejam pequenas, grandes, irregulares e esféricas (MACHADO et al., 2005). Balastreire (2005) e Siqueira (2008) afirmam que os dosadores pneumáticos além de dosarem as sementes uma a uma, ainda apresentam maior precisão na dosagem das sementes além de ausência de

danos provocados nas sementes durante o processo, isso porque dependem diretamente da pressão negativa gerada pela bomba.

Reis et al. (2006) ao estudarem o comportamento da captação de sementes em dois discos apanhadores pneumáticos com orifícios de 1,5 mm e 2,0 mm, constataram que houve aumento acentuado na captação das sementes para o disco de maior orifício, independentemente do diferencial de pressão empregado. Para o dimensionamento do diâmetro do orifício Short e Huber (1970) recomendam a utilização de 40% da área projetada da semente.

Para avaliar e certificar a uniformidade na distribuição de sementes dos mecanismos dosadores de discos alveolados horizontais são utilizadas as recomendações proposta por Mialhe (1996) em que dosadores devem obter pelo menos 60% de espaçamentos aceitáveis e, no máximo, 50% de coeficiente de variação. Enquanto que os mecanismos pneumáticos devem obter pelo menos 90% de espaçamentos considerados aceitáveis e, no máximo 30% de coeficiente de variação, pelo fato de possuir maior nível tecnológico em relação ao anterior (COELHO, 1996).

## **2.4 Requisitos de projeto**

A atividade agrícola está cada vez mais exigente em informações que possa levar ao produtor rural, tomadas de decisões assertivas sobre a realização de projetos. Dito isso, o desenvolvimento de um produto deve obedecer a uma série de fatores e requisitos, entre eles, a necessidade de melhorias de mecanismos baseados em outros existentes, a fim de criar novas concepções de modo a caminhar junto ao avanço tecnológico para que seja possível ter segurança e precisão no desempenho das tarefas (CARPES, 2019). Nesse sentido, para o correto funcionamento dos protótipos a serem elaborados há também a necessidade de analisar alguns fatores que podem originar novas ideias a respeito do processo em que se deseja adequar.

### **2.4.1 Mecânica de enchimento dos alvéolos**

Em semeadoras com mecanismos dosadores de discos alveolados a má distribuição longitudinal de sementes pode ser proveniente, na maioria das vezes, devido ao aumento da velocidade de deslocamento da máquina e o não acompanhamento da velocidade periférica do disco dosador (GARCIA et al., 2011).

Dessa forma, o estudo da mecânica de enchimento dos alvéolos realizado por Mialhe (2012) contribui para um melhor entendimento do fenômeno de alojamento destas nos alvéolos dos discos, onde a queda e o alojamento das sementes ocorrem por meio do deslocamento de seu centro de massa em contato com o disco dosador em movimento circular, essa relação permite determinar a dimensão mínima do diâmetro do alvéolo.

Durante o alojamento da semente na célula alveolar, a semente pode assumir três posições de deslocamento, em pé, de lado e de costas. Estudos feitos por Mialhe (2012) apontam que a forma mais favorável de queda da semente se dá quando ela cai pela extremidade apical (em pé) ou pela extremidade basal (deitada). Em vista disso, obtendo os valores do diâmetro mínimo que o alvéolo do disco deve conter, é possível calcular a velocidade relativa operacional. Essa velocidade compõe-se entre as condições básicas para o alojamento das sementes no disco em movimento.

Dessa forma, com os cálculos da velocidade relativa operacional é possível determinar a velocidade periférica do disco em rpm, essa grandeza por sua vez, representa a velocidade máxima que o disco poderá trabalhar em contato dinâmico com o reservatório de sementes.

#### **2.4.2 Determinação da pressão negativa**

Já para os fatores que afetam a distribuição longitudinal dos discos dosador-apanhadores com auxílio pneumático, além dos parâmetros de diâmetro dos orifícios, tamanho, formato e massa das sementes, e velocidade de deslocamento da semeadora (Segundo, 2004); o nível de pressão negativa também pode influenciar na população de plantas do estande, juntamente com o número de orifícios do disco e o de sementes por metro que a máquina deve dosar.

Essas variáveis permite relacionar a velocidade da máquina em km/h com a velocidade tangencial do disco dosador em rpm, sendo possível, por meio dos estudos feitos por Monteiro (1989), determinar a pressão de sucção do mecanismo para aprisionar as sementes nos orifícios do disco. No entanto, ainda de acordo com Monteiro (1989) o nível de pressão negativa para capturar as sementes é um fator considerado crítico, uma vez que o mau dimensionamento desse fator pode interferir negativamente, causando injúria mecânica nas sementes e falhas de deposição no solo.

### 2.4.3 Projetos de máquinas agrícolas com auxílio de *softwares*

Atualmente, a utilização de *softwares* torna-se indispensável para qualquer atividade onde o intuito é otimizar e gerar conhecimentos. De acordo com a EMBRAPA (2018) o maior desafio da agricultura é se desenvolver de forma sustentável, sendo necessária a aplicação de tecnologias mais eficientes para suprir altas demandas por alimentos, fibras e energia.

Dessa forma, a utilização do *software* AutoCad (*Computer Aided Design*) para projetos de máquinas agrícolas vem se tornando cada vez mais eficiente, uma vez que o *software* permite a criação de peças de desenho técnico em duas e três dimensões, facilitando a leitura do desenvolvedor e do consumidor final. Além disso, tal *software* permite a prototipagem do produto por meio de impressoras 3D, onde a baixo custo o desenvolvedor consegue obter uma peça real e também submete-las a ensaios (GAZZOLA, VOLTARELLI & FRANCIETTO, 2019).

A inserção de impressoras 3D no mercado agrícola tornou-se uma alternativa para aumentar a produtividade agrícola, uma vez atrelada com a indústria 4.0 à prototipagem 3D permite reduzir o tempo e o custo de fabricação de peças, em relação às técnicas tradicionais (LOW et al., 2017). De acordo com Reis (2016) o método mais utilizado na impressão 3D é o de extrusão ou difusão de plástico. A fabricação se dá pelo aquecimento do material (filamento de plástico) que atinge uma temperatura de fusão transformando o material em fluido, após esse processo o material entra em contato com uma superfície de temperatura fria, se solidificando. O processo de extrusão se repete camada por camada até que a peça seja finalizada (Figura 3).

**Figura 4.** Representação das principais etapas de impressão 3D.



Fonte: ACRONSOFT (2019)

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

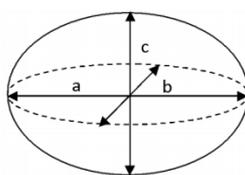
O trabalho foi conduzido no laboratório de Física da Universidade Federal de São Carlos, *Campus* Lagoa do Sino – Buri/SP. As sementes foram doadas pela Cooperativa Agroindustrial de Jaboticabal (COPLANA). As variedades de amendoim utilizadas foram a Granoleico, IAC OL3 e IAC 503, em razão destas serem as mais semeadas no país. No total foram realizadas 3000 amostras, sendo 1000 sementes para cada variedade de amendoim.

As caracterizações das sementes foram feitas conforme suas dimensões lineares (comprimento, largura e espessura) e a partir delas, foram encontradas por meio de equações as características físicas, tais como, o diâmetro da esfera equivalente; volume; esfericidade; circularidade; área projetada; massa específica; massa de mil sementes e umidade dos grãos.

#### 3.1 Dimensões lineares das sementes

As dimensões lineares das sementes (Figura 4) foram determinadas com auxílio de um paquímetro digital, de resolução 0,01 mm, pela amostragem de 1000 sementes de cada cultura. Para obter um maior controle experimental, somente um avaliador realizou a aferição de todas as sementes, para as três variedades.

**Figura 5.** Desenho esquemático dos grãos de amendoim considerados esferoides triaxiais.



Fonte: ARAÚJO et. al (2014).

Onde:

a = Comprimento máximo (mm);

b = Largura máxima (mm); e,

c = Espessura máxima (mm).

## 3.2 Características físicas das sementes

### 3.2.1 Diâmetro da esfera equivalente

O diâmetro equivalente representativo do grão de amendoim pode ser calculado de acordo com a média geométrica de suas dimensões, conforme proposto por Mohsenin (1986) na Equação 1.

$$D_g = (abc)^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

Onde:

$D_g$  = Diâmetro da esfera (mm).

### 3.2.2 Volume da Semente

O volume das sementes foi determinado pela Equação 2 proposta por Mohsenin (1986).

$$V_g = \frac{\pi (abc)}{6} \quad (2)$$

Onde:

$V_g$  = Volume geométrico (mm<sup>3</sup>).

### 3.2.3 Esfericidades das Sementes

A esfericidade das sementes foi determinada com a utilização das dimensões lineares das sementes, de acordo com a Equação 3, proposta por Mohsenin (1986).

$$\emptyset = \left[ \frac{(abc) \times \frac{1}{3}}{a} \right] \times 100 \quad (3)$$

Onde:

$\emptyset$  = Esfericidade da semente (%).

### 3.2.4 Circularidade da Semente

A circularidade das sementes foi determinada pela seguinte Equação 4 (MOHSEIN, 1986).

$$Cr = \left(\frac{b}{a}\right) \times 100 \quad (4)$$

Onde:

Cr = Circularidade (%).

### 3.2.5 Área Projetada da Semente

Com a utilização das dimensões lineares das sementes, foi determinada a área projetada da semente de acordo com a Equação 5 proposta por Goneli et al. (2008).

$$A_p = \frac{\pi ab}{4} \quad (5)$$

Onde:

$A_p$  = Área projetada da semente (mm<sup>2</sup>).

### 3.2.6 Excentricidade

A excentricidade representa o afastamento da órbita circular da semente, podendo influenciar em seu tamanho e formato. Dessa forma, o estudo dessa variável se torna importante, pois com tal afastamento pode-se comprovar o verdadeiro formato da semente de amendoim, influenciando no desenvolvimento dos alvéolos dos discos dosadores. Assim, para a determinação desta variável foi utilizado a Equação 6 proposta por Mohsenin (1986).

$$E = \sqrt{1 - \left(\frac{B}{a}\right)^2} \quad (6)$$

Onde:

$B = (b \times c)^{1/2}$ .

### 3.2.7 Massa específica unitária

Conforme proposto por MOHSENIN (1986), foi determinada pela razão entre massa e o volume das sementes (Equação 7).

$$\rho_u = \frac{m_g}{V_g} \quad (7)$$

Onde:

$\rho_u$  = Massa específica unitária ( $\text{g mm}^{-3}$ );

$m_g$  = Massa da semente (g); e,

$V_g$  = Volume da semente ( $\text{mm}^3$ ).

### 3.2.8 Umidade dos grãos

O cálculo de umidade foi feito em razão de ser uma caracterização importante do conjunto de dados, uma vez que pode influenciar nas análises. Assim, para verificar a porcentagem do grão (em base seca) foi utilizada a Equação 8, proposta por BRASIL (2009).

$$U = \frac{100 (P - p)}{P - t} \quad (8)$$

Onde:

$U$  = Umidade (%);

$P$  = Massa da semente úmida (g);

$p$  = Massa da semente seca (g);

$t$  = Tara, massa do recipiente com sua tampa (g).

### 3.2.9 Massa de 1000 sementes

Foram determinadas a pesagem das 1000 sementes por repetição, escolhidas de forma aleatória, em balança de precisão, com resolução de 0,01g (BRASIL, 2009). Após fazer a correção de umidade utilizada na comercialização, foram feitas as

pesagens das massas úmidas e secas. Para a secagem das sementes, utilizou-se uma estufa com temperaturas de 72°C por 48 horas.

### 3.3 Mecânica de enchimento dos alvéolos

Partindo da ideia de que as sementes de amendoim não são esféricas, e o centro de massa se situa a 1/3 do eixo longitudinal (Mialhe, 2012) mais próximo da maior extremidade da semente, a Equação 9 demonstra o cálculo do centro de massa utilizando o eixo longitudinal (comprimento) das sementes.

$$CM = \frac{(m1 \times a1) + (m2 \times a2) + (m3 \times a3) \dots (m1000 \times a1000)}{\text{Massa total úmida}} \times \frac{1}{3} \quad (9)$$

Onde:

CM = Centro de massa do eixo longitudinal (mm);

m = Massa da semente (g);

a = Comprimento da semente (mm).

Com a utilização do centro de massa, as Equações 10 e 11 adaptadas por Buzienvok (1976) permite avaliar as dimensões mínimas do diâmetro da célula alveolar quando a semente penetra o orifício do disco pelas regiões apicais e basais.

$$La = \sqrt{d^2 + \left(\frac{2}{3} \cdot l\right)^2} + \Delta \quad (10)$$

Onde:

La = Distância mínima para o diâmetro da extremidade apical (mm);

d = ½ da largura (mm);

l = Dimensão linear da célula/ comprimento (mm);

Δ = Folga entre as sementes e a parede das células (mm).

$$Lb = 2 \cdot r + \Delta \quad (11)$$

Onde:

Lb = Distância mínima para o diâmetro da extremidade basal (mm);

r = Distância do centro de massa à periferia da semente (mm);

A condição básica para o alojamento das sementes no disco em movimento é expressa pelas equações da velocidade relativa operacional, isto é, a semente só irá se alojar nos alvéolos quando a velocidade relativa operacional for menor que a dimensão mínima. Com base nas equações anteriores, as velocidades relativas operacionais máximas propostas por Mialhe (2012) são demonstradas pelas equações 12 e 13.

$$v_{Oa} < La = \sqrt{d^2 + \left(\frac{2}{3} \cdot l\right)^2} + \Delta x \sqrt{\frac{g}{2 \cdot a}} \quad (12)$$

Onde:

$V_{Oa}$  = Velocidade relativa operacional máxima apical (cm/s);

$g$  = Aceleração da gravidade (9,81 m/s<sup>2</sup>).

$$v_{Ob} < Lb = 2 \cdot r + \Delta x \sqrt{\frac{g}{2 \cdot d}} \quad (13)$$

Onde:

$V_{Ob}$  = Velocidade relativa operacional máxima basal (cm/s);

$Lb$  = Dimensão mínima para a extremidade basal (mm);

Para a realização do cálculo da velocidade periférica do disco deve-se tomar como referência o perímetro do disco (Equação 14) e a média dos valores das velocidades relativas operacionais máximas obtidas por meio das equações anteriores, junto com a fórmula da velocidade angular que transformará o resultado da velocidade em rotações por minuto (Equação 15).

$$P = 2 \cdot \pi \cdot r \quad (14)$$

Onde:

$P$  = Perímetro do disco (cm);

$r$  = Raio do disco (cm).

$$N = \frac{v_{0m} \times 60}{P} \quad (15)$$

Onde:

$N$  = Velocidade circular (rpm);

$V_{0m}$  = Velocidade relativa operacional máxima média (cm/s);

### 3.4 Determinação da pressão negativa

O desenvolvimento das equações a fim de determinar a pressão negativa do mecanismo pneumático foi feito considerando que as sementes estariam próximas ao mecanismo dosador, isto é, em contato com ele. Assim, a força de sucção que o mecanismo deve conter foi determinada pelas Equações 16 e 17 propostas por Monteiro (1989).

$$Fs = Fc + Pe \quad (16)$$

Onde:

$F_s$  = Força de sucção (N);

$F_c$  = Força centrífuga (N);

$P_e$  = Peso das sementes (N).

$$F_c = \frac{M_s \times V_p^2}{r} \quad (17)$$

Onde:

$F_c$  = Força centrífuga (N);

$M_s$  = Massa das sementes (kg);

$V_p$  = Velocidade tangencial do disco ( $m \text{ s}^{-1}$ );

$r$  = Raio do disco (m).

Para a estimativa do cálculo da velocidade periférica do disco foram adotados os parâmetros de populações de plantas de 200, 250, 283 e 300 mil ha<sup>-1</sup>, resultando em aproximadamente 12, 15, 17 e 20 sementes m<sup>-1</sup> (NAKAGAWA et al., 1994). Em seguida, foram consideradas as velocidades de deslocamento da semeadora de 4,0; 5,0 e 6,0 km h<sup>-1</sup>. Com os parâmetros acima citados, foi possível obter a velocidade de rotação do disco através de uma relação direta com a velocidade de deslocamento do implemento agrícola.

Para a determinação da força de atrito das sementes, considerando o seu coeficiente e a força de sucção, têm-se as Equações 18 e 19 propostas por Monteiro (1989).

$$Fa = Fs \times fa \quad (18)$$

Onde:

Fa = Força de atrito (N);

Fs = Força de sucção (N);

fa = Coeficiente de atrito.

$$Fs = \frac{M_s \times g}{fa} \quad (19)$$

Onde:

M<sub>s</sub> = Massa das sementes (kg);

g = Aceleração da gravidade (m s<sup>-1</sup>);

fa = Coeficiente de atrito.

Por fim, para determinar a pressão negativa para o aprisionamento das sementes nos orifícios do disco dosador, tem-se a Equação 20.

$$Ps = \frac{Fs}{Ac} \quad (20)$$

Onde:

$P_s$  = Pressão de sucção ( $N\ m^{-2}$ );

$F_s$  = Força de sucção (N);

$A_c$  = Área da célula (orifício) ( $m^2$ ).

## **4 ANÁLISE DOS DADOS**

### **4.1 Estatística descritiva**

Para análise inicial dos dados, utilizou-se estatística descritiva com uso do *software* Minitab 16<sup>®</sup>. A demonstração geral do comportamento dos dados foi realizada com as medidas de tendência central (média e mediana), dispersões (amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação), de assimetria e achatamento (curtose). Com relação ao coeficiente de variação da distribuição foi considerada a escala de interação entre os resultados proposta por Pimentel-Gomes e Garcia (2002) onde os classificam como muito alto (>30%); alto (entre 21 e 30%); médio (11 a 20%) e baixo (<10%).

A verificação da normalidade dos dados foi realizada por meio do teste de Ryan-Joiner, sendo uma medida de proximidade dos pontos com a reta estimada na probabilidade, o qual confere maior rigidez à análise (NOIMAN et al., 2013).

### **4.2 Correlação de pearson**

Em seguida, foi executado o teste de correlação linear de Pearson entre os parâmetros, o teste apresenta um grau de relação entre duas variáveis quantitativas, e retrata o grau de correlação através de valores situados entre -1 e +1. Onde o valor -1 demonstra uma interação inversamente proporcional máxima entre os parâmetros e o +1 demonstra uma interação diretamente proporcional máxima. O coeficiente de correlação de Pearson utiliza o nível de significância estabelecido em  $p \leq 0,05$ .

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Análise da estatística descritiva

As análises estatísticas contribuem para uma melhor visualização do conjunto de dados, e dessa forma, torna-se mais simples o entendimento do comportamento das características das sementes em função dos avanços do melhoramento genético. Esses dados podem influenciar no desenvolvimento de protótipos de máquinas agrícolas, uma vez que o conjunto de dados é grande o suficiente para representar cada variedade estudada.

De acordo com o teste de Ryan-Joiner, as características de diâmetro da esfera, circularidade e área projetada da semente da variedade Granoleico apresentaram distribuição normal para o conjunto de dados. Embora alguns parâmetros tenham apresentado normalidade, durante o desenvolvimento dos dados foi assumido o teorema do limite central, onde o conjunto de dados torna-se normal à medida que se faça subgrupos deles, e assim, tal teste aplicado não influenciará nos resultados finais do projeto.

Tabela 1. Estatística descritiva dos parâmetros da variedade Granoleico.

Parâmetros	Média	s	C.V.	Mediana	A	Cs	Ck	RJ	pValor
Comprimento (mm)	16,356	1,164	7,040	16,495	7,990	0,280	0,500	0,997	0,01 <sup>A</sup>
Largura (mm)	10,635	0,653	6,140	10,645	3,710	-0,330	-0,220	0,991	0,01 <sup>A</sup>
Espessura (mm)	8,952	0,789	8,820	8,840	5,060	0,510	0,080	0,991	0,01 <sup>A</sup>
D. Esfera (mm)	11,584	0,519	4,480	11,591	3,247	0,080	0,060	1,000	0,1 <sup>N</sup>
Volume (mm <sup>3</sup> )	824,960	111,090	13,470	821,380	710,730	0,360	0,270	0,996	0,01 <sup>A</sup>
Esfericidade (%)	70,465	4,343	6,160	70,465	25,220	0,030	-0,420	0,998	0,05 <sup>A</sup>
Circularidade (%)	64,607	5,749	8,900	65,001	36,180	-0,120	-0,130	0,999	0,09 <sup>N</sup>
Área P. (mm <sup>2</sup> )	138,160	13,32	9,640	138,690	81,450	0,050	-0,080	0,999	0,1 <sup>N</sup>
Excentricidade	0,588	0,082	13,990	0,599	0,624	-1,070	2,410	0,974	0,01 <sup>A</sup>
Massa Esp. (g/mm <sup>3</sup> )	1,054	0,143	13,570	1,039	0,893	0,470	0,360	0,994	0,01 <sup>A</sup>

D. esfera: Diâmetro da esfera; Área P.: Área projetada; Massa Esp.: Massa específica; s: Desvio padrão; C.V (%): Coeficiente de variação; A: Amplitude; Cs: Coeficiente de assimetria; Ck: Coeficiente de curtose; RJ: Valor do teste de normalidade de Ryan-Joiner; p-Valor: Valor da distribuição da probabilidade ( $p > 0,05$ ); N: Distribuição normal de probabilidade; A: Distribuição não normal de probabilidade.

Dentre os parâmetros lineares o comprimento das sementes obteve maior média e desvio padrão (16,536 e 1,164 mm), logo a espessura obteve menor média e maior coeficiente de variação (8,952 mm e 8,82%, respectivamente). É notório que para a maioria das variáveis, os coeficientes de variação não ultrapassaram 10%, indicando que houve baixas dispersões de dados durante a análise (PIMENTEL-GOMES, 2002). Por outro lado, dentre os parâmetros físicos o volume da semente obteve maior média e desvio padrão (824,96 e 111,09 mm<sup>3</sup>), a excentricidade obteve menor média e maior coeficiente de variação (0,588 mm e 13,99%). A variedade Granoleico, possui média de esfericidade e circularidade de apenas 70,465% e 64,607%, ambos os valores mantidos abaixo de 80%, demonstrando a incapacidade de classificação como esféricos (ARAÚJO et al., 2014).

O coeficiente de correlação linear de Pearson (Tabela 2) entre os parâmetros lineares das sementes indicaram uma correlação baixa, como valores abaixo de 0,50, podendo ser explicada por meio da classificação proposta por DANCEY & REIDY (2006). Por outro lado, a correlação entre os parâmetros físicos obteve interação alta positiva entre o volume da semente e o diâmetro da esfera equivalente. A correlação entre o comprimento e a excentricidade retrata uma interação diretamente proporcional, em que a semente se torna excêntrica à medida que o comprimento aumenta. Essa interação pode servir de base para o dimensionamento dos alvéolos tanto para o presente projeto quanto para projetos futuros, retratando a importância do estudo do comportamento das sementes para o desenvolvimento de projetos de mecanização agrícola.

Tabela 2. Teste de correlação de Pearson entre os parâmetros da variedade Granoleico.

Parâmetros	Comp.	Larg.	Esp.	D. Esf.	Vol.	Esf.	Circ.	Área P.	Exc.
Larg.	0,071								
Esp.	-0,095	0,204							
D. Esf.	0,491	0,633	0,694						
Vol.	0,488	0,625	0,699	0,998					
Esf.	-0,775	0,371	0,612	0,166	0,167				
Circ.	-0,729	0,625	0,213	0,048	0,045	0,861			
Área P.	0,770	0,690	0,061	0,759	0,754	-0,325	-0,131		
Exc.	0,953	0,092	-0,080	0,489	0,482	-0,741	-0,697	0,748	
Massa Esp.	-0,491	-0,639	-0,676	-0,992	-0,982	-0,159	-0,050*	-0,762	-0,499

Larg.: largura; Esp.: Espessura; D. Esf: Diâmetro da esfera; Vol.: Volume; Esf: Esfericidade; Circ.: Circularidade; Área P.: Área projetada; Exc.: Excentricidade; Massa Esp.: Massa específica; \* Correlações de Pearson não significativas a  $p < 0,05$ .

Em uma análise na forma da semente é possível observar o distanciamento dos formatos esféricos e circulares quando o comprimento assume valores altos, ao contrário da largura, pois à medida que a largura cresce há uma tendência da semente se tornar circular, comprovado pela correlação com tal parâmetro, além disso, a largura possui influência na área projetada. Já a espessura demonstra afinidade moderada com os parâmetros citados. Além disso, a massa específica apresentou valores inversamente proporcionais para todos os parâmetros avaliados, demonstrando que há decréscimos de massa específica conforme os parâmetros aumentam, especialmente para o diâmetro da esfera e o volume.

A variedade IAC OL3 (Tabela 3) manteve os padrões de maior média (16,802 mm) e desvio padrão (1,007 mm) para o comprimento das sementes com um coeficiente de variação de 5,99%. O coeficiente de assimetria assumiu um valor menor para a largura, embora a variedade anterior tenha assumido o menor valor para o parâmetro de excentricidade. De acordo com o teste de normalidade da variedade, é possível notar que os parâmetros seguem uma distribuição com valores não normais. De modo geral, a variedade IAC OL3 apresentou valores superiores à variedade anterior com exceção da esfericidade da semente, apesar de as duas variedades não apresentam comportamento esférico.

Tabela 3. Estatística descritiva dos parâmetros da variedade IAC OL3.

Parâmetros	Média	s	C.V.	Mediana	A	Cs	Ck	RJ	pValor
Comprimento (mm)	16,802	1,007	5,990	16,730	8,400	1,030	3,270	0,975	0,01 <sup>A</sup>
Largura (mm)	10,755	0,623	5,800	10,800	3,520	-0,440	-0,090	0,990	0,01 <sup>A</sup>
Espessura (mm)	8,895	0,710	7,980	8,820	4,480	0,600	0,290	0,989	0,01 <sup>A</sup>
D. Esfera (mm)	11,670	0,496	4,250	11,640	3,293	0,260	-0,060	0,997	0,01 <sup>A</sup>
Volume (mm <sup>3</sup> )	842,960	108,520	12,870	831,970	721,410	0,500	0,220	0,992	0,01 <sup>A</sup>
Esfericidade (%)	69,788	3,736	5,350	69,834	24,786	-0,110	-0,160	0,098	0,01 <sup>A</sup>
Circularidade (%)	64,240	5,361	8,340	64,372	37,431	-0,280	0,250	0,997	0,01 <sup>A</sup>
Área P. (mm <sup>2</sup> )	141,900	11,400	8,090	141,660	78,030	0,210	0,240	0,998	0,02 <sup>A</sup>
Excentricidade	0,589	0,063	10,720	0,594	0,519	-0,340	1,250	0,993	0,01 <sup>A</sup>
Massa Esp. (g/mm <sup>3</sup> )	1,037	0,131	12,640	1,034	0,913	0,210	-0,010	0,998	0,02 <sup>A</sup>

D. esfera: Diâmetro da esfera; Área P.: Área projetada; Massa Esp.: Massa específica; **s**: Desvio padrão; C.V (%): Coeficiente de variação; A: Amplitude; Cs: Coeficiente de assimetria; Ck: Coeficiente de curtose; RJ: Valor do teste de normalidade de Ryan-Joiner; p-Valor: Valor da distribuição da probabilidade ( $p > 0,05$ ); N: Distribuição normal de probabilidade; A: Distribuição não normal de probabilidade.

Para o teste de correlação da variedade (Tabela 4), seguem os padrões de baixas interações entre os parâmetros lineares das sementes, indicando assim uma independência entre eles. Para o parâmetro físico das sementes, o diâmetro da esfera e o volume apresentaram interação alta positiva, novamente. Em relação à variedade anterior, a IAC OL3 por apresentar uma média de comprimento ligeiramente maior, modificou a interação de positiva para negativa com a largura. Apesar disso, a interação entre o comprimento e excentricidade apresentou um acréscimo. Por outro lado, a massa específica se manteve com interações negativas para todos os parâmetros. Por fim, é possível notar que as interações se mantiveram, endossando o conjunto de dados.

Tabela 4. Teste de correlação de Pearson entre os parâmetros da variedade IAC OL3.

Parâmetros	Comp.	Larg.	Esp.	D. Esf.	Vol.	Esf.	Circ.	Área P.	Exc.
Larg.	-0,055*								
Esp.	0,053*	0,322							
D. Esf.	0,470	0,635	0,791						
Vol.	0,475	0,624	0,793	0,998					
Esf.	-0,711	0,559	0,573	0,281	0,275				
Circ.	-0,719	0,728	0,189	0,117	0,107	0,877			
Área P.	0,696	0,678	0,271	0,803	0,799	-0,120	-0,010*		
Exc.	0,969	-0,047*	0,048*	0,461	0,461	-0,700	-0,710	0,682	
Massa Esp.	-0,458	-0,650	-0,777	-0,993	-0,985	-0,290	-0,140	-0,803	-0,457

Larg.: largura; Esp.: Espessura; D. Esf: Diâmetro da esfera; Vol.: Volume; Esf: Esfericidade; Circ.: Circularidade; Área P.: Área projetada; Exc.: Excentricidade; Massa Esp.: Massa específica; \* Correlações de Pearson não significativas a  $p < 0,05$ .

Os dados estatísticos da variedade IAC 503 (Tabela 5) denota a predominância da média do comprimento em relação às demais variedades, em contrapartida a largura da semente foi a menor. O coeficiente de variação dos parâmetros lineares não ultrapassaram 8%. Com o aumento da média do comprimento das sementes, pode-se notar que os valores da área projetada também aumentaram (cerca de 4 mm<sup>2</sup> em relação a variedade Granoleico), uma vez que estes fatores se tornam fundamentais para o dimensionamento dos alvéolos de um protótipo de mecanismos dosador de sementes. Além disso, a variável de circularidade apresentou comportamento normal, em relação às demais, fato esse que foi confirmado apenas para a variedade Granoleico.

Tabela 5. Estatística descritiva dos parâmetros da variedade IAC 503.

Parâmetros	Média	s	C.V.	Mediana	A	Cs	Ck	RJ	p-Valor
Comprimento (mm)	17,636	1,205	6,830	17,525	7,020	0,440	-0,010	0,993	0,01 <sup>A</sup>
Largura (mm)	10,248	0,729	7,110	10,270	3,880	-0,150	-0,610	0,995	0,01 <sup>A</sup>
Espessura (mm)	8,984	0,583	6,490	8,940	3,670	0,290	0,060	0,997	0,01 <sup>A</sup>
D. Esfera (mm)	11,711	0,566	4,830	11,673	3,520	0,220	-0,370	0,997	0,01 <sup>A</sup>
Volume (mm <sup>3</sup> )	853,230	124,660	14,610	838,910	793,290	0,450	-0,180	0,992	0,01 <sup>A</sup>
Esfericidade (%)	66,743	3,571	5,350	66,829	21,188	-0,050	-0,510	0,997	0,01 <sup>A</sup>
Circularidade (%)	58,332	5,263	9,020	58,531	32,963	0,030	-0,220	0,999	0,07 <sup>N</sup>
Área P. (mm <sup>2</sup> )	142,050	15,200	10,700	140,650	86,370	0,430	-0,060	0,993	0,01 <sup>A</sup>
Excentricidade	0,640	0,061	9,660	0,644	0,377	-0,360	0,050	0,996	0,01 <sup>A</sup>
Massa Esp.(g/mm <sup>3</sup> )	1,038	0,149	14,400	1,034	0,939	0,250	-0,240	0,996	0,01 <sup>A</sup>

D. esfera: Diâmetro da esfera; Área P.: Área projetada; Massa Esp.: Massa específica; s: Desvio padrão; C.V. (%): Coeficiente de variação; A: Amplitude; Cs: Coeficiente de assimetria; Ck: Coeficiente de curtose; RJ: Valor do teste de normalidade de Ryan-Joiner; p-Valor: Valor da distribuição da probabilidade ( $p > 0,05$ ); N: Distribuição normal de probabilidade; A: Distribuição não normal de probabilidade.

Em relação aos testes de correlação das variedades anteriores, a IAC 503 apresentou interação positiva entre os parâmetros lineares das sementes, mas, mesmo assim foram baixos. A correlação entre os parâmetros lineares com o diâmetro da esfera e o volume tiveram interações moderadas, diferentemente das variedades anteriores. Pelo fato do comprimento desta variedade se destacar em relação às outras, quase a excentricidade obteve interação máxima.

Ademais, a massa específica das sementes consolidou as interações negativas com os parâmetros. De acordo com todos os testes de correlações, é possível afirmar que o diâmetro da esfera e o volume da semente são diretamente proporcionais, e à medida que o comprimento aumenta a semente se torna mais excêntrica (Tabela 6).

Tabela 6. Teste de correlação de Pearson entre os parâmetros da variedade IAC 503.

Parâmetros	Comp.	Larg.	Esp.	D. Esf.	Vol.	Esf.	Circ.	Área P.	Exc.
Larg.	0,159								
Esp.	0,163	0,440							
D. Esf.	0,620	0,765	0,741						
Vol.	0,626	0,758	0,738	0,998					
Esf.	-0,704	0,491	0,460	0,117	0,108				
Circ.	-0,623	0,669	0,222	0,136	0,126	0,917			
Área P.	0,751	0,770	0,399	0,911	0,912	-0,127	0,044*		
Exc.	0,980	0,143	0,163	0,605	0,606	-0,705	-0,632	0,726	
Massa Esp.	-0,603	-0,769	-0,738	-0,993	-0,984	-0,133	-0,154	-0,899	-0,596

Larg.: largura; Esp.: Espessura; D. Esf: Diâmetro da esfera; Vol.: Volume; Esf: Esfericidade; Circ.: Circularidade; Área P.: Área projetada; Exc.: Excentricidade; Massa Esp.: Massa específica; \* Correlações de Pearson não significativas a  $p < 0,05$ .

Dessa forma, é possível observar que as sementes da variedade IAC 503 demonstraram uma média de comprimento e espessura superiores em relação às demais, e que a largura da semente foi maior para a variedade IAC OL3. Além disso, é notório que as sementes não se enquadram na classificação esférica e circular, demonstrando a importância de elaboração de mecanismos dosadores específicos para o amendoim. Assim, para a elaboração do mecanismo dosador mecânico os parâmetros lineares com as maiores médias devem ser levados em consideração, para fornecer uma boa acomodação às sementes.

Por outro lado, para a demonstração das massas de 1000 sementes, tem-se a Tabela 7, onde ainda de acordo com a metodologia de BRASIL (2009), as sementes foram submetidas à estufa. As massas das 1000 sementes possui relação direta com o cálculo de pressão negativa do mecanismo. Essa relação indica que quanto maior a massa das sementes no reservatório, maior será a demanda por pressão negativa para o correto funcionamento do sistema.

Tabela 7. Massa de 1000 sementes.

Variedades	Massa úmida (g)	Massa seca (g)
Granoleico	854,1	787,4
IAC OL3	860,6	796,5
IAC 503	867,9	804,8

A demonstração dos cálculos de umidade das sementes é dada por meio da Tabela 8 em que se tem a umidade dos grãos antes da estufa e a correção de umidade, de acordo com a metodologia de Brasil (2009). É possível observar que as umidades iniciais e corrigidas mantiveram-se no padrão recomendado por Harrington (1973) em que o teor de umidade para armazenagem dos grãos deve ser de 4% a 9%.

Tabela 8. Umidade das sementes.

Variedades	Umidade inicial (%)	Umidade corrigida (%)
Granoleico	8,47	7,80
IAC OL3	8,04	7,44
IAC 503	7,84	7,27

## 5.2 Análise da mecânica de enchimento dos alvéolos

As médias dos centros de massas, no primeiro terço do comprimento, das sementes das variedades não apresentaram média maior que 7 mm (Tabela 9).

Tabela 9. Média dos centros de massas das variedades.

Variedades	Comprimento (mm)
Granoleico	6,771
IAC OL3	6,728
IAC 503	6,993

Em função do centro de massas das sementes foram feitos os cálculos da dimensão mínima do diâmetro dos alvéolos das sementes (Tabela 10). Os valores abaixo indicam que o deslocamento da semente pela parte basal demanda maior comprimento do diâmetro, estando de acordo com os estudos feitos por Mialhe (2012), em que a dimensão linear da célula deve ser maior que a correspondente dimensão linear da semente, como demonstrado no presente trabalho.

Nesse sentido, a construção de um mecanismo dosador mecânico deverá ter como referência os valores de Lb da variedade IAC OL3, pois, uma vez que o disco deverá acomodar as três variedades, essa variedade é que demanda de maior comprimento da célula.

Tabela 10. Dimensão mínima para os diâmetros dos alvéolos.

Variedades	La (mm)	Lb (mm)
Granoleico	15,925	19,584
IAC OL3	15,896	19,649
IAC 503	15,911	19,232

La – Diâmetro mínimo para a extremidade apical (mm); Lb – Diâmetro mínimo para a extremidade basal (mm);

De acordo com Mialhe (2012), o disco deve trabalhar em uma velocidade menor do que as velocidades encontradas na Tabela 11. Isso implica que se a velocidade operacional for maior, as sementes não conseguirão se alojar nos alvéolos. Assim, considerou-se a velocidade relativa operacional padrão como sendo 48 cm/s para servir de base para o cálculo da velocidade rotativa do disco dosador.

Tabela 11. Cálculos da velocidade relativa operacional das sementes.

Variedades	$V_{Oa}$	$V_{Ob}$
Granoleico	48,373	59,486
IAC OL3	48,010	59,343
IAC 503	49,228	59,501

$V_{Oa}$  = Velocidade relativa operacional máxima apical ( $\text{cm s}^{-1}$ );  $V_{Ob}$  = Velocidade relativa operacional máxima basal ( $\text{cm s}^{-1}$ ).

Para a realização dos cálculos de rotação foi necessário considerar o perímetro do disco com média de 210 mm, tal medida é base para os discos da marca JASSY®. Dessa forma, o produto do cálculo de rotação é de aproximadamente 43,65 rpm. Em função disso, é pressuposto que se a velocidade periférica do disco aumentar poderá ocorrer falhas no estande de plantas, uma vez que o valor estipulado é o limite para que ocorra uma boa distribuição longitudinal das sementes.

### 5.3 Análise da determinação da pressão negativa para o mecanismo pneumático

O dimensionamento da pressão negativa para o sistema pneumático foi realizado em três passos. O primeiro passo foi realizado a fim de determinar a força necessária de sucção de ar que o mecanismo deve conter para poder capturar as sementes no reservatório, levando em consideração os números de sementes por metro (12, 15, 17 e 20 sementes  $\text{m}^{-1}$ ) e as velocidades de trabalho da semeadora (4,0; 5,0 e 6,0  $\text{km h}^{-1}$ ). Observando os dados da Tabela 12, é possível notar que a força de sucção que o

mecanismo pneumático necessita, depende da quantidade de sementes que se deseja depositar por metro e da velocidade de deslocamento da máquina, pois, as médias das forças de sucção aumentam à medida que a máquina se desloca com maior velocidade e também de acordo com a densidade de semeadura.

Tabela 12. Determinação da força de sucção em função do número de sementes por metros e velocidade de trabalho (km h<sup>-1</sup>).

	Força de sucção (N)											
	Granoleico			IAC OL3			IAC 503			Média geral		
	Velocidade (Km h <sup>-1</sup> )											
	4,0	5,0	6,0	4,0	5,0	6,0	4,0	5,0	6,0	4,0	5,0	6,0
S/m												
12	8,96	8,87	9,09	8,76	8,94	9,16	8,83	9,01	9,24	8,85	8,94	9,16
15	8,87	9,91	9,52	8,94	9,26	9,6	9,01	9,34	9,61	8,94	9,5	9,57
17	9,0	9,40	9,84	9,0	9,48	9,92	9,14	9,51	10	9,04	9,46	9,92
20	9,29	9,78	10,3	9,36	9,85	10,4	9,44	9,40	10,5	9,36	9,67	10,4

S/m: sementes por metro; média geral: somatório das velocidades médias de todas as variedades de amendoim.

Para a verificação dos cálculos de força de sucção foi determinada a força de atrito existente entre as sementes e o disco dosador. Essa força demonstra a resistência das sementes dentro do reservatório até a sua captura no disco dosador. Observando a Tabela 13, nota-se a semelhança entre as forças de atritos entre as variedades. Por outro lado, em comparação à Tabela 12, as médias de sucção demonstram superioridade, conferindo maior rigidez da análise dos dados dimensionados.

Tabela 13. Demonstração das forças de atrito das variedades.

Variedades	Força de atrito (N)
Granoleico	8,37
IAC OL3	8,44
IAC 503	8,51

Por fim, a Tabela 14 demonstra a pressão negativa que o sistema pneumático necessita para a captura e fixação das sementes no mecanismo até sua liberação para o tubo condutor.

Tabela 14. Demonstração da pressão negativa do sistema.

	Pressão de sucção (kPa)											
	Granoleico			IAC OL3			IAC 503			Média geral		
	Velocidade (Km h <sup>-1</sup> )											
	4,0	5,0	6,0	4,0	5,0	6,0	4,0	5,0	6,0	4,0	5,0	6,0
S/m												
12	153	156	160	154	157	161	155	158	162	154	157	161
15	156	161	167	157	163	169	158	164	170	157	163	169
17	158	165	173	159	166	174	161	168	176	159	166	174
20	163	172	182	164	173	184	166	175	185	164	173	184

S/m: sementes por metro; média geral: somatório das velocidades médias de todas as variedades de amendoim.

Os dados da Tabela 14 retratam a alta demanda de pressão de sucção que o mecanismo dosador pneumático deve suprir quando a velocidade de deslocamento é gradativamente elevada. Nota-se também a variação em cerca de 10,4 kPa de pressão entre a menor e a maior média da velocidade de 4,0 km h<sup>-1</sup> em relação ao número de sementes por metro (154; 157; 159,4 e 164,4 kPa ou 1,54; 1,57; 1,59 e 1,64 bar).

Em contrapartida, para uma velocidade de trabalho de 6,0 km h<sup>-1</sup>, o acionador do mecanismo dosador deve fornecer uma pressão mais elevada (161; 168,6; 174,3 e 183,6 kPa ou 1,61; 1,68; 1,74 e 1,83 bar), quando comparada com as médias da velocidade de 5,0 km h<sup>-1</sup> (157; 162,7; 166,4 e 173,4 kPa ou 1,57; 1,62; 1,66 e 1,73 bar), especialmente para a densidade de 20 sementes m<sup>-1</sup>. Esta densidade é uma das mais utilizadas pelos produtores rurais, em função da alta produtividade que pode ser alcançada (NAKAGAWA, et al., 1994), corroborando com a presente estimativa do estudo.

## **5.4 Parâmetros para o projeto dos protótipos dos discos dosadores**

Para a criação dos discos alveolados foram acrescentadas as margens de erros de 15% e 20% em função das dimensões lineares das sementes para de garantir uma boa acomodação destas nos discos. Já, para o dimensionamento dos orifícios dos discos apanhadores com auxílio pneumático, foram adotadas as margens de 10%, 15%, 20%, 30%, 35% e 40% da maior área projetada das sementes. É importante salientar que as espessuras das sementes não foram utilizadas nos cálculos pelo fato de que o disco possui espessura maior.

A fim de testar as diversas formas de acomodação das sementes foram adotadas algumas inclinações dos alvéolos nos discos mecânicos, e para integrar o teste de acomodação, foi adotado também, um formato circular do alvéolo mecânico com o diâmetro da maior dimensão linear das sementes.

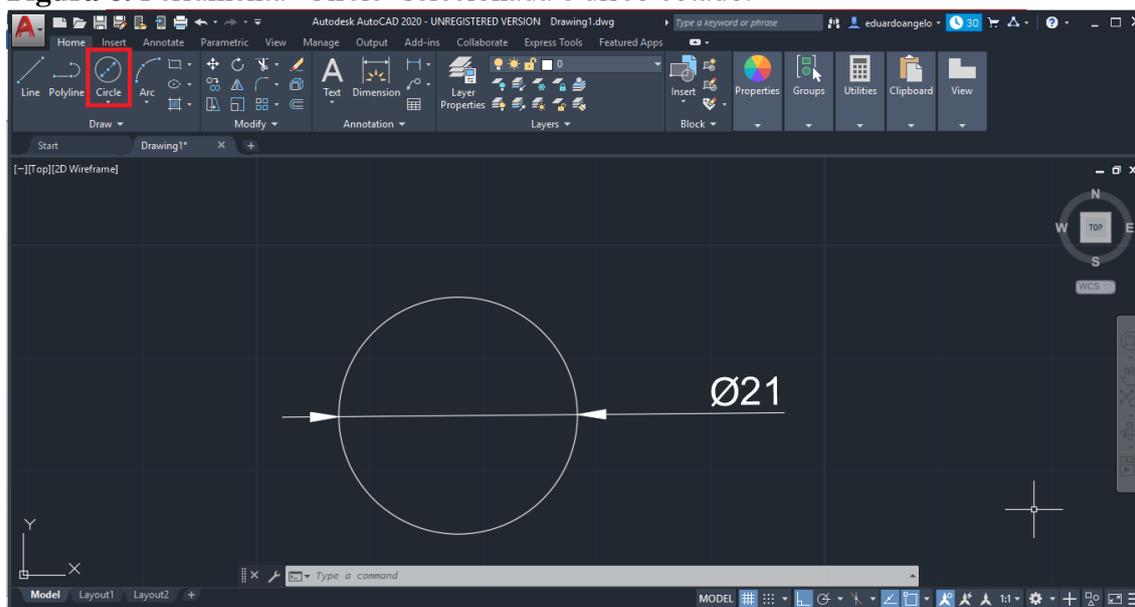
### **5.4.1 Elaboração do mecanismo dosador por meio do autocad**

Utilizando as interfaces do AutoCAD de duas e três dimensões (X, Y e Z) alguns procedimentos e rotinas básicas do programa foram empregados para a elaboração do projeto conceitual. É importante salientar que o tutorial foi feito para projetar apenas um modelo de disco de cada mecanismo dosador. Portanto, abaixo, segue as sequências de comandos responsáveis para realizar o projeto virtual do disco mecânico.

### 5.4.2 Elaboração do mecanismo dosador mecânico

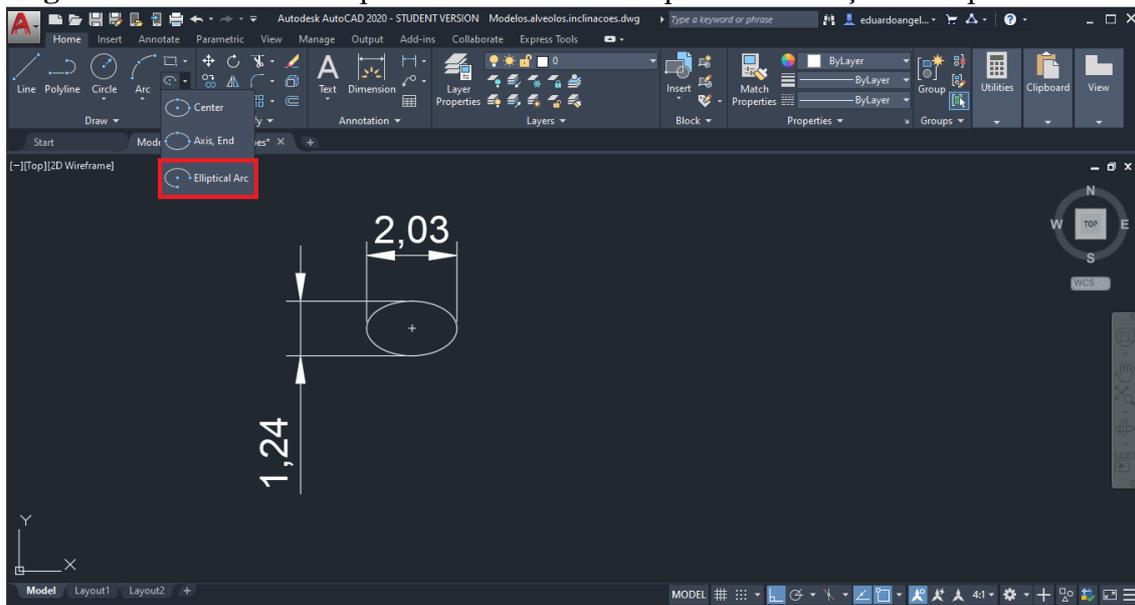
1. Utilizando a interface de duas dimensões do AutoCAD 2020 seleciona-se a opção de construção de círculo na ferramenta 'Circle', necessitando determinar o ponto central e o diâmetro (ou raio) do objeto. Assim, é possível elaborar o disco com 21 centímetros de diâmetro.

**Figura 6.** Ferramenta 'Circle' selecionada e disco cotado.



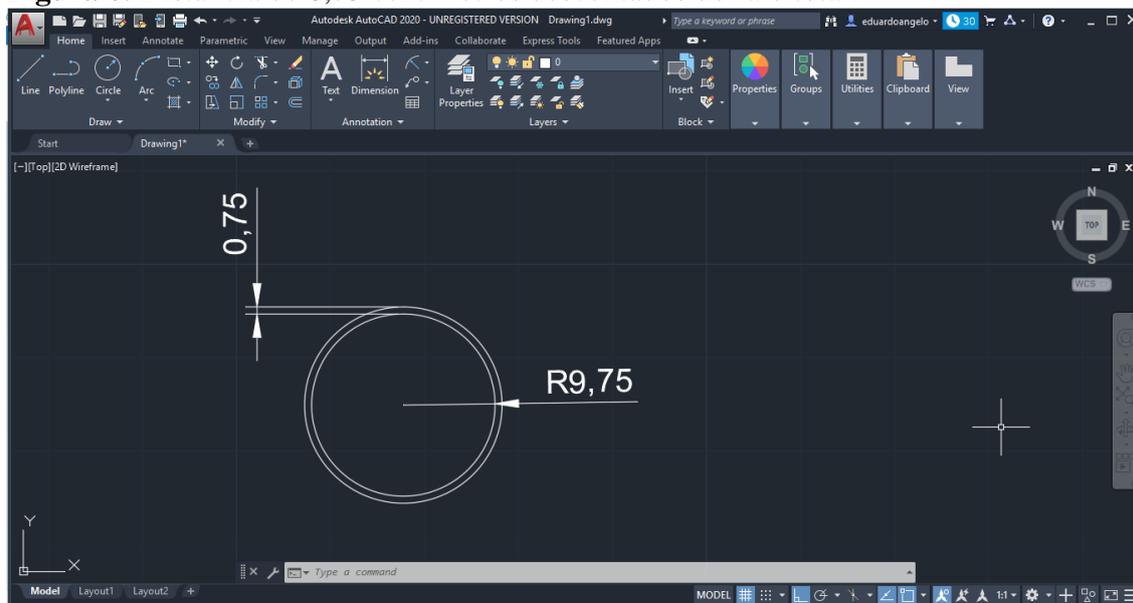
2. O disco possui 28 células alveolares para acomodar as sementes. Dito isso, as células alveolares devem ser dimensionadas utilizando as margens de erros de 15% e 20%. Nesse caso, para a demonstração geral da elaboração do disco mecânico, utilizaremos apenas valor arbitrário. Aplicando a ferramenta 'Elliptical Arc' constrói-se uma elipse com dimensões de 2,03 cm de comprimento e 1,24 cm de largura.

**Figura 7.** Ferramenta ‘Elliptical Arc’ selecionada para a construção da elipse.



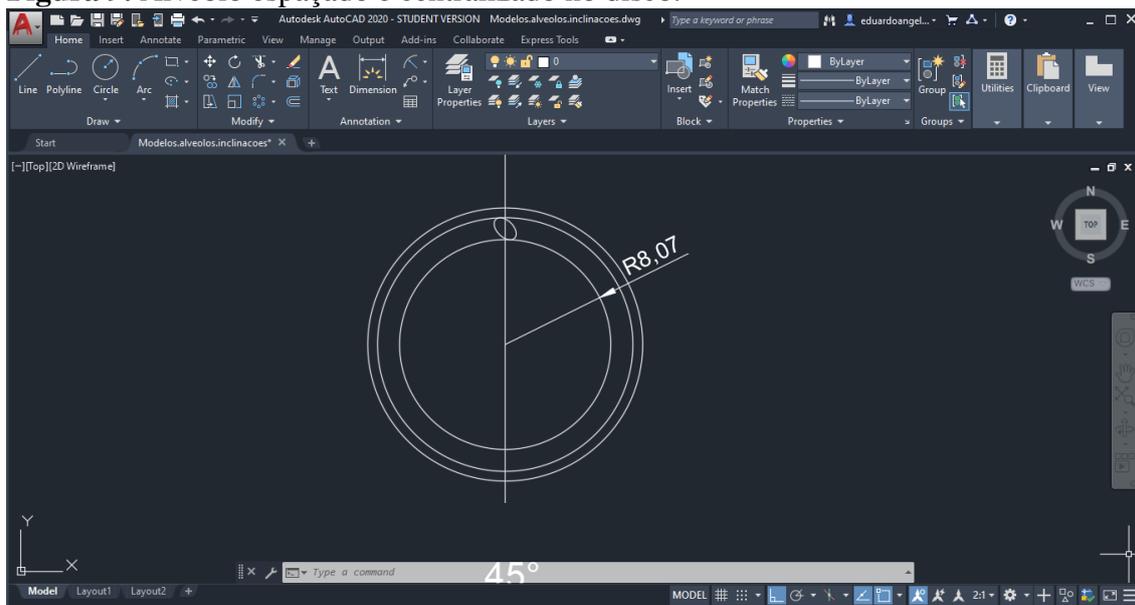
3. Os orifícios devem ficar a uma distância considerável da extremidade do disco para não haver conflito com o distribuidor de sementes, esse intervalo é de aproximadamente 0,75 centímetros. Com o raio de 10,5 centímetros do disco, subtraímos a distância conhecida, posteriormente obtém-se o espaçamento desejado.

**Figura 8.** Distância de 0,75 centímetros descontados do raio total.



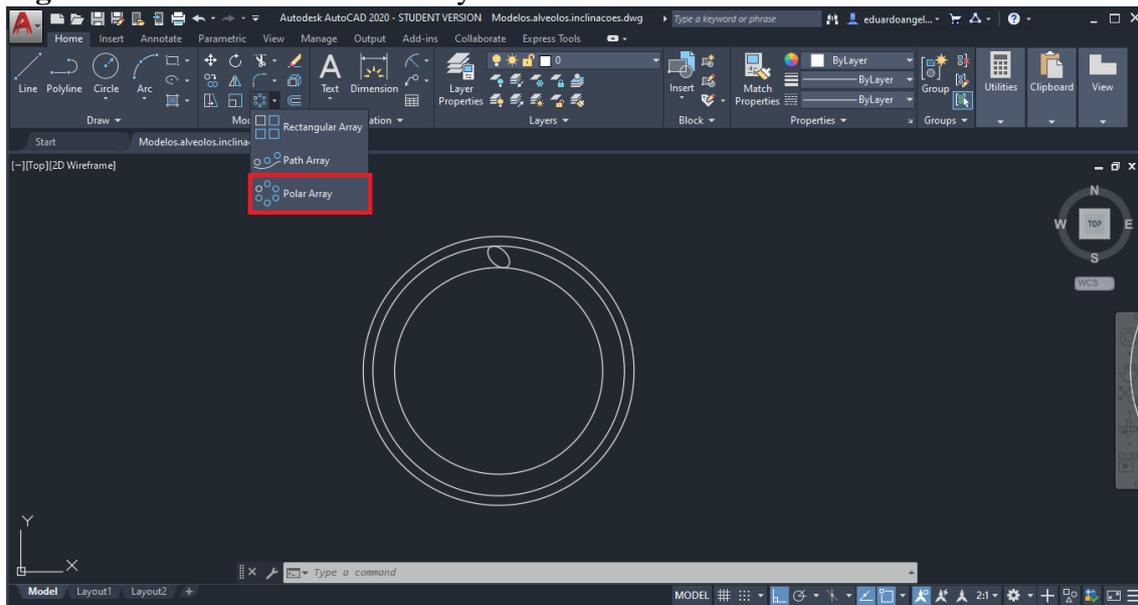
4. Utilizando a inclinação do alvéolo de  $45^\circ$ , seleciona-se a ferramenta “Rotate” e especifica-se o ponto central do alvéolo, em seguida, digitamos o grau de inclinação. Feito isso, aplicando a subtração, podemos posicionar o alvéolo da distância imposta anteriormente. Subtrai-se o raio espaçado de 9,75 cm do alvéolo, obtendo um raio de 8,07 cm. Em seguida, podemos posicionar o alvéolo na linha de centro do círculo para que facilite sua replicação.

**Figura 9.** Alvéolo espaçado e centralizado no disco.



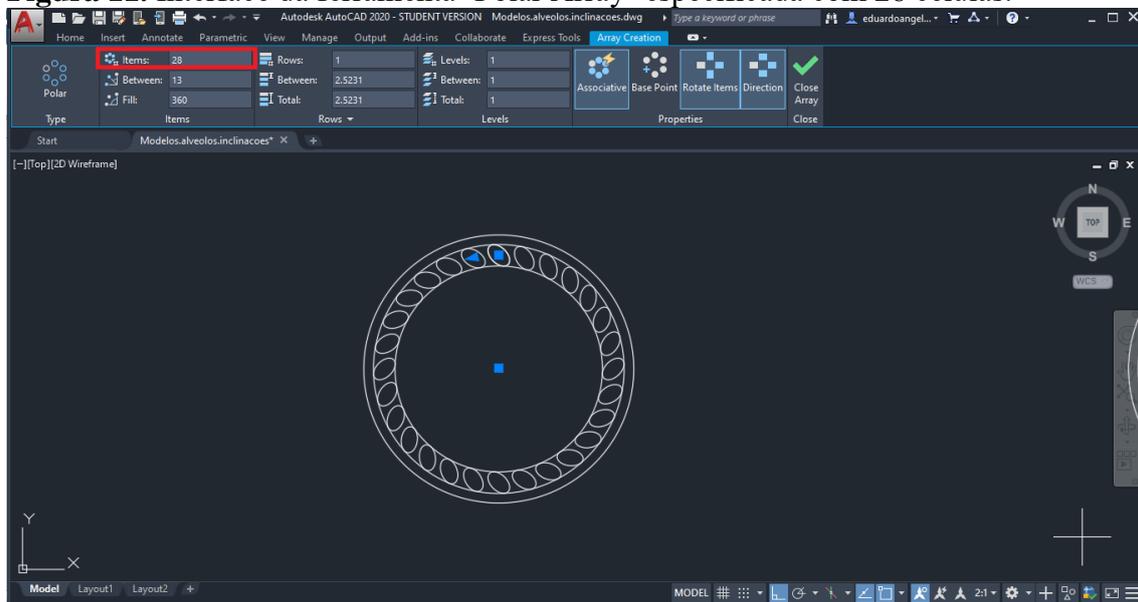
5. A ferramenta ‘Polar Array’ permite replicar os alvéolos de uma forma equidistante entorno de um único eixo, ou seja, do centro do disco. A princípio seleciona-se a ferramenta, em seguida, distingue-se o elemento a ser replicado, isto é, a célula alveolar.

**Figura 10.** Ferramenta ‘Polar Array’ selecionada.



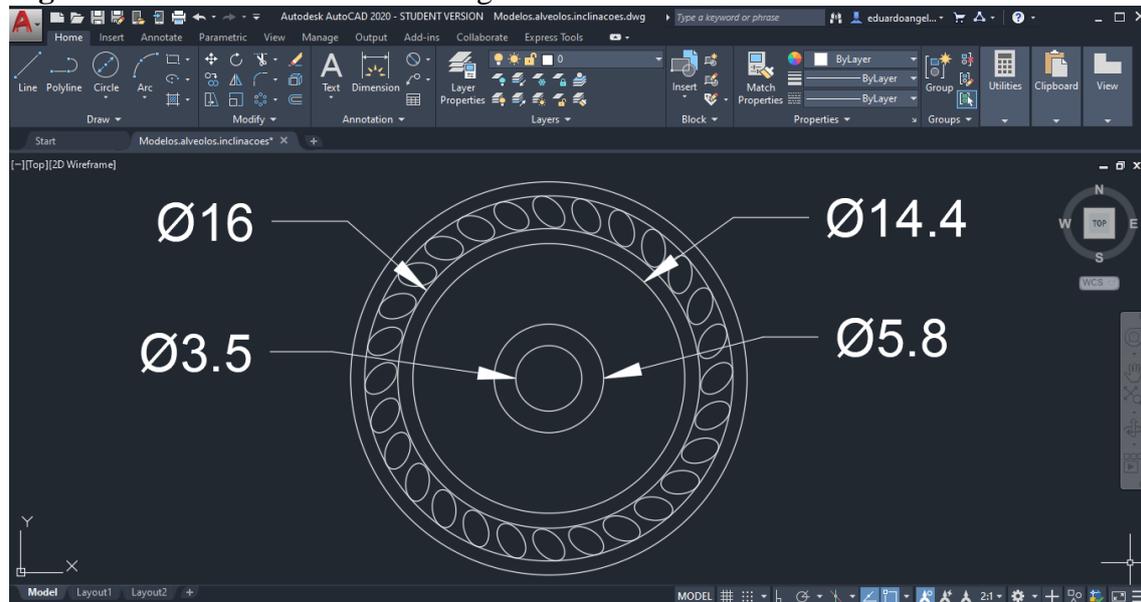
6. Após selecionar a célula, a ferramenta pede a especificação do ponto matriz para a replicação, sendo o centro do disco, ao confirmar, abre-se uma interface da ferramenta, onde discrimina a quantidade de replicação almejada. O disco conta com 28 células alveolares.

**Figura 11.** Interface da ferramenta ‘Polar Array’ especificada com 28 células.



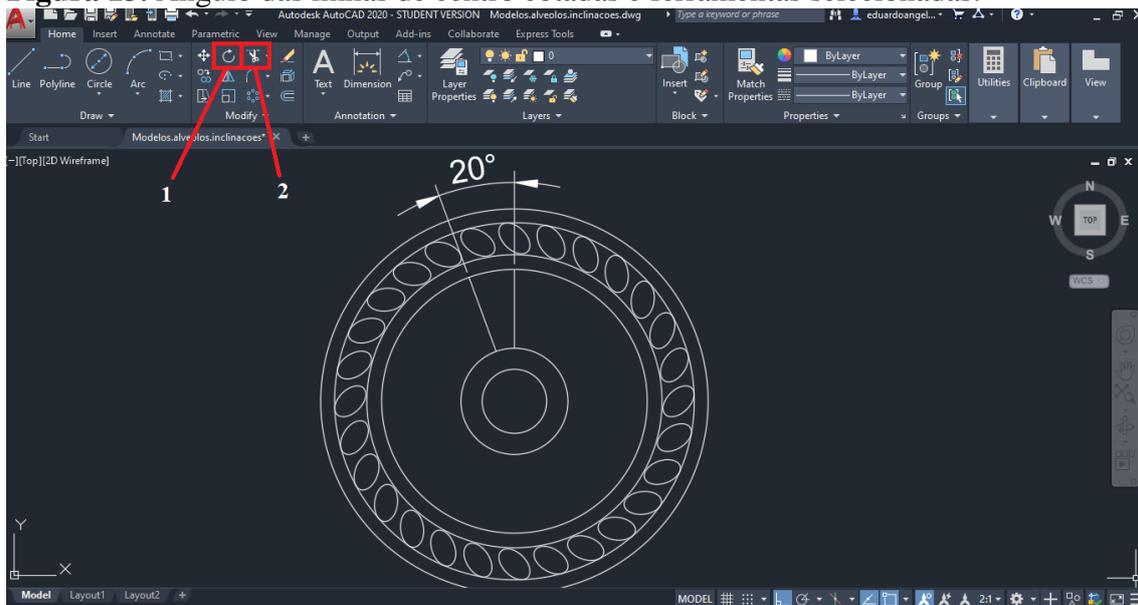
7. Na parte interna do disco há um furo para acoplar-se ao chassi da semeadora, o mesmo tem 3,5 centímetros de diâmetro, e também, conta com um design para alívio do peso do disco, seguido de três diâmetros para limitação do design, um de 16, um de 14,4 e o último de 5,8 centímetros de diâmetro.

**Figura 12.** Furo e diâmetros do design cotados no disco.



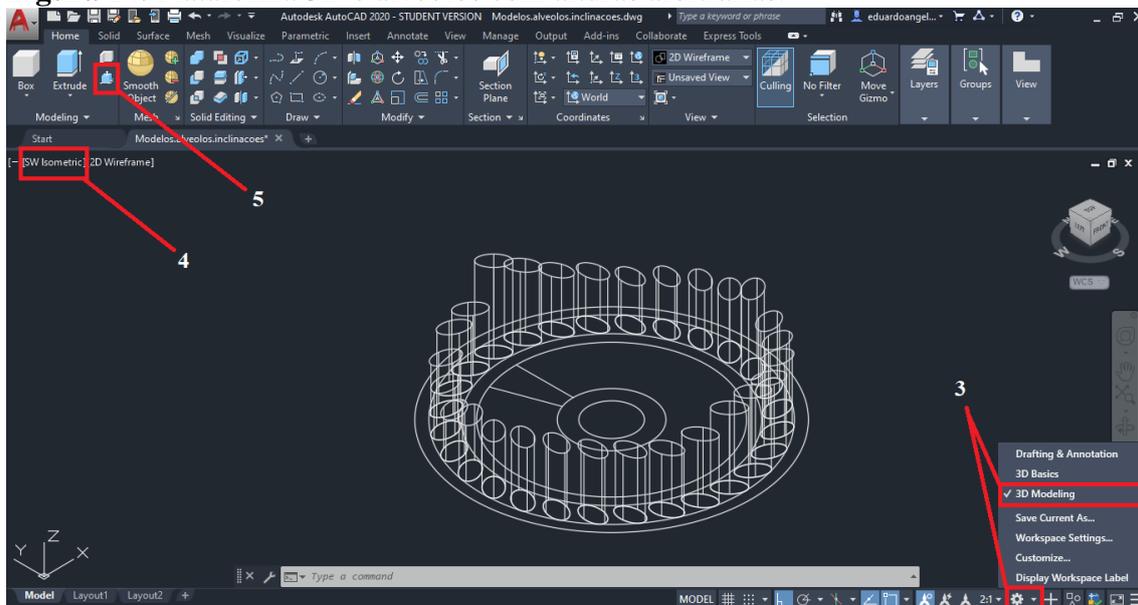
8. O disco contém quatro hastes para compor seu design (o design dos discos varia de acordo com cada fabricante). A haste de alívio é afunilada, portanto utilizam-se duas linhas de centro para a formação da haste. A ferramenta ‘Rotate’ (chamada 1) permite inclinar uma linha de centro a 20 graus da outra para a formação da haste, seleciona-se a linha desejada e confirma-se a ação com a tecla ‘Enter’, em seguida pede-se a especificação da base de rotação, sendo o centro do disco. Para aparar as linhas inconvenientes no diâmetro interno do disco, utiliza-se a ferramenta ‘Trim’ (chamada 2), na sequência pressiona-se novamente a tecla ‘Enter’ do teclado para executar a função da mesma.

**Figura 13.** Ângulo das linhas de centro cotadas e ferramentas selecionadas.



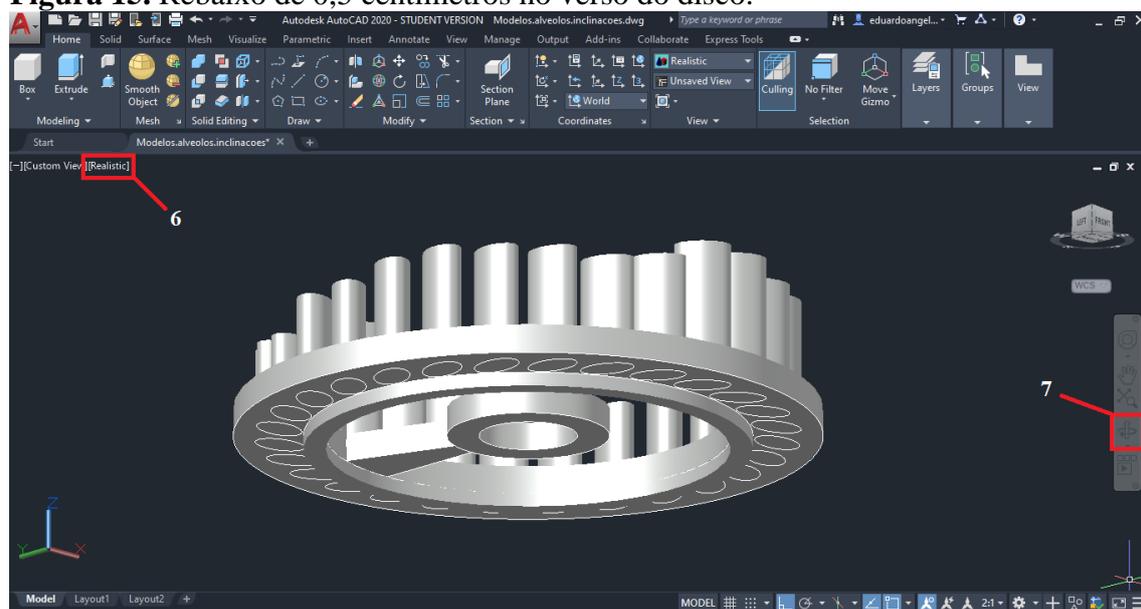
9. Para a modelação do disco em interface 3D deve-se mudar a plataforma para a '3D Modeling' (chamada 3) também, deve-se mudar a vista para 'SW Isometric' (chamada 4). A ferramenta 'Presspull' (chamada 5) permite dar altura para os objetos criados, primeiramente, seleciona-se a ferramenta e as células alveolares com altura qualquer.

**Figura 14.** Plataforma 3D e alvéolos com alturas arbitrárias.



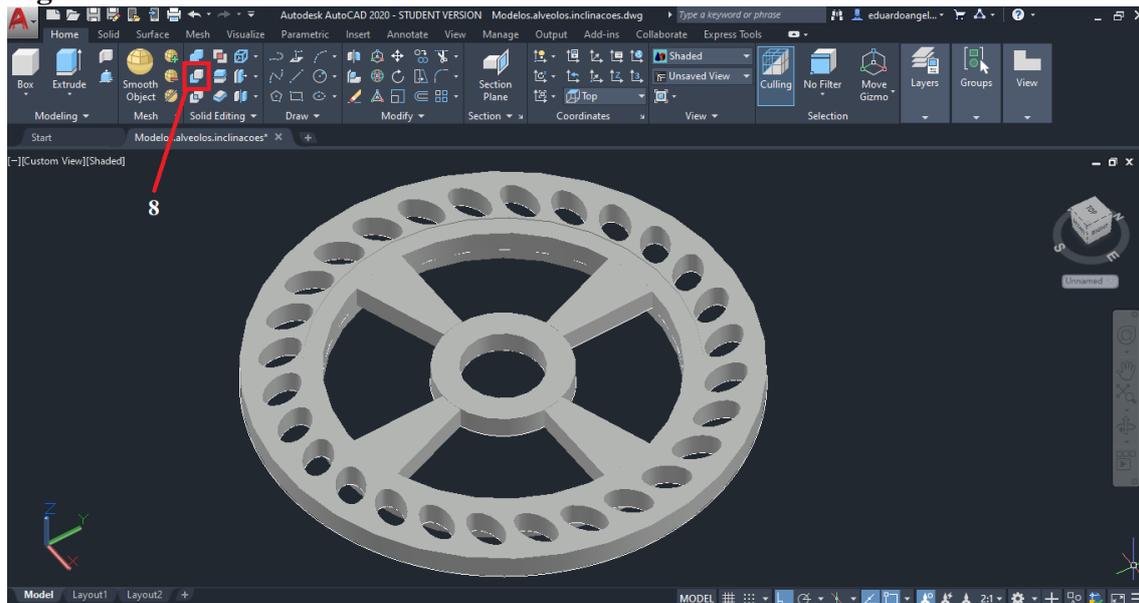
10. O disco contém uma espessura de 1,05 cm. No entanto, o mesmo possui um rebaixo de 0,05 cm no diâmetro de 5,8 cm e nas hastes de design, totalizando 1 centímetro de altura. No verso do mesmo, o diâmetro de 14,4 cm recebe um rebaixo de 0,5 cm (os rebaixos são necessários para o encaixe do disco ao chassi da semeadora). A mudança de estilo de vista, para a ‘Realistic’ (chamada 6) e a ferramenta ‘Orbit’ que admite a movimentação da imagem em torno da peça (chamada 7) facilita a observação do disco.

**Figura 15.** Rebaixo de 0,5 centímetros no verso do disco.



11. A ferramenta ‘Solid Subtract’ (chamada 8) permite a subtração de sólidos, tornando-os um furo. Seleciona-se a ferramenta e o componente desejado do disco (diâmetro da base das células), após confirmar a ação, selecionam-se os alvéolos com as alturas arbitrárias para a subtração, finaliza-se com a tecla ‘Enter’. Após a subtração dos sólidos, os alvéolos se tornarão furos. Na sequência, com a ferramenta ‘Polar Array’ replica-se o número de hastes em 4.

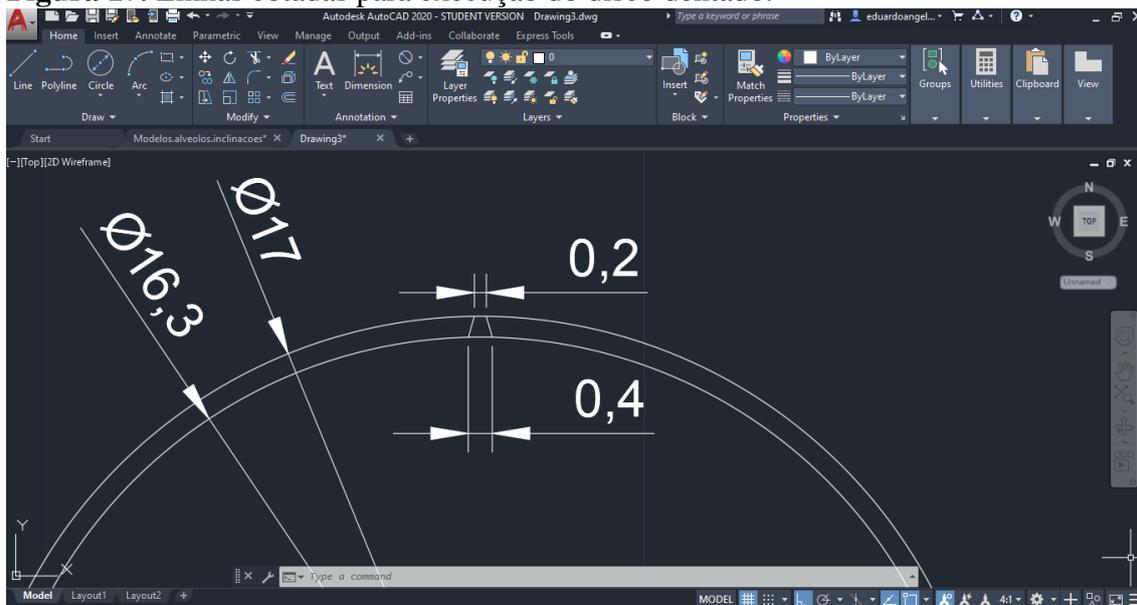
**Figura 16.** Disco mecânico 3D com a ferramenta ‘Solid Subtract’ selecionada.



### 5.4.3 Elaboração do mecanismo dosador pneumático

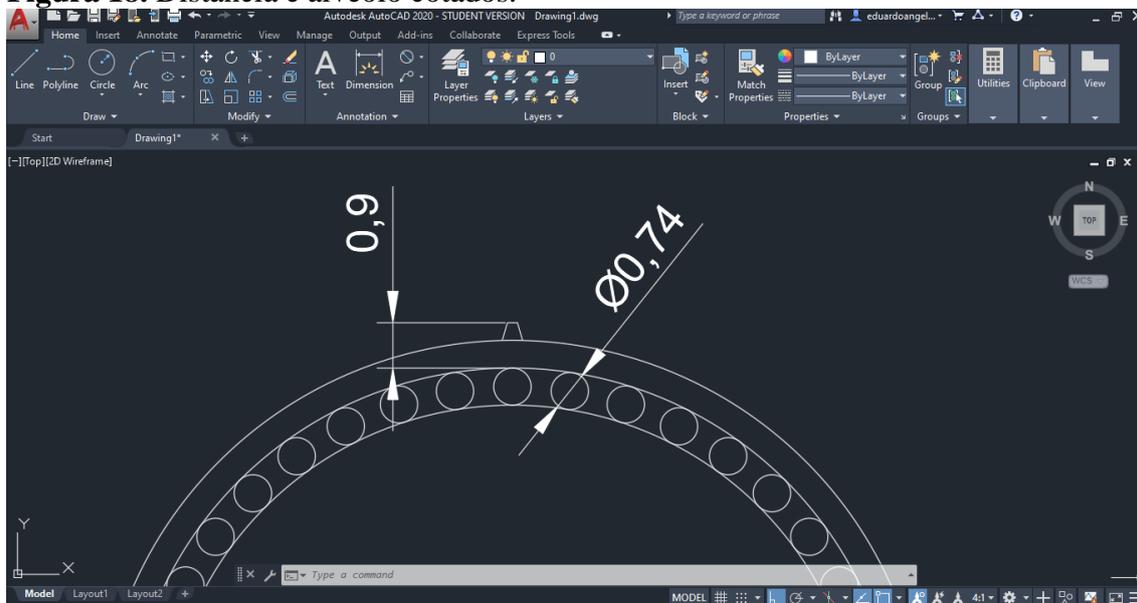
1. O disco pneumático comercial tem 17 cm de diâmetro externo, e um diâmetro interno de 16,3 cm, ou seja, o disco pneumático é análogo a uma coroa dentada, os dentes são afunilados com 0,4 cm de largura na base e 0,2 cm de largura no ápice, sua altura é de 0,35 cm. Para a elaboração dos dentes do disco, utiliza-se a linha de centro, e duas linhas paralelas à esquerda e à direita, com os valores de 0,1 e 0,2 cm. Em seguida, utilizando o comando “Line” é possível unir as extremidades das linhas, formando um trapézio. Feito isso, utiliza-se o comando “Trim” a fim de eliminar as linhas inconvenientes.

**Figura 17.** Linhas cotadas para execução do disco dentado.



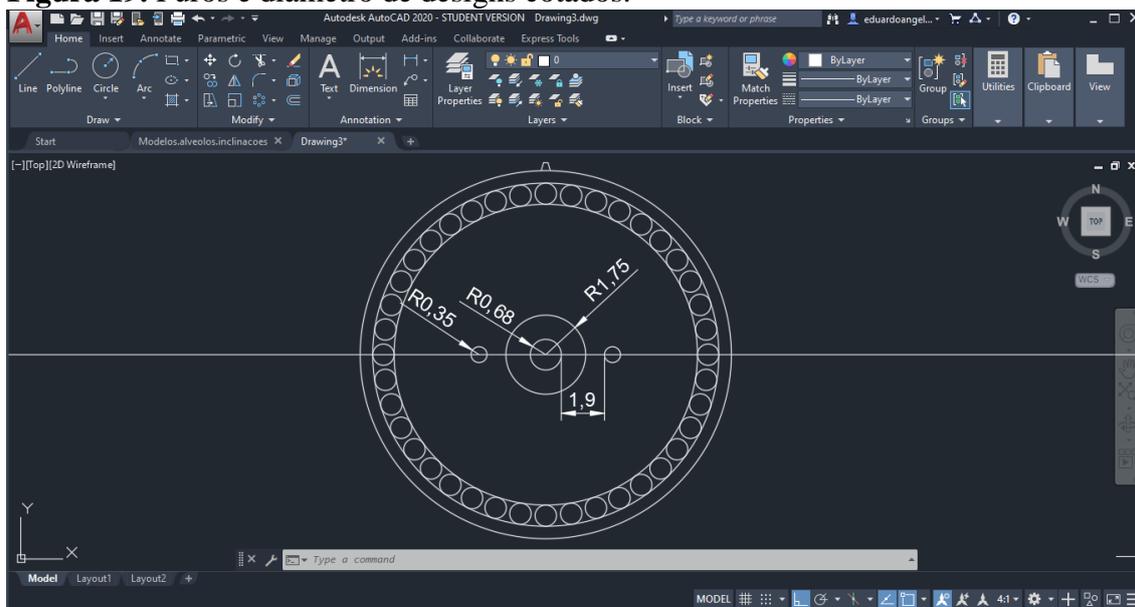
2. A distância entre as os orifícios e o diâmetro externo do disco é de 0,9 cm. Logo, o orifício deverá conter as porcentagens adotadas da área projetada da semente, para esse tutorial será utilizado apenas um valor arbitrário para a demonstração. Sendo esta medida de 0,74 cm. Com a ferramenta 'Polar Array' é possível replicar os alvéolos, o disco pneumático conta com 40 células alveolares.

**Figura 18.** Distância e alvéolo cotados.



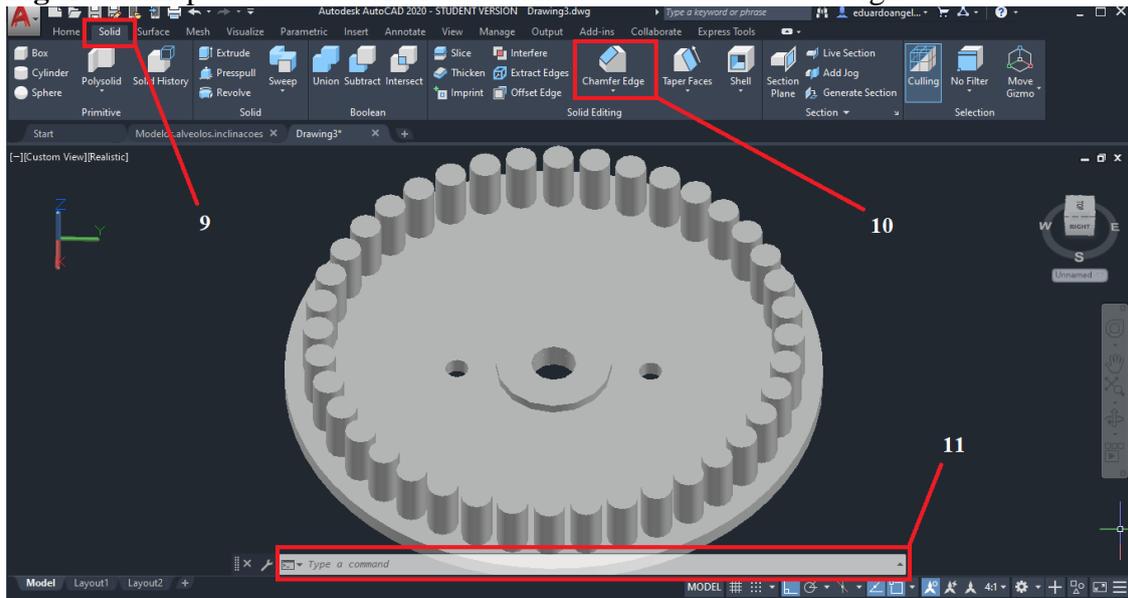
3. O disco pneumático contém três furos equidistantes no ponto central para acoplar-se ao chassi da semeadora, e um diâmetro chanfrado para encaixe fácil no chassi, o furo médio possui um raio de 0,68 centímetros, e estão espaçados a 1,9 centímetros entre os outros dois furos, estes possuem um raio de 0,35 cm, o diâmetro de design possui um raio de 1,75 cm.

**Figura 19.** Furos e diâmetro de designs cotados.

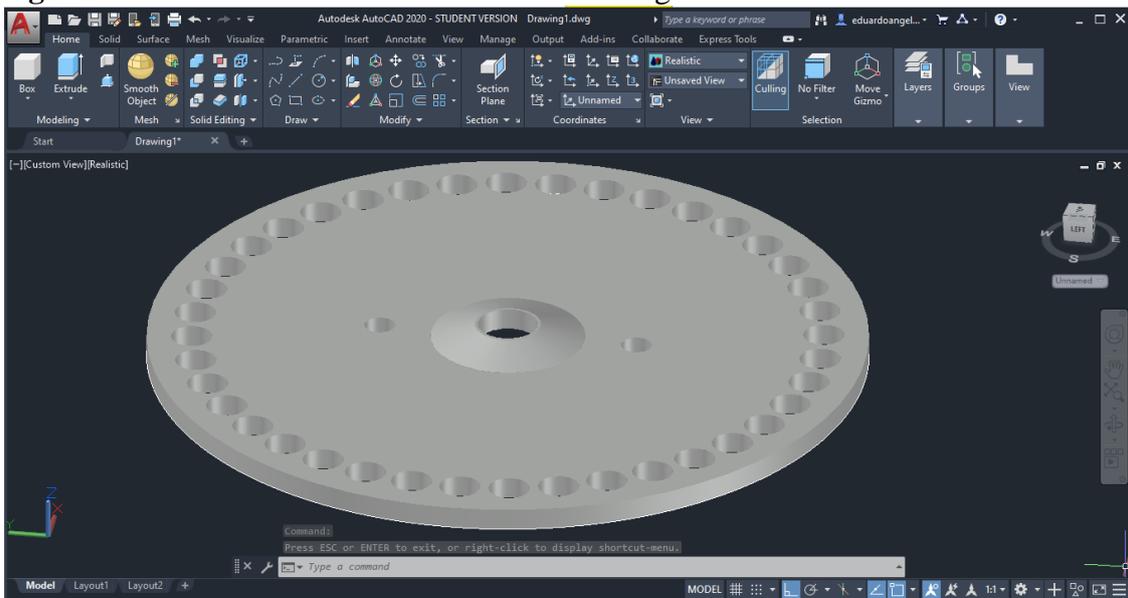


4. Na plataforma '3D Modeling', utiliza-se a ferramenta 'Presspull' para dar altura arbitrária aos alvéolos. O disco pneumático contém 0,5 cm de espessura, logo o diâmetro de design possui 0,8 cm. Na aba 'Solid' (chamada 9) seleciona-se a ferramenta 'Chamfer Edge' (chamada 10) para obter o design do diâmetro. Ao usar a ferramenta, deve-se selecionar o diâmetro de design, em seguida deve-se clicar em 'Distance' localizada na Barra de Ferramentas de Acesso Rápido (chamada 11), após a escolha, deve-se digitar o número '0,3' correspondente à subtração do diâmetro de design (0,5 cm) com a altura do disco (0,8 cm) e confirmar com 'Enter'. No estilo de vista 'Realiste' torna fácil a observação do disco como um sólido.

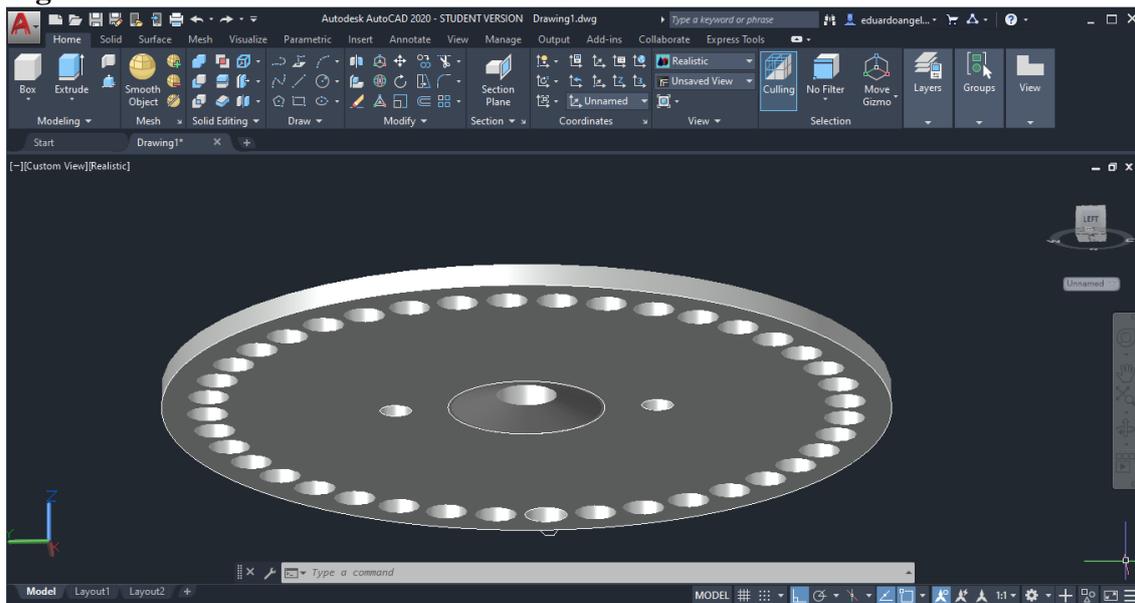
**Figura 20.** Espessuras estabelecidas ao disco e ao diâmetro de design.



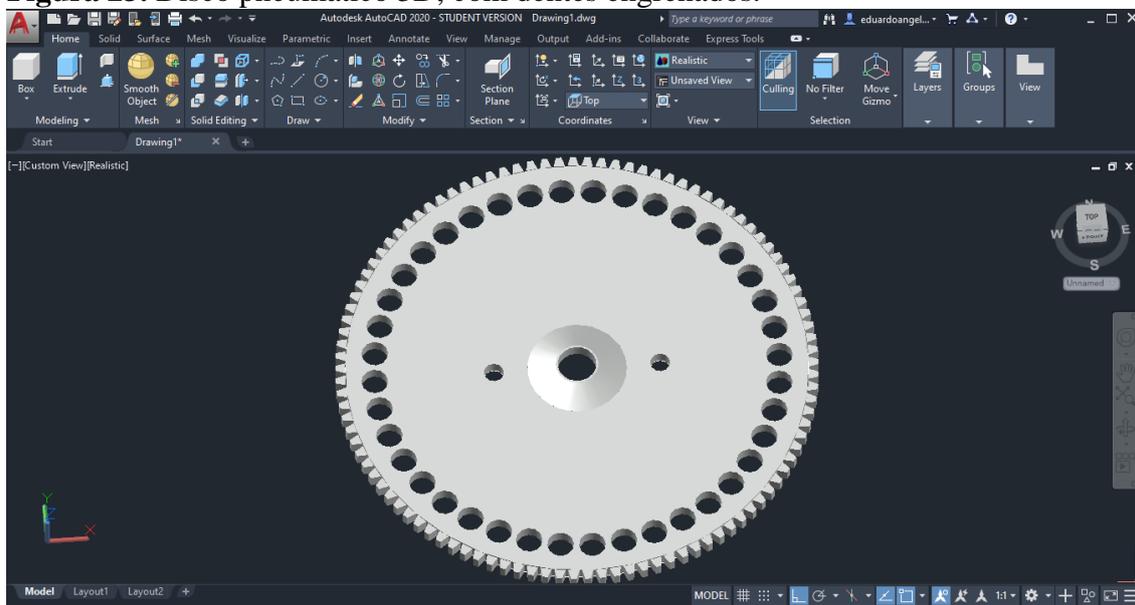
**Figura 21.** Disco com chanfro no diâmetro de design e orifícios subtraídos.



5. Com o auxílio da ferramenta ‘Orbit’ o procedimento de criação de chanfro é repetido no verso do disco, porém em primeiro caso, seleciona-se o furo de raio 0,68 cm, ao invés do diâmetro de design, para assim o método de criação ser refeita.

**Figura 22.** Chanfro formado no verso do disco.

6. Por fim, com a mudança de vista para a 'SW Isometric' é possível utilizar a ferramenta "Presspul" para dar a espessura de 0,5 cm para o dente engrenado, assim, com o auxílio da ferramenta 'Polar Array' podem-se replicar os dentes. O disco conta com 105 dentes.

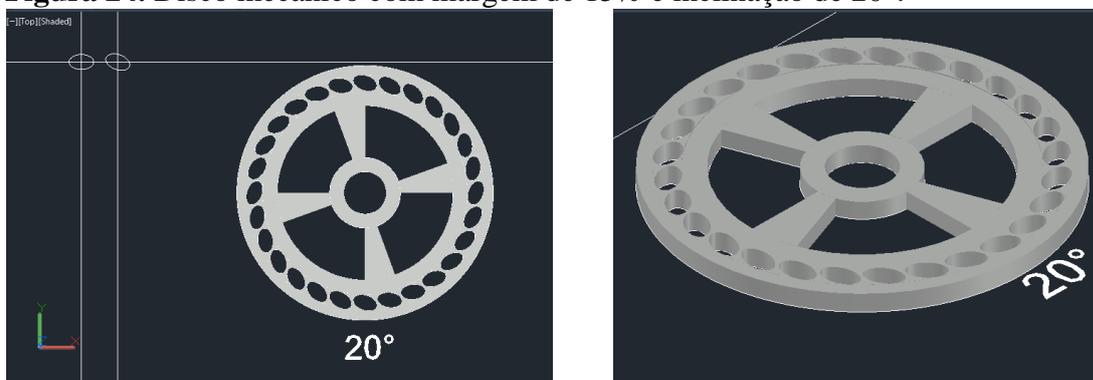
**Figura 23.** Disco pneumático 3D, com dentes engrenados.

## 5.5 Protótipos dos discos dosadores

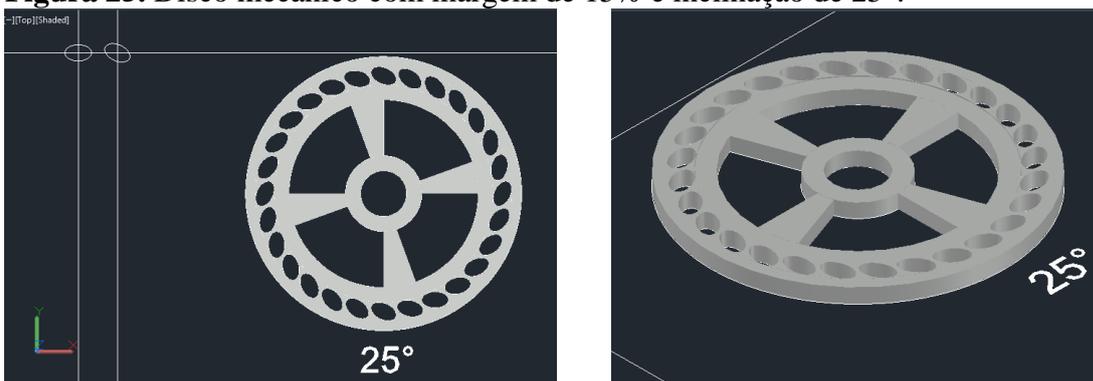
### 5.5.1 Protótipos do mecanismo dosador mecânico

A seguir são apresentados os protótipos dos dosadores mecânicos com as diferentes adequações em relação ao formato e as inclinações dos alvéolos. Para isso, as Figuras 23 a 26 mostram os protótipos com as margens de 15%. Logo, as Figuras 27 a 30 representam os alvéolos com margens de 20%. Por fim, a Figura 31 representa o formato circular do alvéolo mecânico, considerando o maior comprimento das sementes.

**Figura 24.** Disco mecânico com margem de 15% e inclinação de 20°.



**Figura 25.** Disco mecânico com margem de 15% e inclinação de 25°.



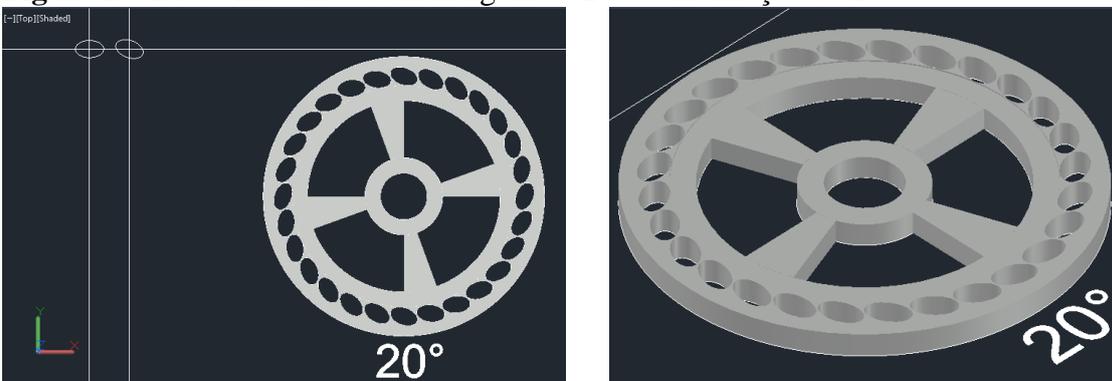
**Figura 26.** Disco mecânico com margem de 15% e inclinação de 30°.



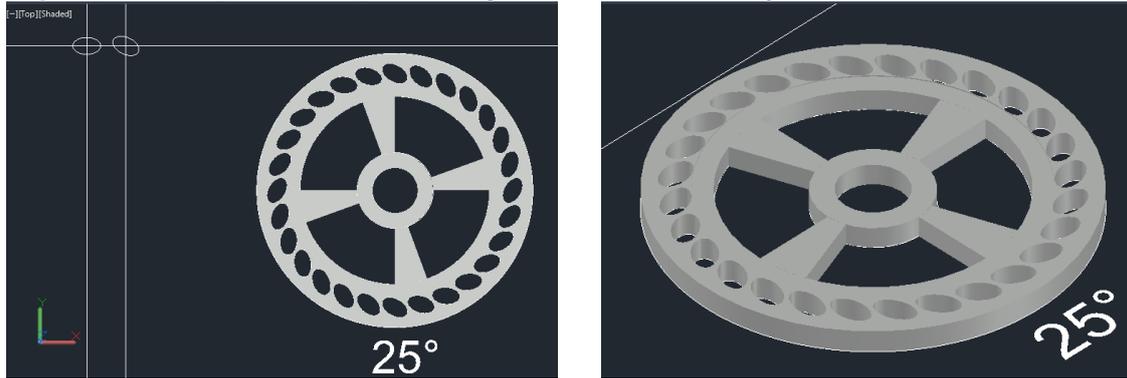
**Figura 27.** Disco mecânico com margem de 15% e inclinação de 45°.



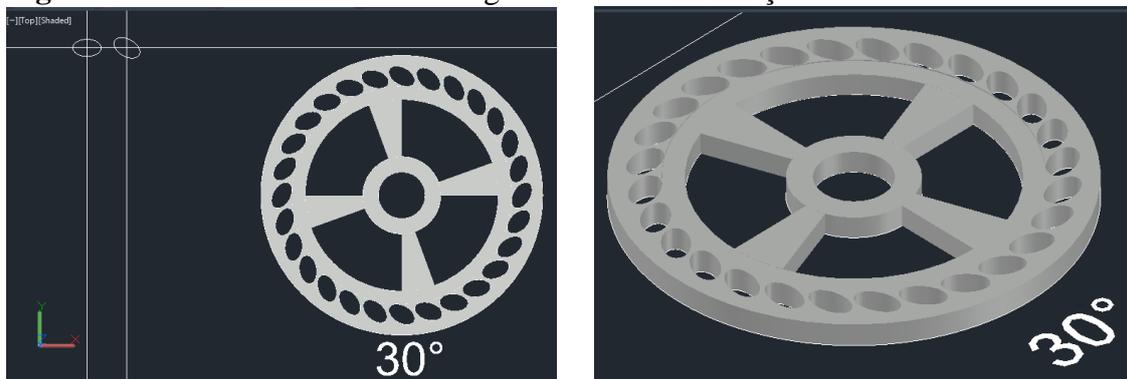
**Figura 28.** Disco mecânico com margem de 20% e inclinação de 20°.



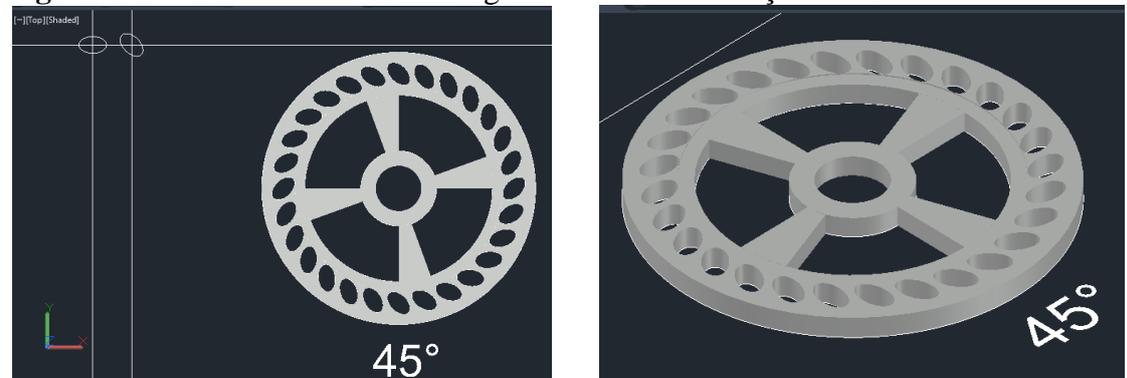
**Figura 29.** Disco mecânico com margem de 20% e inclinação de 25°.



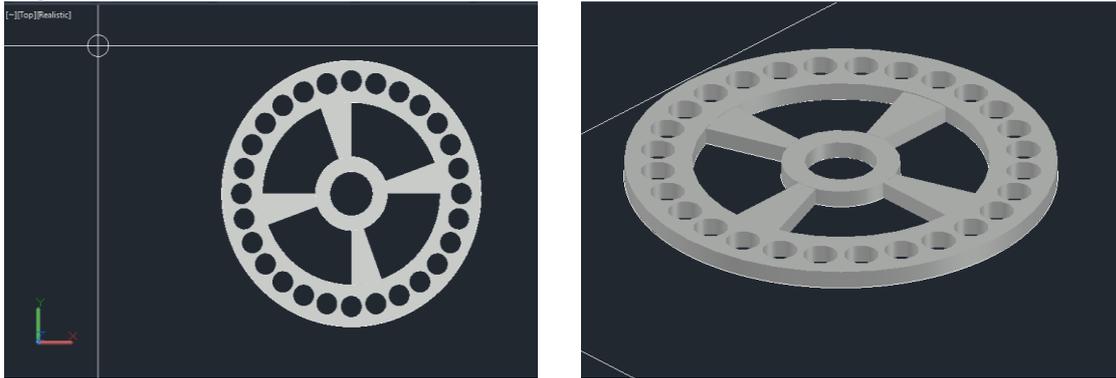
**Figura 30.** Disco mecânico com margem de 20% e inclinação de 30°.



**Figura 31.** Disco mecânico com margem de 20% e inclinação de 45°.



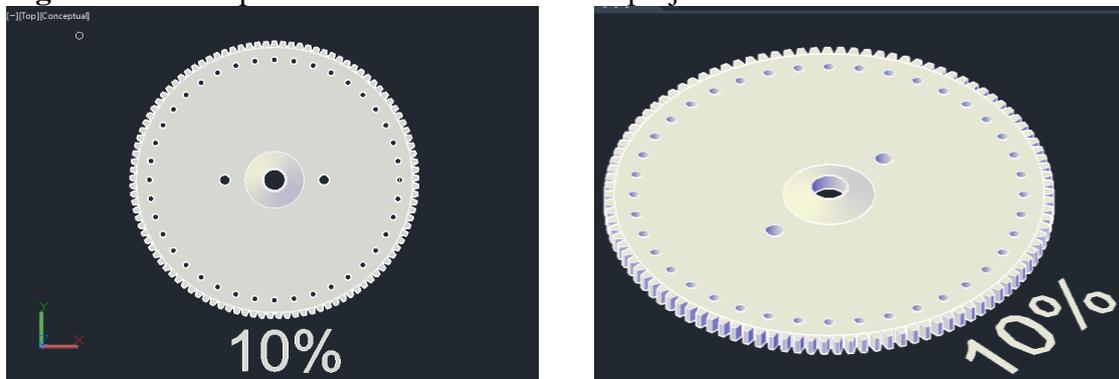
**Figura 32.** Disco mecânico com alvéolo circular.



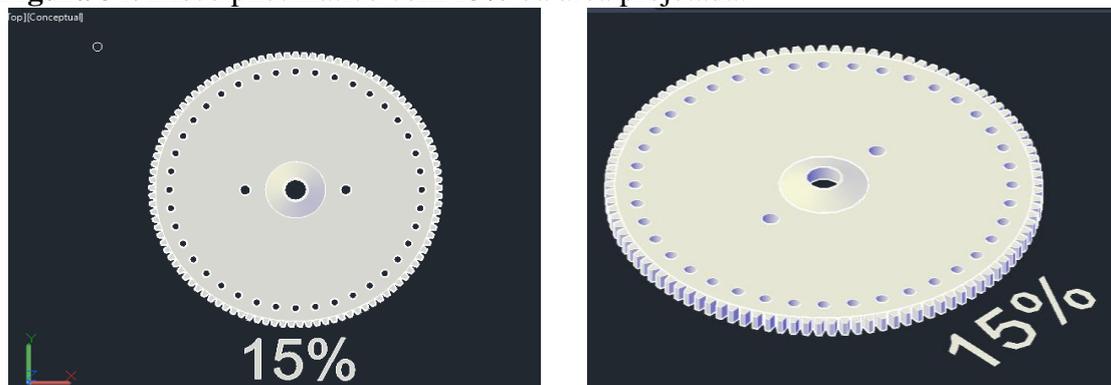
### 5.5.2 Protótipos do mecanismo dosador pneumático

A seguir são apresentados os protótipos dos dosadores pneumáticos com as diferentes adequações em relação ao formato dos orifícios. As figuras 32 a 37 mostram os discos criados com as porcentagens descritas anteriormente da área projetada da semente.

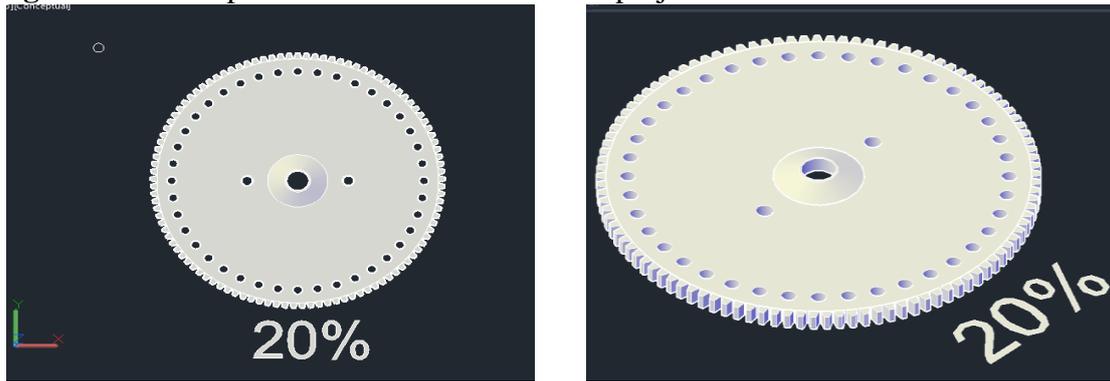
**Figura 33.** Disco pneumático com 10% da área projetada.



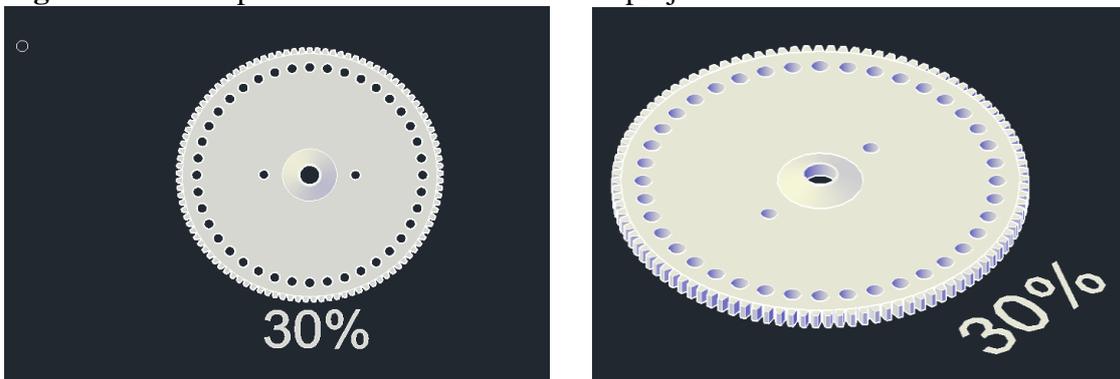
**Figura 34.** Disco pneumático com 15% da área projetada.



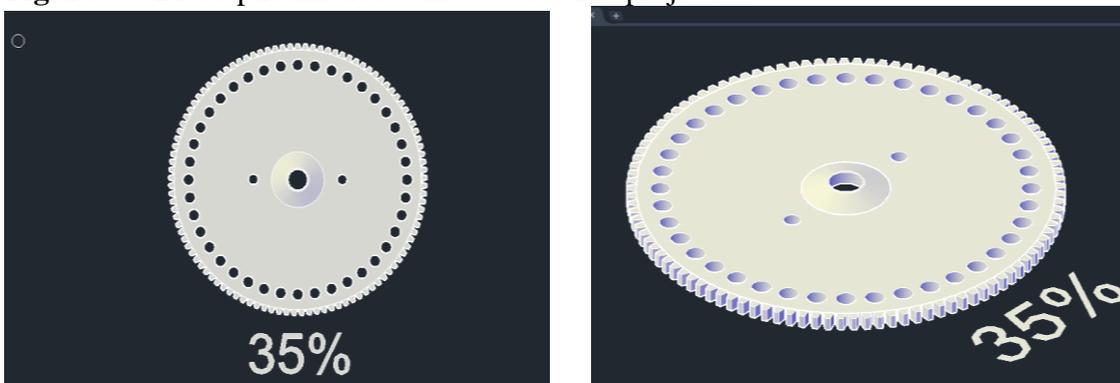
**Figura 35.** Disco pneumático com 20% da área projetada.



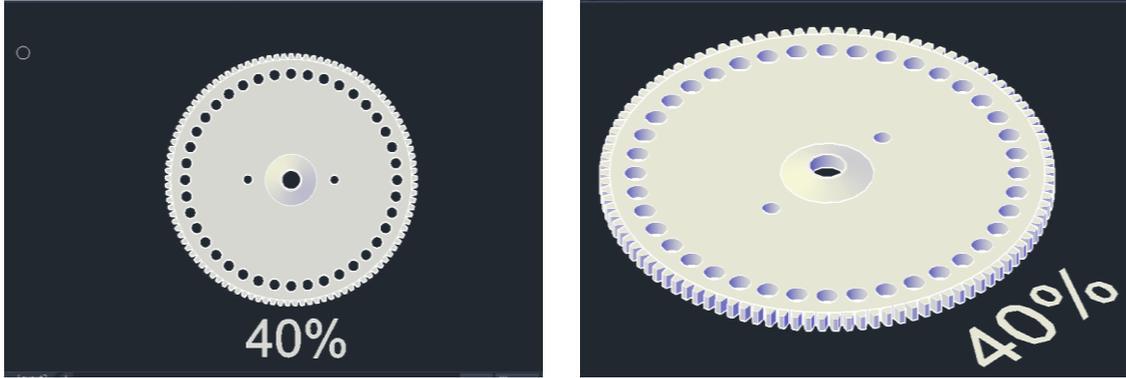
**Figura 36.** Disco pneumático com 30% da área projetada.



**Figura 37.** Disco pneumático com 35% da área projetada.



**Figura 38.** Disco pneumático com 40% da área projetada.



## 6 CONCLUSÕES

A variedade IAC 503 apresentou as maiores médias das características lineares e físicas dentre as variedades de amendoim, possuindo valores de 17,636 mm de comprimento e área projetada da semente de 142,05 mm<sup>2</sup>, sendo fundamental para o dimensionamento dos alvéolos e orifícios dos discos dosadores.

A mecânica de enchimento dos alvéolos permitiu determinar a velocidade periférica do disco dosador mecânico de 43,65 rpm para dosar as três variedades. Essa velocidade é a base para o correto funcionamento do sistema mecânico.

Por outro lado, com a determinação da pressão negativa foi possível constatar que o sistema pneumático demanda mais pressão para aprisionar as sementes no disco, à medida que o número de sementes por metro no sulco de semeadura e a velocidade de deslocamento da máquina aumentam, especialmente para a densidade de 20 sementes m<sup>-1</sup> a uma velocidade de 6,0 km h<sup>-1</sup> que necessita de 183,6 kPa de pressão.

## 7 REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR/9743 – Semeadoras de fluxo contínuo em linha – ensaio de laboratório**. São Paulo: Fórum Nacional de Normalização, 1987.16p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Projeto de norma 04: 015.06-004: Semeadoras de Precisão – método de ensaio de laboratório**. Rio de Janeiro, 1994.7p.

ACRONSOFT. **Soluções em softwares e hardwares**. Disponível em: <<https://www.acronsoft.com.br/makerbot/>>. Acesso em: 05 de jun. 2020.

ARAÚJO, W. D.; GONELI, A. L. D.; SOUZA, C. M. A.; GONÇALVES, A. A.; VILHASANTI, H. C. B. **Propriedades físicas dos grãos de amendoim durante a secagem**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.18, n.3, p.279–286, 2014.

BALASTREIRE, L. A. **Máquinas Agrícolas**. Piracicaba. 2005. 322p.

BALASTREIRE, L. A. **Máquinas Agrícolas**. São Paulo: Editora Manole, 1987. 264 p.

BAUDET, L.; POPINIGIS, F. & PESKE, S. **Danificações mecânicas em sementes de soja transportadas por um sistema de elevador secador**. R. Bras. Armaz. Viçosa, 3(4): 29-38, 1978.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: SNDA/DNDV/CLAV, 2009. Cap.7, p.307-323. Disponível em: <[http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946\\_regras\\_analise\\_\\_sementes.pdf](http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise__sementes.pdf)>. Acesso em: 05 jun. de 2020.

BUTIERRES, E.; CARO, S.M. **Análise da uniformidade de espaçamento e danificação mecânica na distribuição de sementes de soja (Glycine max (L.) Merrill)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 11, Brasília, 1981. Anais. Brasília: SBEA, 1983. v.3, p.1161-1168.

CARPES, D.; P. **Desenvolvimento e avaliação de um mecanismo adaptável em dosador pneumático para individualização de sementes de arroz**. Tese de Doutorado - UFSM, RS. p.128. 2019.

CARVALHO, N.M & NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 2ª.ed. Campinas, Fundação Cargil, 1983. 30p.

COELHO, J. L. D. **Ensaio e Certificação das máquinas agrícolas para semeadura**. In: MIALHE, L. G. (Org.). **Máquinas Agrícolas: Ensaio e Certificação**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1996. P 551-570.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v.7 Safra 2019/20 – Quinto levantamento.** Brasília, p. 1-112. Fev 2020.

DANCEY, Christine & REIDY, John. **Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows.** Porto Alegre, Artmed, 2006.

Embrapa Informação Tecnológica - Embrapa. **Amendoim: o produtor pergunta, a Embrapa responde.** Brasília, DF. p. 240, 2009.,

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Visão 2014–2034: O futuro do desenvolvimento tecnológico da agricultura.** Cultivo do Feijão Irrigado na Região Noroeste de Minas Gerais. Sistemas de Produção, n. 5, 2005.

EMBRAPA. **Visão 2014–2034: O futuro do desenvolvimento tecnológico da agricultura brasileira.** Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/documents/1024963/1658076/O+Futuro+de+Desenvolvimento+Tecnol%C3%B3gico+da+Agricultura+Brasileira+++s%C3%ADntese.pdf/ddb0a147-234d-47f1-8965-1959ef82311d>> Acesso em: 10 mai. de 2020.

FERRARI, R. A.; OLIVEIRA, V. S.; SCABIO, A. **Biodiesel de soja: Taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em geradores de energia.** Química Nova, v.18, p.19-23, 2005.

FRANCETTO, T. R.; DAGIOS, R. F.; LEINDECKER, J. A.; ALONÇO, A. S.; FERREIRA, M. F. **Características dimensionais e ponderais das semeadoras adubadoras de precisão no Brasil.** Tecnológica, Santa Cruz do Sul, v.19, n.3, p. 18-24, 2015.

GARCIA, R.F.; VALE, W. G.; OLIVEIRA, M. T. R.; PEREIRA, E. M.; AMIM, R. T.; BRAGA, T.B. **Influência da velocidade de deslocamento no desempenho de uma semeadora-adubadora de precisão no Norte Fluminense.** Acta Scientiarum. Agronomy, Maringá, PR, v. 33, n. 3, p.417-422, jan. 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/asagr/v33n3/v33n3a05.pdf>. Acesso em: 14 mai. 2020.

GAZZOLA, J.; VOLTARELLI, M.A.; FRANCETTO, T. R. **AutoCAD: Ferramentas Essenciais Para Projetos Aplicados às Ciências Agrárias.** 1 Ed. Jaboticabal, Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2019. 149p.

GODOY, I. J.; BOLONHEZI, D.; MICHELOTTO, M. D.; FINOTO, E. L.; KASAI, F. S.; FREITAS, R. S. Amendoim, *Arachis hypogaea* L. In: Aguiar, A. T. E.; Gonçalves, C.; Paterniani, M. E. A. G. Z.; Tucci, M. L. S.; Castro, C. E. F. **Boletim IAC 200: Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas.** 7.<sup>a</sup> Ed. rev. e atual. Campinas: Instituto Agrônomo, 2014, p. 22-27.

GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; BOTELHO, F. M.; OLIVEIRA, G. H. H.; SANTOS, E. S. **Propriedades físicas dos frutos de mamona durante a secagem.** Revista Brasileira de Armazenamento, v.33, p.148-155, 2008.

HARRINGTON, J. **Packaging seed for storage and shipment.** Seed Science and Technology, 1(3): 701-709.1973.

IEA, Instituto de Economia Agrícola. **Análises e indicadores do agronegócio.** São Paulo, v. 14, n. 4, abril 2019. Disponível em: < <http://www.iea.sp.gov.br/ftp/iea/AIA/AIA-23-2019.pdf> >. Acesso em: 07 abr. 2020.

KRZYŻANOWSKI, F.C.; FRANÇA NETO, J.B.; COSTA, N.P. **Efeito da classificação de sementes de soja (Glycine max (L.) Merrill) por tamanho sobre a qualidade e a precisão de semeadura.** Revista Brasileira de Sementes, Brasília, v.13, n.1, p.59-68, 1991.

LOW, Z. X.; CHUA, Y. T.; RAY, B. M.; MATTIA, D.; METCALFE, I. S.; & PATTERSON, D. A. **Perspective on 3D printing of separation Membranes and comparison to related unconventional fabrication techniques.** Journal of Membrane Science, v. 523, p. 596-613, 2017.

MACHADO, A. L. T.; REIS, A. V.; MORAES, M. L. B.; ALONÇO, A. S. **Máquinas para preparo do solo, semeadura, adubação e tratamentos culturais.** 2. ed. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária, 2005. v. 1. 257p.

MERCANTE, E.; SILVA, S.L.; MODOLO, A.J. & SILVEIRA, J.C.M. **Demanda energética e distribuição de sementes de milho em função da velocidade de duas semeadoras.** R. Bras. Eng. Agríc. Amb., 9:424-428, 2005.

MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas para plantio.** Campinas: Millennium, 623 p. 2012.

MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas, ensaios e certificação.** Piracicaba, SP: Fundação de estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1996.

MOHSENIN, N. N. **Physical properties of plant and animal materials.** New York: Gordon and Breach Publishers, 1986. 841p.

MONTEIRO, L.R. **Desenvolvimento e análise de uma semadora pneumática de grãos.** Dissertação de Mestrado. Campinas: UNICAMP - Faculdade de Engenharia Agrícola. 122. 1989.

NAKAGAWA, J.; LASCA, D.C.; NEVES, J.P.S.; NEVES, G.S.; SANCHEZ, S.V.; BARBOSA, V.; SILVA, M.N.; ROSSETTO, C.A.V. **Efeito da densidade de semeadura na produção de amendoim.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.29, n.10, p.1547-1555, 1994.

NOIMAN, S. A.; BROWN, L. D.; BUJA, A.; ROLKE, W. R.; STINE, R. A. **The power to see: A new graphical test of normality.** The American Statistician, v.67, n.4, p. 249-260, 2013.

OGLIARI, A. **Estudo e desenvolvimento de mecanismos dosadores de precisão de máquinas semeadoras.** Dissertação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil. 165p. 1990.

PANNING, J. W.; KOCHER, M.F.; SMITH, J.A.; KACHMAN, S.D. **Laboratory and field testing of seed spacing uniformity for sugarbeet planters.** Transactions of the ASAE, v. 16, n. 1, p.7, 2000.

PIMENTEL-GOMES, **Curso de Estatística Experimental.** Piracicaba-SP. ESALQ/USP, 1985.

RATTNER, H. **Produtividade e desenvolvimento.** *Revista de administração de empresas.* São Paulo, v. 7, n. 25, p. 53-78, dez. 1967. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S003475901967000400002n=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S003475901967000400002n=pt&nrm=iso)>. Acesso em 07 abr. 2020.

REIS, A. V.; FORCELLINI, F. A.; RAMOS, U. A. P. **Avaliação do diâmetro do orifício e da pressão de ar na dosagem pneumática de sementes de arroz.** *Revista Brasileira de Agrociência,* Pelotas, v. 12, n. 2, p. 191 – 197, abr./jun. 2006.

REIS, J. F. S. **Desenvolvimento e projeto de impressora DMF para Impressão multicolor.** Dissertação de Mestrado. Universidade de Aveiro. Portugal, 132p. 2016.

ROMANINI JUNIOR., A. **Influência do espaçamento de plantas no crescimento, produtividade e rendimento do amendoim rasteiro, cultivar Runner IAC 886.** p. 38- 39, 2007. (Dissertação de Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias; Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007.

SEGUNDO, R. G. **Diseño de un sistema inteligente dosificador de semilla, basada en el uso de microcontroladores (Fase 1: Evaluación de dosificadores neumáticos. Tesis de licenciatura.** Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo. Coahuila; México. 2004.

SHORT T. H.; HUBER, S.G. **The development of a planetary-vacuum seed metering device.** Transactions of the ASAE, St. Joseph, p. 803-805, 1970.

SILVA, S.L. **Projeto e construção de um sistema de aquisição de dados para avaliação do desempenho energético de máquinas e implementos agrícolas.** 1997. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura)-UNESP, Botucatu, 1997.

SIQUEIRA, R. Milho: **Semeadoras-adubadoras para sistema plantio direto com qualidade.** Londrina, Paraná, 2008.

SOUZA, M. A. C. **Aplicações do software AutoCad em engenharia.** In: Congresso de Extensão Universitária da UNESP, 8., 2015, Guaratinguetá. p. 1-4, 2015.

TOLEDO, A.; TABILE, R. A.; GROTTA, D. C. C.; CORTEZ, J. W.; FURLANI, C. E. A. **Desempenho de trator agrícola atuando com 5% de biodiesel em operação de semeadura.** *Engenharia na Agricultura,* v. 17, n. 3, p. 205-214. 2009.

TOURINO, M. C. C.; REZENDE, P. M.; SALVADOR, N. **Espaçamento, densidade e uniformidade de semeadura na produtividade e características agronômicas da soja.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira,* Brasileira, v.37, n.8 p.1071-1077, 2002.