

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ENGENHARIA MECÂNICA

WILLIAN DE ALMEIDA LUZ

**DESGASTE EM FERRAMENTAS DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS:
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA

2019

WILLIAN DE ALMEIDA LUZ

**DESGASTE EM FERRAMENTAS DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS:
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, do Departamento de Engenharia Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Claudia Santos Fiuza Lima

LONDRINA

2019



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Londrina

Diretor Sidney Alves Lourenço
Coordenação Rafael Sene de Lima
Engenharia Mecânica



TERMO DE APROVAÇÃO

**DESGASTE EM FERRAMENTAS DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS: REVISÃO
BIBLIOGRÁFICA**

por:

WILLIAN DE ALMEIDA LUZ

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em preencher o dia de preencher o mês de preencher o ano como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Claudia Santos Fiuza Lima
Prof^a. Orientadora

Haustin Stelmastchuk Vieira
Membro titular

Janaína Fracaro de Souza Gonçalves
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

Dedico este trabalho àqueles que tiveram
paciência comigo durante este período da
minha vida.

AGRADECIMENTOS

Existem muitas pessoas a quem devo agradecer, contudo, para não me comprometer, serei breve.

Agradeço à minha orientadora Prof^a. Dr^a. Cláudia, por tanta atenção, paciência, disponibilidade e sabedoria com a qual me guiou nesta jornada; e aos professores Haustin e Janaína que dispuseram do seu tempo para avaliar meu trabalho.

Gostaria de agradecer à minha família e amigos, que estiveram do meu lado nos momentos mais difíceis e acreditaram em mim quando nem mesmo eu acreditei.

Eu denomino meu campo de Gestão do
Conhecimento, mas você não pode
gerenciar conhecimento. Ninguém pode.
O que você pode fazer, o que a empresa
pode fazer é gerenciar o ambiente que
otimize o conhecimento.
(PRUSAK, Laurence, 1997)

RESUMO

LUZ, Willian de Almeida. **Desgaste em Ferramentas de Máquinas Agrícolas: Avaliação Bibliográfica**. 2019. 47 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2019.

A influência e necessidade da mecanização no campo vem aumentando ano a ano e uma preocupação da comunidade agrícola é o desgaste prematuro das ferramentas; pois a fratura das mesmas inutiliza a máquina, sendo necessária uma manutenção corretiva, resultando em perda de produtividade. Com o advento da indústria 4.0, todos os setores estão se obrigando a passar por modificações e no agronegócio não é diferente: novas tecnologias são implantadas, novas habilidades de profissionais são exigidas e novas tendências são observadas. Tendo em vista a criticidade deste assunto, este trabalho tem por objetivo realizar uma pesquisa bibliográfica sobre as novas tendências dos estudos que estão sendo realizados pela comunidade científica no tema abordado, avaliando-os sob um ponto de vista crítico.

Palavras-chave: Arado, Colhedora, Adubadora.

ABSTRACT

LUZ, Willian de Almeida. **Wear on Agricultural Machinery Tools: Bibliographic Assessment**. 2019. 47 sheets. Course Completion Work (Bachelor of Mechanical Engineering) - Federal Technological University of Paraná. Londrina, 2019.

The influence and need for mechanization in the field has been increasing year by year and a concern of the farming community is the premature wear of the tools; as their fracture renders the machine unusable and corrective maintenance is required, resulting in lost productivity. With the advent of industry 4.0, all sectors are forcing themselves to change and agribusiness is no different: new technologies are deployed, new professional skills are required and new trends are observed. Given the criticality of this subject, this paper aims to conduct a bibliographic research on the new trends of the studies that are being conducted by the scientific community on the topic addressed, evaluating them from a critical point of view.

Keywords: Plow, Harvester, Fertilizer Machinery.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Principais tipos de desgastes.....	17
Figura 2 - Fluxograma das Máquinas de Preparo do Solo	19
Figura 3 – Arado de Aivecas	19
Figura 4 – Escarificador	20
Figura 5 – Subsolador	20
Figura 6 - Cultivador Múltiplo.....	21
Figura 7 - Semeadora-adubadora	23
Figura 8 - Fluxo da cultura em uma colhedora tangencial.....	25
Figura 9 - Mecanismos de uma colhedora do tipo axial	25
Figura 10 - Representação de mecanismos de uma colhedora híbrida.	26
Figura 11 - Etapas da Revisão Sistemática da Literatura	27
Figura 12 - Diferentes tipos de arados rotativos utilizados no estudo: (A) Grade (B) Enxada Rotativa de Trator (C) Enxada Rotativa de Motor Próprio.....	30
Figura 13 - Diagrama do dispositivo para o ensaio de amostras da resistência ao desgaste abrasivo: 1 - abrasivo; 2 - Amostra; 3 - Eixo; 4 - corpo; 5 - Arruela; 6 - Mancal; 7 – Capa	32
Figura 14 - Vista posterior de uma ponteira inicialmente (A), após a primeira área (B) e após a segunda área (C).....	35
Figura 15 - ilustração indicando os mecanismos do implemento agrícola de lança ..	36
Figura 16 - Palhetas em estudo de diferentes materiais: aço inoxidável, revestida com solda e original 1020, respectivamente	36
Figura 17 - Diferentes revestimentos aplicados nas ponteiras, conjuntos 1, 2, 3, 4, 5 e 6 respectivamente	37
Figura 18 - Evolução do desgaste nas ponteiras a cada 30.000 m. A – Frontal, B – Lateral	39
Quadro 1 - Classificação dos desgastes	16
Gráfico 1 - Desgastes em porcentagem.....	18
Gráfico 2 - Perda de massa em função do tempo (A) e em função do número de revoluções (B), para rotações de 141, 171 e 201 rpm	30
Gráfico 3 - Desgaste das amostras de aço 45 para diferentes acabamentos superficiais: tratamento térmico volumétrico (TTV), tratamento térmico a laser (TTL), soldagem por indução (SI) e soldagem a laser (SL)	32
Gráfico 3 - Desgaste das amostras de aço 45 para diferentes acabamentos superficiais: tratamento térmico volumétrico (TTV), tratamento térmico a laser (TTL), soldagem por indução (SI) e soldagem a laser (SL)	32
Gráfico 4 - Alteração do coeficiente de mudança de forma de acordo ao longo da operação utilizando diferentes acabamentos superficiais: 1 - Tratamento térmico volumétrico, 2 - Tratamento térmico a laser, 3 - Soldagem por indução, 4 - Soldagem a laser	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Nível de Mecanização 2017	14
Tabela 2 - Evolução da perda percentual média	38
Tabela 3 - Desgaste, altura de corte e danos para cada face de corte	40

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

LISTA DE ABREVIATURAS

Prof ^a .	Professora
Dr ^a .	Doutora
ha	Hectare
µm	Nanômetro
mm	Milímetro
cm	Centímetro
m	Metro
min	Minuto
h	Hora
g	Gramma
Cr	Cromo
Mo	Molibdênio
Ni	Níquel
Si	Silício
Mn	Manganês
C	Carbono
HRC	Rockwell C

LISTA DE SIGLAS

RSL	Revisão Sistemática da Literatura
rpm	Rotações por Minuto
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>

LISTA DE ACRÔNIMOS

AGEITEC	Agência Embrapa de Informação Tecnológica
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
FEAGRI	Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVO GERAL	14
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
1.3 JUSTIFICATIVA.....	15
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
1.4 DESGASTE	16
1.5 MÁQUINAS DE PREPARO DO SOLO	19
1.6 ADUBADORAS.....	21
1.6.1 Adubadoras por Precipitação.....	22
1.6.2 Semeadora-Adubadora por Depósito	23
1.7 MÁQUINAS COLHEDORAS DE GRÃOS	24
1.7.1 Classificação das Colhedoras.....	24
2 METODOLOGIA.....	27
3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS TRABALHOS.....	29
3.1 MÁQUINAS DE PREPARO DO SOLO	29
3.1.1 Arados	29
3.1.2 Escarificadores	33
3.2 ADUBADORAS.....	35
3.2.1 Adubadoras por Precipitação.....	35
3.2.2 Semeadora-Adubadora por Depósito	37
3.3 COLHEDORAS.....	39
4 DISCUSSÃO DOS TRABALHOS	41
5 CONCLUSÃO.....	43
REFERÊNCIAS.....	44

1 INTRODUÇÃO

A agricultura teve influência em diversas mudanças comportamentais da sociedade ao longo da história. O homem primitivo, por exemplo, utilizava da coleta de frutas, caça e pesca para se alimentar, por isso precisavam estar em constante movimento, visto que os recursos eram limitados. Somente a partir do cultivo da terra que foi possível se estabelecer em uma área, exercendo domínio sobre as condições de sobrevivência e, futuramente, se apropriando da terra, criando-se as primeiras civilizações agrícolas. Pode-se atribuir também à agricultura a transição para o modal de civilizações comerciais, uma vez que foram os excedentes agrícolas que criaram as condições para tal transição. Excedentes estes que foram a base da economia fisiocrata do século XVIII e deixou grandes influências para a economia política clássica difundida por Adam Smith (CORAZZA e MARTINELLI JÚNIOR, 2002).

Com o advento das máquinas a vapor, proveniente da Revolução industrial do século XIX, a mão de obra humana passou a ser substituída também na agricultura, contudo a produtividade biológica das lavouras era um fator limitante (GOODMAN e REDCLIFT, 1991). Estudos foram realizados com o intuito de mudar este panorama e baseado nas comprovações empíricas de Justus Von Liebig, passou-se a utilizar fertilizantes sintéticos na Europa (VEIGA, 1994). Neste mesmo período, eram observadas muitas perdas decorrentes de pestes e fungos, o que estimulou a realização de pesquisas focadas no desenvolvimento de agrotóxicos, sobretudo nos Estados Unidos, para erradicar ou atenuar tais perdas (STETTER, 1993). Outro grande avanço no ramo foram as sementes geneticamente modificadas, criadas no início do século XX; esta tecnologia fez com que a produtividade média dos cereais dobrasse em um período de 30 anos (PRETTY, 1995).

Para acompanhar o aumento do nível de produtividade, a mão de obra mecanizada começou a se difundir no Brasil, com maior intensidade, ao longo da segunda metade do século XX. Segundo levantamentos do IBGE, em 1960 o nível de mecanização era em torno de 400 ha/trator; esse número evoluiu para 93 ha/trator em 1990 e o último senso de 2017 mostra um valor de 65 ha/trator. Apesar de o índice ter apresentado grande evolução, ainda está aquém dos padrões mundiais; países mais eficientes, como o EUA, dispõem de 40 ha/trator (PORTELLA, 1993).

A relação de área plantada por colhedora também melhorou: em 1986 o índice era de 1547 ha/colhedora, ele passou para 700 ha/colhedora em 1990 e para 463

ha/colhedora no último senso de 2017. A Tabela 1 indica o nível de mecanização atual no país.

Tabela 1 - Nível de Mecanização 2017

Região	Tratores (ha/máquina)	Semeadoras (ha/máquina)	Colhedoras (ha/máquina)	Adubadoras (ha/máquina)	Total (ha/máquina)
Brasil	65	223	463	316	40
Norte	70	361	1.025	573	51
Nordeste	144	668	1.374	1.249	100
Sudeste	40	233	353	176	26
Sul	41	100	249	185	23
Paraná	65	150	369	298	35
Santa Catarina	14	48	140	64	9
Rio Grande do Sul	37	83	198	166	20

Fonte: adaptado de IBGE - Levantamento Sistemático da Produção Agrícola

A partir deste incremento de frota, novas preocupações surgiram. Para Stachowiak (2001), durante o projeto de uma máquina agrícola é necessário o completo entendimento das variáveis operacionais do equipamento, para que o desgaste causado por partículas abrasivas não acarrete em grandes problemas.

Diante de tal contexto, torna-se importante realizar estudos de desgaste com o enfoque em máquinas agrícolas, visto que isso influencia nos custos e na produtividade.

Este trabalho apresentará algumas informações sobre pesquisas realizadas com relação ao desgaste de peças agrícolas, evidenciando qual o foco dos estudos que estão sendo realizados e quais pesquisadores que se destacam no assunto, por meio de um levantamento das pesquisas mais atuais, a fim de direcionar o leitor com relação aos desafios da área. Além do levantamento bibliográfico, foram realizadas comparações entre os trabalhos, destacando as informações mais importante e inserindo um ponto de vista crítico.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é levantar dados e informações sobre os atuais estudos de desgaste voltados para o ambiente agrícola, facilitando futuras pesquisas nesta área.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar quais os enfoques dos estudos que estão sendo realizados para o desgaste em máquinas agrícolas;
- Realizar o estudo bibliográfico, indicando a influência do desgaste nas ferramentas;
- Discutir como estes estudos podem ser aplicados no campo e qual o retorno esperado.

1.3 JUSTIFICATIVA

O ramo do agronegócio tem uma expressiva participação na economia do país, com aproximadamente 50% das exportações e 23% do PIB (Produto Interno Bruto) brasileiro (EMBRAPA, 2017). Uma constante preocupação na indústria de equipamentos agrícolas é o desgaste prematuro de equipamentos devido ao grande atrito, pois ele pode acarretar em paradas inesperadas e conseqüente perda de produtividade, principalmente em períodos de safra, pois quando a máquina quebra, o agricultor acaba pagando valores altos e injustos pela manutenção e reposição de peças, de modo que não atrase a colheita. Este trabalho irá facilitar o desenvolvimento de pesquisas que poderão contribuir com a economia local, atuando no ponto de integração do curso de engenharia mecânica com o agronegócio, por meio do levantamento das informações sobre as pesquisas realizadas na área de desgastes de peças agrícolas.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir será apresentado o estudo realizado nas bibliografias, buscando maiores esclarecimentos acerca dos assuntos que serão abordados no presente trabalho.

Na seção 1.3 serão apresentados os conceitos do desgaste, destacando a forma com que cada tipo ocorre, bem como a representatividade de cada um deles.

Na seção 1.4 serão apresentadas as máquinas utilizadas no preparo do solo para o plantio, destacado quais os tipos de ferramentas utilizadas, bem como sua função.

Na seção 1.5 estão indicadas as máquinas responsáveis por realizar a adubação a lanço e por depósito, sendo que geralmente a segunda também realiza a função de semear.

Por fim, na seção 1.6 estão expostas as máquinas colhedoras, indicando o seu processo de funcionamento, os modelos que atualmente existem no mercado nacional, bem como a aplicação de cada um deles.

1.4 DESGASTE

Segundo Moraes (1996), o desgaste consiste em danos ocasionados em uma superfície devido ao movimento relativo entre corpos, ou entre corpo e substância, geralmente apresentando perda de matéria.

Stoeterau (2004) propõe uma classificação que não é baseada em valores numéricos, mas em características qualitativas, podendo ser leves ou severos. Como indicado no Quadro 1.

Desgaste Leve	Desgaste Severo
Resulta em superfícies geralmente mais suaves que a original.	Resulta em superfícies ásperas, geralmente mais rugosas que a original.
Produz partículas pequenas.	Produz partículas grandes.

Quadro 1 - Classificação dos desgastes
Fonte: Adaptado de Stoeterau (2004)

De acordo com Stoeterau (2004), o que define o tipo de desgaste é a superfície do material. Aqueles que apresentam irregularidades maiores tendem a causar um desgaste mais severo; enquanto que as superfícies mais homogêneas geram menos atrito e menor perda de material, contudo o desgaste permanece ocorrendo, uma vez que todas as superfícies sólidas possuem irregularidades, ainda que em escala nanométrica. A este conjunto de irregularidades é dado o nome de rugosidade.

Também é possível classificar o desgaste a partir das características do processo de interação entre os corpos, desta forma, ele pode ser dividido em: abrasivo, adesivo, erosivo e corrosivo (BUCKLEY,1981). A Figura1 demonstra esquematicamente os principais tipos de desgastes.

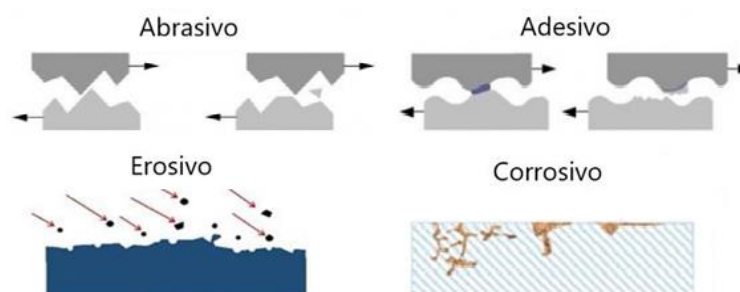


Figura 1 - Principais tipos de desgastes
Fonte: Adaptado de Mundo Mecânico (2017).

O desgaste abrasivo é definido na ASTM G40-01 como “a perda de massa resultante da interação entre partículas ou asperezas duras que são forçadas contra uma superfície, ao longo da qual se movem” (ASTM, 2001). Ele ocorre durante o movimento relativo de dois ou mais corpos, devido ao contato entre as irregularidades das duas superfícies. A perda do material se dá ao estresse observado nos picos dos diferentes corpos, que ficam em contato e são forçados um contra o outro (BLAU, 1995).

O desgaste por adesão é semelhante ao abrasivo, contudo após ocorrer a ruptura do material, sua partícula permanece aderida ao outro corpo. Geralmente a adesão não é observada quando dois corpos são casualmente colocados em contato, pois as camadas contaminantes de oxigênio, água ou óleo das superfícies interagem, impedindo tal adesão (STACHOWIAK, 2005).

O desgaste erosivo é decorrente do choque mecânico de partículas em uma superfície. Os principais parâmetros que interferem na severidade são: dureza da superfície, velocidade, tamanho e ângulo de incidência das partículas (BAYER, 2004).

O desgaste corrosivo ocorre a partir de uma reação físico-química entre um material sólido e o meio onde ele se encontra. Esta reação pode ocorrer com gases, como o oxigênio do ar; líquidos, como lubrificantes; ou até mesmo com outro material sólido (BUCKLEY, 1981).

Entretanto, para Albertin (2003), o desgaste mais prejudicial é o abrasivo, como representa o Gráfico 1, pois corresponde à metade dos desgastes observados em sistemas mecânicos.

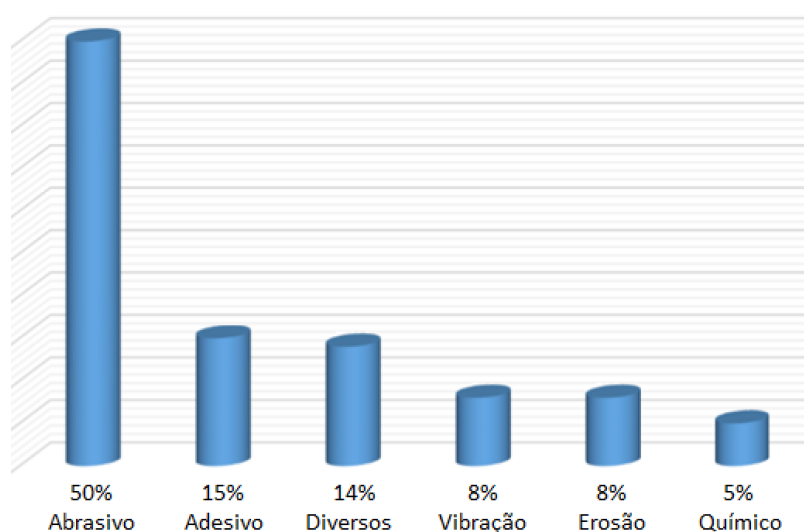


Gráfico 1 - Desgastes em porcentagem

Fonte: Adaptado de Albertin (2003)

Este cenário se mantém quando é analisado o ramo agrícola. Pesquisas estatísticas de reparos agrícolas indicam que cerca de 90% das peças danificadas são substituídas devido ao desgaste excessivo e por volta de 80% o desgaste em questão é o abrasivo (BROZEK, 2012). Isso ocorre, porque há contato direto dos equipamentos com materiais abrasivos durante a operação (VILLABÓN E SINATORA, 2006).

Entretanto, para que seja compreendido como e onde tal desgaste ocorre, é necessária uma revisão que indique o processo de funcionamento de cada máquina, que será apresentada na seção a seguir.

1.5 MÁQUINAS DE PREPARO DO SOLO

O preparo do solo é um conjunto de tarefas realizado antes do início da implantação da cultura, com o objetivo de deixá-lo apto a receber o plantio, melhorando suas características para extrair o máximo potencial. Nestas operações estão incluídas as seguintes tarefas: desagregação, revolvimento, inversão, destorroamento, compactação e corte (GADENHA JÚNIOR et.al. 1991). A Figura 2 indica o fluxograma dos processos realizados no solo por este tipo de maquinário.

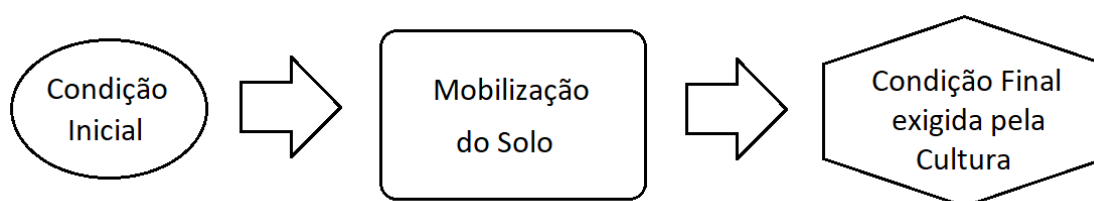


Figura 2 - Fluxograma das Máquinas de Preparo do Solo
Fonte: Adaptado de Mialhe 1996

Os implementos agrícolas que realizam tais tarefas foram classificados por Mialhe (1996) de acordo com a operação realizada. Desta forma tem-se as máquinas de preparo primário: arados, escarificadores, subsoladores, dentre outros; e as de preparo secundário: como grade niveladora e cultivadores, por exemplo.

Segundo Balastreire (1990) a função do arado é iniciar a preparação do solo por meio do levantamento de uma secção cortada. Por estar em contato direto com o solo, a lâmina sofre ação abrasiva, sujeitando-se ao desgaste. A seleção do material com o qual será confeccionada a lâmina deve levar em consideração a substituição, ou reforma desta, após níveis toleráveis de desgaste. A Figura 3 ilustra um arado de aivecas.



Figura 3 – Arado de Aivecas
Fonte MF Rural, 2019.

Gardenha júnior et al. (1991) afirma que a função do escarificador é promover a mobilização do solo de baixo para cima, desagregando-o a uma profundidade maior que os arados e discos. O rompimento das camadas compactadas permite uma maior infiltração de água, de modo que as raízes penetrem mais profundamente, reduzindo os riscos de erosão e seca. É semelhante a um subsolador, porém trabalhando em menor profundidade e com espaçamento entre hastes menor (GADANHA JÚNIOR et al., 1991). A Figura 4 ilustra um escarificador.



Figura 4 – Escarificador
Fonte: Baldan 2019.

O subsolador é um implemento semelhante ao escarificador, contudo ele trabalha em uma profundidade ainda maior e suas hastes são mais espaçadas. Sua função é a mesma do escarificador, contudo sua utilização ocorre apenas quando a compactação do solo é crítica para o desenvolvimento da cultura (GADANHA JÚNIOR et al.,1991). A Figura 5 ilustra um subsolador.



Figura 5 – Subsolador
Fonte: Mec-Rul 2019

De acordo com a Agência Embrapa de Informação Tecnológica (AGEITEC), a grade niveladora é um implemento secundário composta por um conjunto de discos. Geralmente é utilizada após a aração para complementar o preparo do solo, desagregando os torrões e nivelando a superfície para facilitar a semeadura.

De acordo com a apostila de agricultura Track Tractor Senior Specialist da Challenger (2005) o Cultivador consta em um implemento capaz de realizar as operações de subsolagem, cultivo e adubação em uma única passada. Ele apresenta uma estrutura linear contendo cada uma das ferramentas citadas acima em linha, otimizando o tempo de preparo. A Figura 6 indica este implemento.



Figura 6 - Cultivador Múltiplo
Fonte: Challenger 2005

1.6 ADUBADORAS

As máquinas que distribuem os fertilizantes são denominadas adubadora, constituindo uma das classes mais diversas no ramo agrícola, devido à grande variedade de adubos existentes no mercado. Elas podem ser classificadas em dois grandes grupos: as que distribuem o material por precipitação sobre o solo; e as que

depositam o material abaixo da superfície, em sulcos que a própria máquina abre e posteriormente fecha (SILVEIRA, 1989).

1.6.1 Adubadoras por Precipitação

Segundo Machado et al. (1996), as máquinas por precipitação podem operar por gravidade ou a lanço. As que utilizam a força da gravidade para realizar a distribuição de adubos possuem um formato trapezoidal e geralmente sua largura é correspondente à do depósito. Elas podem operar das seguintes maneiras:

- Mecanismo de corrente: a movimentação longitudinal de seus elos especiais realiza a distribuição do adubo;
- Depósito com fundo móvel: possui uma espécie de esteira que gira longitudinalmente e suas paletas fazem a movimentação do adubo;
- Discos giratórios: localizados na parte inferior do depósito, a rotação realiza o transporte do adubo;
- Sistemas pneumáticos: utilizam o ar pressurizado por uma turbina para levar o adubo até os bocais por meio de tubulações.

Já as adubadoras a lanço utilizam a força centrífuga para realizar a distribuição, um processo semelhante a máquinas de fluxo, como bombas, por isso sua área de distribuição é muito maior que sua largura. De acordo com Machado et al. (1996), a adubadora a lanço além de ser composto basicamente de um depósito, possui os seguintes mecanismos de distribuição:

- Disco único com aletas: este permanece girando na parte inferior do reservatório. Assim que o adubo entra em contato com o disco, a força centrífuga realiza seu lançamento;
- Dois discos: apresenta o mesmo processo de funcionamento citado anteriormente, contudo com um disco a mais, girando em sentidos opostos;

Distribuidor pendular: consiste em um tubo localizado horizontalmente, o qual realiza em torno de 400 oscilações por minuto. O adubo entra no tubo e se movimenta até as extremidades, onde é projetado por uma abertura.

1.6.2 Semeadora-Adubadora por Depósito

De acordo com Siqueira & Casão Jr (2004), uma semeadora deve realizar o corte da palha, abrir os sulcos, depositar fertilizantes e sementes corretamente dosados, cobrir com solo e palha e compactar o solo. A Figura 7 ilustra uma destas máquinas.



Figura 7 - Semeadora-adubadora
Fonte: adaptado de Embrapa

Na Figura 7 é observado o disco que realiza o corte da palha e abre um sulco, sobre o qual os outros componentes trabalharão. Após ele se encontra o tubo de depósito dos fertilizantes, seguido pelos sulcadores de sementes, compactadores e limitadores de profundidade que também realizam o fechamento dos sulcos (SIQUEIRA, 2008).

Machado et al. (1996) descreve o processo de funcionamento dos dosadores de adubo destas máquinas da seguinte forma:

- Eixo com paletas: localizado na parte inferior do depósito de adubo. As paletas são responsáveis por pegar o adubo e depositar ele no solo, por meio do giro deste eixo;
- Rosca sem fim: processo de funcionamento semelhante ao anterior, contudo ao invés de paletas, o eixo apresenta uma helicoide que realiza a movimentação e depósito do adubo;

- Fundo giratório: consiste em um disco horizontal localizado na parte inferior do reservatório individual de cada linha de plantio. Seu movimento direciona o adubo para o orifício de saída e cai no sulco já aberto por outro mecanismo da máquina;
- Roseta: processo de funcionamento semelhante ao fundo giratório, contudo aplicado em máquinas que possuem um reservatório para todas as linhas de semeadura;
- Cilindro acanalado: consiste em um cilindro com rebaxos localizado abaixo do reservatório. Sua movimentação retira o adubo do depósito e direciona ao tubo de distribuição.

1.7 MÁQUINAS COLHEDORAS DE GRÃOS

De acordo com Balastreire (1987) existem 5 etapas durante a operação de uma máquina colhedora: corte, alimentação, trilha, separação e limpeza. A regulagem de seus mecanismos deve ser feita conforme a cultura a ser colhida.

Os principais elementos do mecanismo de corte são: separadores, molinete, barra de corte e condutor. Contudo, ele se difere de acordo com a cultura a ser colhida. O mecanismo de alimentação consiste em uma esteira que conduz o material para o mecanismo de trilha, que por sua vez realiza a separação do grão de suas envolturas; no mecanismo de separação há a discretização da semente e da palha e por fim tem-se o mecanismo de limpeza, constituído por peneiras (SANTOS FILHO, 2001).

1.7.1 Classificação das Colhedoras

De acordo com Dallmeyer (2014), há três diferentes mecanismos de trilha no mercado nacional, responsável por debulhar o grão, são eles: o sistema tangencial ou convencional, o axial e o híbrido.

A Figura 8 representa o mecanismo de trilha tangencial, localizado após a esteira transportadora. Seu primeiro componente é o cilindro de trilha, posicionado transversalmente à máquina, é formado por barras ou hastes, sendo o responsável por soltar o grão da palhada. Este material é guiado pelo côncavo até entrar em contato com o cilindro batedor, responsável por diminuir a velocidade da cultura e homogeneizar no saca-palhas, que utiliza movimentos rotativos alternados e a gravidade para separar os dois produtos. Devido aos repetidos lançamentos e colisões, este sistema tende a danificar mais os grãos (SANTOS, 2014).

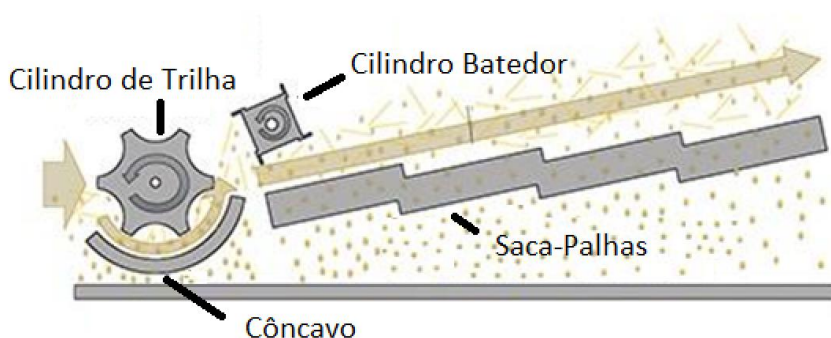


Figura 8 - Fluxo da cultura em uma colhedora tangencial
Fonte: Adaptado de Santos (2014)

O sistema axial, indicado na Figura 9, é semelhante ao convencional, contudo os componentes de trilha e separação se encontram no mesmo eixo que fica posicionado longitudinalmente na máquina. Nesta disposição, o peso é melhor distribuído, permitindo o trabalho em terrenos acidentados. A principal desvantagem é que caso a palha ainda esteja verde, ou úmida, o coeficiente de atrito sofre um aumento, acarretando uma perda de potência. Nestas situações é necessário diminuir a velocidade de avanço para que a máquina não sofra com um desgaste excessivo (HOHER 2011).

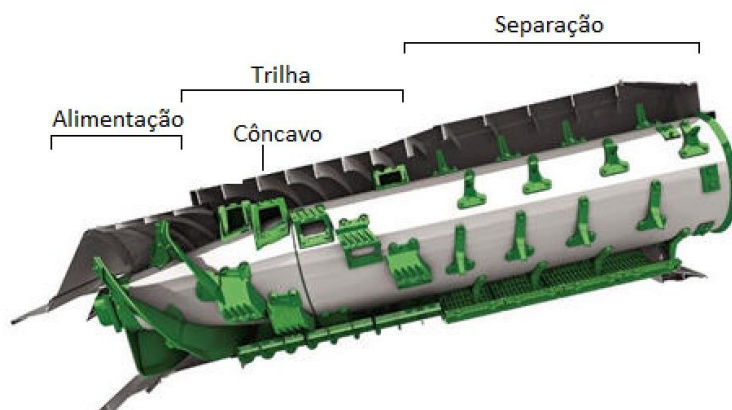
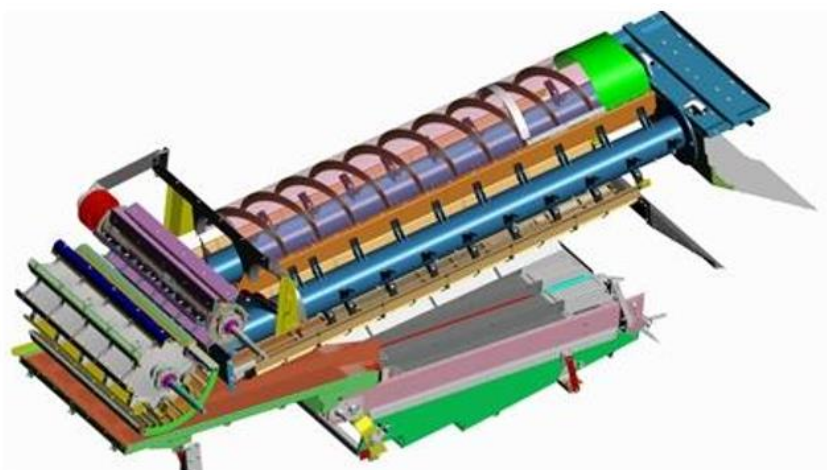


Figura 9 - Mecanismos de uma colhedora do tipo axial
Fonte: Adaptado de DEERE&COMPANY.I

Já o sistema híbrido, indicado na Figura 10, apresenta características de ambos os sistemas, mencionados anteriormente. O Trilho é o mesmo utilizado no sistema convencional, já o sistema de separação é o mecanismo encontrado no axial, que utiliza a força centrífuga. Este sistema, indicado esquematicamente na Figura 9, possibilita a colheita de grandes volumes em culturas onde o nível de umidade é muito elevado, sua principal aplicação é na cultura do arroz (SANTOS, 2014).



**Figura 10 - Representação de mecanismos de uma colhedora híbrida.
Fonte: Massey Ferguson (2015).**

2 METODOLOGIA

O presente trabalho se enquadra em uma aplicação do procedimento técnico de revisão sistemática da literatura (RSL). Esta técnica foi utilizada para identificar, interpretar e avaliar trabalhos realizados dentro do âmbito em questão, buscando reunir o conhecimento obtido em um único local (KIETCHENHAM; CHARTERS, 2007; GREENHALGH, 1997). O modelo de RSL utilizado na estruturação do trabalho, foi o proposto por Kietchenham e Charters (2007), que constitui nas seguintes etapas: planejamento, condução e apresentação da revisão, indicadas na Figura 11.

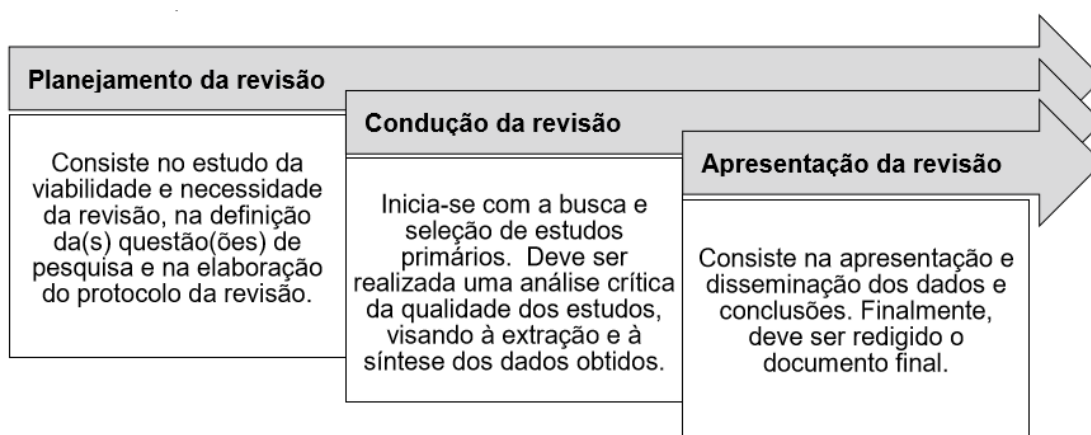


Figura 11 - Etapas da Revisão Sistemática da Literatura
Fonte: Kietchenham e Charters (2007) apud Tessarini e Saltorato (2018)

A etapa do planejamento se iniciou na revisão bibliográfica, onde primeiramente foram apresentados os temas que são importantes para o bom entendimento do trabalho; iniciando na seção 1.3 com informações técnicas sobre o desgaste, onde foi confirmada a necessidade de realizar os estudos com enfoque no agronegócio, e após isso nas seções 1.4, 1.5 e 1.6, onde foi realizada uma imersão nos tipos de máquinas agrícolas, para contextualizar o leitor no assunto abordado.

A partir de então, se iniciou a segunda etapa da RSL, por meio de uma busca por títulos e palavras-chave, para encontrar trabalhos relevantes na bibliografia. A priori, foi utilizado o constructo “desgaste em máquinas agrícolas”, entretanto foram poucos os resultados obtidos por esta pesquisa; como solução para isso, foi adotada a estratégia de utilizar constructos mais específicos, como: “desgaste em adubadoras” e “desgaste em colhedoras”, obtendo-se um número maior de resultados, com os exatos assuntos de interesse.

Os artigos escolhidos foram avaliados quanto à qualidade metodológica e quanto à qualidade da análise de resultados, expondo-se o que poderia ser feito de maneira diferente, quando necessário.

A terceira etapa da RSL foi realizada a partir da seção 3, onde escolheu-se a mesma metodologia de segmentação utilizada na revisão bibliográfica, dividindo os trabalhos quanto ao tipo de máquina em análise. Primeiramente foram apresentados os estudos realizados em máquinas preparadoras de solo, seguindo por adubadoras e plantadoras, para finalmente apresentar as colhedoras.

Na seção 4 foi realizada uma discussão geral dos trabalhos apresentados, bem como a ligação entre eles, mesmo quando a ferramenta em análise era oriunda de máquinas diferentes.

Com base nos pontos levantados na etapa de discussão, realizou-se uma conclusão do que se pode observar, ao concluir as pesquisas e análises dos resultados obtidos por ela.

3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS TRABALHOS

As ferramentas que promovem o cultivo do solo, por possuírem interface direta com o mesmo durante a operação, estão entre as partes típicas de máquinas agrícolas onde é observado um desgaste abrasivo intenso. Portanto, torna-se uma necessidade a busca por meios que permitam uma melhor resistência abrasiva, tomando-se o cuidado de que não diminua a resistência a impactos (BROZEK, 2012). A seguir, serão apresentados os trabalhos que realizam o estudo das influências do desgaste e buscam por essas alternativas.

3.1 MÁQUINAS DE PREPARO DO SOLO

3.1.1 Arados

Pérez (2010) avaliou o desgaste, perda de material, perda de forma e resistência das lâminas de um arado rotativo, para isso ele realizou testes em campo e em laboratório.

Os testes de campo foram realizados no Centro Agrícola Paysandú, onde o solo é argiloso. Durante os experimentos, foi mantida uma velocidade de avanço de 2 km/h e uma profundidade de 120 mm, utilizando três velocidades de rotação diferentes no arado: 141, 177 e 251 rpm.

Já os testes de laboratório consistiram em determinar a resistência ao desgaste das lâminas por meio de uma máquina de rodas de borracha e areia, confeccionada para atender à norma ASTM G65, a fim de se ter uma base de comparação para testes de campo. Foi utilizada uma rotação de 200 rpm e um fluxo de 300 g/min de sílica entre 212 e 300 μm .

Além disso, foram usadas microscopia óptica, microscopia eletrônica de varredura e espectrometria de raios X antes e após os testes de campo, para analisar o desgaste.

O autor verificou que a perda de massa foi semelhante para as três velocidades de rotação durante um mesmo período de tempo trabalhado, estando dentro de uma faixa destacada no Gráfico 2 (A). Contudo, ao observar a perda de

massa por revolução, notou-se que para baixas velocidades a taxa de desgaste aumentou exponencialmente, enquanto que para média e alta esse incremento foi linear, como indicado no Gráfico 2 (B).

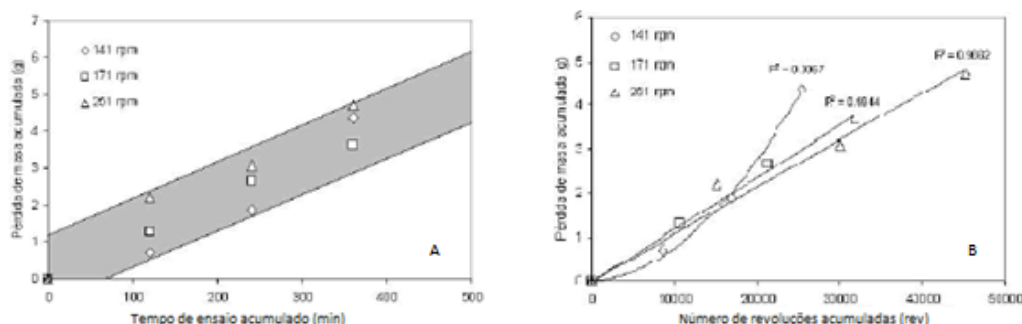


Gráfico 2 - Perda de massa em função do tempo (A) e em função do número de revoluções (B), para rotações de 141, 171 e 201 rpm

Fonte: Adaptado de Pérez (2010)

A hipótese levantada, foi de que a baixa rotação gera tendência a um desgaste abrasivo entre dois corpos, pois a energia cinética transferida para o solo é menor; já em médias e altas velocidades há mais desagregação do solo, promovendo uma predominância pelo desgaste entre três corpos, desta forma, baseado no trabalho de Zum Gahr (1987), o desgaste tende a ser menor.

De acordo com o próprio autor, faltou realizar o estudo das condições do solo antes e após os testes realizados, pois a análise da redução da resistência à penetração para cada uma das velocidades pode validar a hipótese levantada.

González (2007) realizou um estudo para verificar o grau de desgaste causado pelo solo em três tipos diferentes de arados rotativos: grade e enxadas (de trator e de motor próprio), como indicado na Figura 12. Para isso foram realizados experimentos em laboratório e em campo, no Centro Agrícola de Cotové, onde o solo possui características argilosas. Nos testes foram utilizadas as pás comerciais de aço AISI 15B30, caracterizando sua microestrutura, dureza, superfície de trabalho e massa, antes e após os testes.

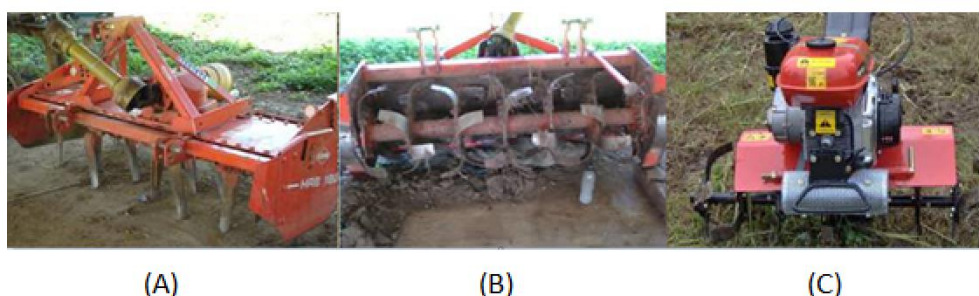


Figura 12 - Diferentes tipos de arados rotativos utilizados no estudo: (A) Grade (B) Enxada Rotativa de Trator (C) Enxada Rotativa de Motor Próprio

Fonte: Adaptado de González (2007)

Nos ensaios de laboratório foi utilizada a mesma máquina que Pérez (2010) com areia de sílica apresentando granulometria AFS 50-70 para verificar o desgaste das lâminas. Para limpar os corpos de prova foi utilizado banho ultrassônico e secagem com ar quente. A avaliação do desgaste foi feita a partir da perda de massa das amostras; levando em consideração o tempo de trabalho efetivo, visto que na grade o contato com o solo é constante e nas enxadas é intermitente.

Os testes de campo indicaram um baixo nível de desgaste na enxada de motor próprio quando comparados aos arados acoplados no trator, de acordo com o autor, isso ocorre devido à profundidade de trabalho e nível de consumo de energia; enquanto que no laboratório os valores obtidos foram semelhantes, o que era esperado, já que os materiais eram os mesmos.

Os corpos de prova apresentaram deformação plástica na aresta de corte, devido ao contato com o solo que possui características abrasivas, além disso comprovou-se a característica dúctil do material, uma vez que não foram observadas fraturas frágeis.

O autor concluiu que o teste conforme indica a norma ASTM G65 é bom para caracterizar e determinar o material a ser utilizado, contudo ele não é representativo para avaliar diferentes mecanismos, pois o modo de trabalho gera grande influência no desgaste.

Aulin et al. (2016) avaliou o desgaste e o efeito da autoafiação em lâminas de arados, para quatro diferentes tipos de acabamento superficial: tratamento térmico volumétrico, tratamento térmico a laser, soldagem por indução e soldagem a laser. Os estudos foram realizados no campo experimental e no laboratório da Universidade Técnica Estadual de Kirovograd (Ucrânia).

O teste de laboratório foi utilizado para verificar o desgaste das lâminas de aço 45, por meio da perda de massa. A Figura 13 ilustra o mecanismo do equipamento utilizado.

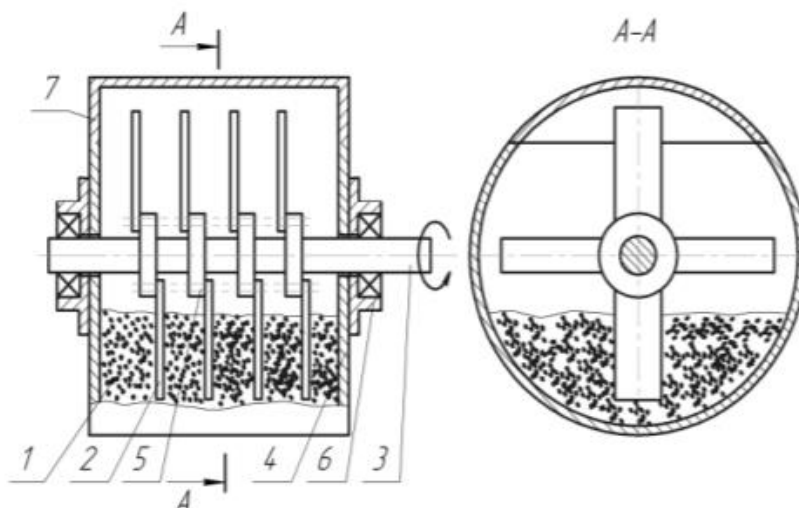


Figura 13 - Diagrama do dispositivo para o ensaio de amostras da resistência ao desgaste abrasivo: 1 - abrasivo; 2 - Amostra; 3 - Eixo; 4 - corpo; 5 - Arruela; 6 - Mancal; 7 - Capa

Fonte: Aulin et al. (2016)

Os resultados obtidos no laboratório após 100 h de experimento estão indicados no Gráfico 3.

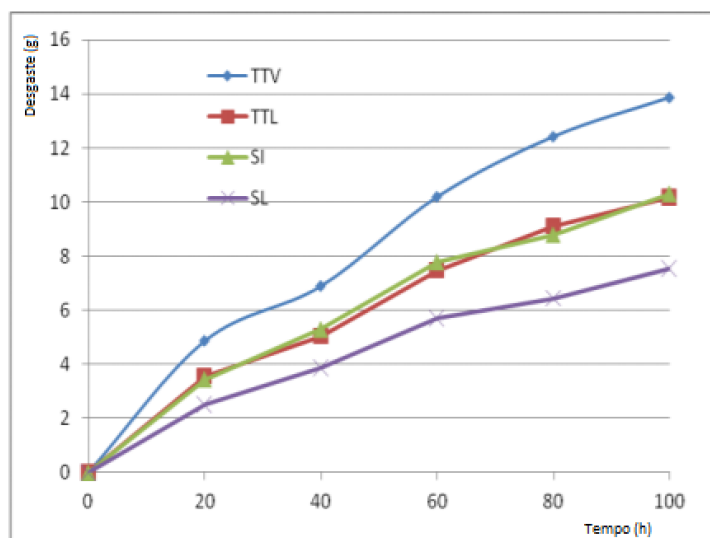


Gráfico 3 - Desgaste das amostras de aço 45 para diferentes acabamentos superficiais: tratamento térmico volumétrico (TTV), tratamento térmico a laser (TTL), soldagem por indução (SI) e soldagem a laser (SL)

Fonte: adaptado de Aulin et al. (2016)

Os testes de campo verificaram o efeito de autoafiação para os quatro tipos de acabamento, monitorando o raio de curvatura da aresta de corte a cada 5 ha. O gráfico 4 indica o coeficiente de mudança de forma destas arestas.

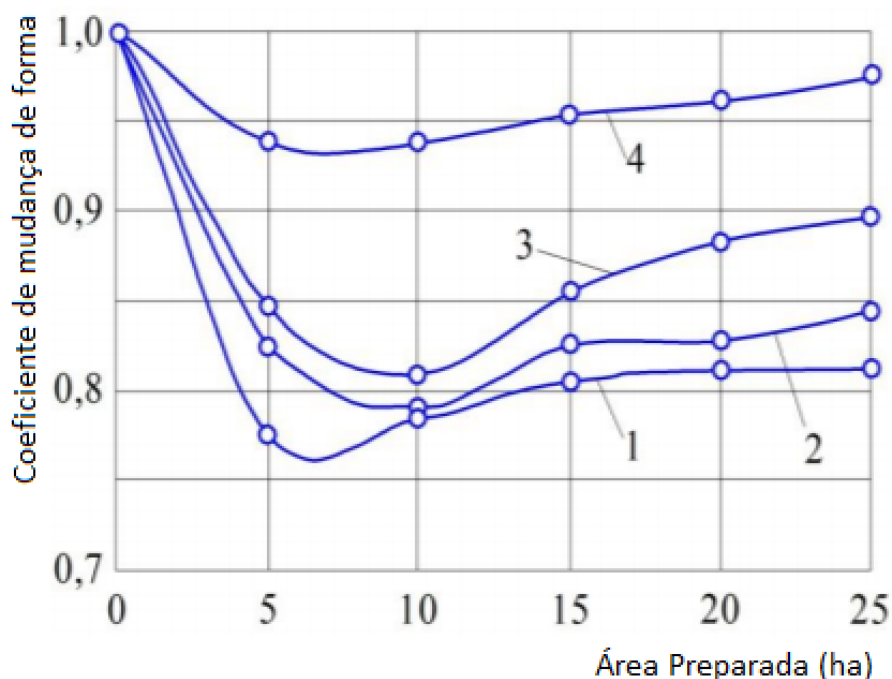


Gráfico 5 - Alteração do coeficiente de mudança de forma de acordo ao longo da operação utilizando diferentes acabamentos superficiais: 1 - Tratamento térmico volumétrico, 2 - Tratamento térmico a laser, 3 - Soldagem por indução, 4 - Soldagem a laser

Fonte: adaptado de Aulin et al. (2016)

O Gráfico 4 comprova o efeito de autoafiação, pois ao longo da operação, o formato da lâmina vai se aproximando das condições iniciais, para os quatro acabamentos, ou seja, o raio de curvatura da aresta de corte diminui.

Ao final dos testes, constatou-se que o acabamento que apresentou melhores resultados, em ambos os experimentos, foi por soldagem a laser. O acabamento por soldagem a indução apresentou desgastes muito semelhantes ao tratamento térmico a laser, contudo o por soldagem apresentou uma recuperação maior da sua forma ao longo do trabalho no campo. Já o tratamento térmico volumétrico apresentou os piores resultados em ambos os experimentos.

3.1.2 Escarificadores

Sverzut et al. (2007) comparou o desgaste das 5 ponteiros de um escarificador em tipos diferentes de solo, um destinado a plantações e outro utilizado para pastagens. Para quantificar o desgaste, ele utilizou a variação da massa das ponteiros, que também foram caracterizadas quanto às propriedades mecânicas, onde foi constatado um alto nível de tenacidade.

Após os testes, foi verificado que na área de pastagem o desgaste abrasivo se apresentou mais intenso do que nas áreas de cultivo, o que pode ser explicado pela compactação do solo ocasionada pelos animais.

O autor também concluiu que o material utilizado nas ponteiros é mais eficiente para evitar fraturas ocasionadas por impacto contra possíveis objetos rígidos encontrados no solo, como pedras, por exemplo, mas é pouco eficaz do ponto de vista de resistência á abrasão. Foi verificado também que a posição das ponteiros no escarificador não influencia na perda de massa, resultando em um desgaste uniforme.

BOLZANI, ATÍLIO et al. (2007) avaliou o desgaste ocorrido nas ponteiros de um escarificador no Instituto de Zootecnia de Nova Odessa, localizado no estado de São Paulo. O experimento ocorreu em duas áreas, com 19 e 11,5 ha; entretanto a área menor apresentava um solo com características mais grosseiras.

Essa caracterização foi verificada após analisar a porosidade, densidade e granulometria do solo; as amostras foram coletadas a 150-250 mm de profundidade, equivalente à operação do escarificador. Este estudo foi realizado de acordo com a metodologia descrita pela EMBRAPA (1997) no Laboratório de Solos da FEAGRI/UNICAMP

Foi determinada uma taxa de desgaste em g/ha para comparações estatísticas de variância, por meio do teste de média de Tukey a 5%. Os corpos de prova foram caracterizados por perda de massa, metalografia, análise de tração e dureza.

As análises realizadas em laboratório indicaram que o material é um aço manganês, apresentando uma dureza uniforme ao longo da aresta de corte e boas características mecânicas (material com alta tenacidade). Essas características tornam este material adequado para a sua função, pois apresenta boa resistência à abrasão e a possíveis impactos contra objetos estranhos, como pedras, por exemplo.

O autor observou que mesmo a segunda área sendo menor, a perda de massa foi mais intensa, na primeira área foi observado um déficit de 7,6%, enquanto na segunda o número foi 9,5%. Isso indica o alto grau de influência do tipo de solo no desgaste das ponteiros. Também é afirmado que o desgaste foi elevado, já que houve alteração significativa na forma da ferramenta, como indicado na Figura 14.

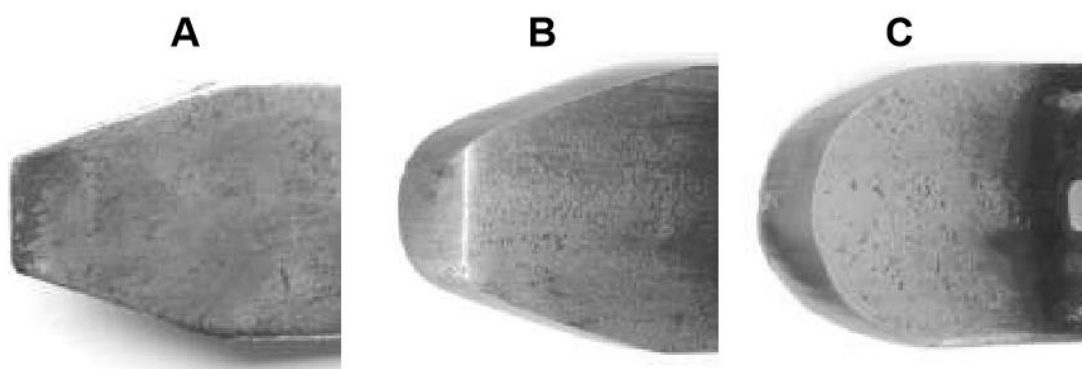


Figura 14 - Vista posterior de uma ponteira inicialmente (A), após a primeira área (B) e após a segunda área (C)

Fonte: BOLZANI, ATÍLIO et al. (2007)

Como sugestão ao trabalho realizado, poderiam ter sido utilizadas ponteiras novas na segunda área, para comparar o desgaste a partir das mesmas condições iniciais. Como o estudo foi realizado com as mesmas ferramentas, no início da segunda área a forma da ponteira já estava alterada, conforme indica a Figura 14 (B), o que pode ter intensificado o processo de desgaste.

3.2 ADUBADORAS

3.2.1 Adubadoras por Precipitação

Zuffo e da Silva (2017) verificaram o desgaste dos implementos rotativos do mecanismo de lançamento das adubadoras. De acordo com os autores, estes mecanismos ficam em contato direto com os fertilizantes que apresentam características abrasivas. No trabalho, foram avaliados dois tipos de fertilizantes (adubo e calcário) para três diferentes materiais de palheta (convencional, revestida com solda dura e aço inoxidável). O desgaste foi avaliado de acordo com a perda de massa e alteração das dimensões das palhetas, fazendo o uso de um paquímetro. A Figura 15 ilustra as o mecanismo utilizado no experimento.

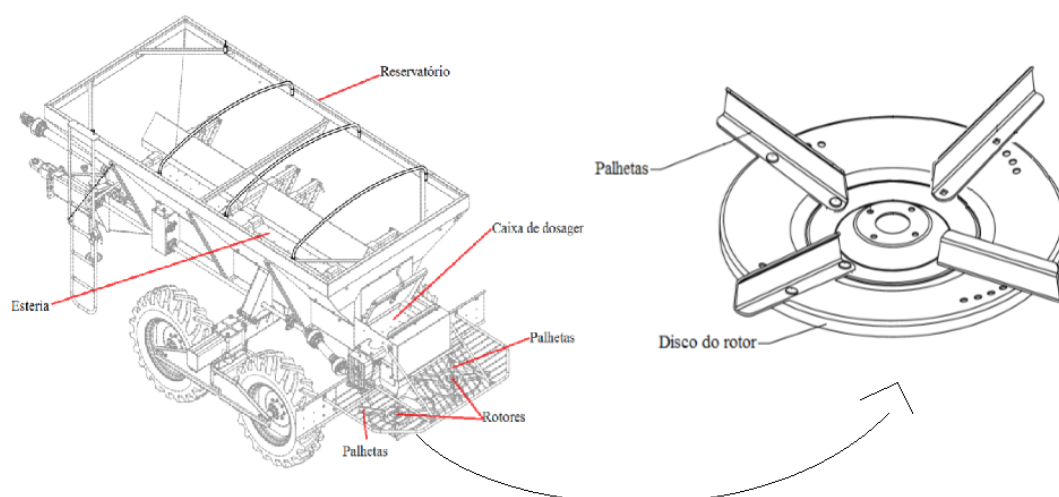


Figura 15 - ilustração indicando os mecanismos do implemento agrícola de lança
Fonte: Adaptado de Jan Implementos (2008)

Os autores constataram que as palhetas revestidas por solda dura apresentaram um desempenho ligeiramente menor do que as originais, entretanto as de inox se destacaram nas análises, apresentando pequenas variações de massa e nenhuma variação de espessura. A Figura 16 ilustra as palhetas utilizadas nos testes, nela é possível observar o revestimento duro por cordão de solda na região mais afetada pelo desgaste.



Figura 16 - Palhetas em estudo de diferentes materiais: aço inoxidável, revestida com solda e original 1020, respectivamente
Fonte: adaptado de Zuffo e da Silva (2017)

Foi observado também que as palhetas de inox são consideravelmente mais resistentes ao adubo do que ao calcário, fator que não é observado nos outros materiais, pois o desgaste é semelhante, independente do fertilizante.

Apesar de ser observado maior desgaste na palheta revestida por solda, o autor não destacou o local onde isso ocorreu. Caso a perda de massa observada seja referente ao cordão de solda, a prática faz sentido, por preservar o material base da ferramenta, aumentando a sua durabilidade.

3.2.2 Semeadora-Adubadora por Depósito

Ferreira (2008) analisou uma alternativa técnica para aumentar a vida útil, por meio da diminuição do desgaste, das hastes sulcadoras contidas em semeadoras-adubadoras. Para isso, foi proposta uma adição de soldagem em locais estratégicos.

O autor realizou procedimentos laboratoriais padronizados, afim de caracterizar o solo da região onde foi feito o experimento, analisando textura, teor de água e densidade. Chegou-se à conclusão de que o solo é franco-arenoso altamente compactado.

Para as ponteiros, foram utilizados cinco revestimentos duros, variando a direção do cordão de solda, além do original. Para a solda, foram utilizadas diferentes combinações de dois tipos de eletrodo revestido e um arame tubular. A Figura 17 indica os seis tipos de ponteira utilizados.



Figura 17 - Diferentes revestimentos aplicados nas ponteiros, conjuntos 1, 2, 3, 4, 5 e 6 respectivamente
Fonte: Ferreira (2008)

O conjunto 1 foi soldado com o uma camada do eletrodo revestido A (2,50 mm de aço contendo 28,20% de Cr, 0,01% de Mo, 10,30% de Ni, 0,84% de Si, 0,78% de Mn e 0,04% de C), seguido de um passe do eletrodo revestido B (3,25 mm, de aço contendo 30,00% de Cr, 3,68% de C, 1,75% de Si, 0,18% de Mn, e dureza de 60 HRC)

O conjunto 2 foi revestido com uma camada de solda do eletrodo A, seguido por passes transversais do eletrodo B, enquanto que o conjunto 3 foi revestido com dois passes do eletrodo B.

O conjunto 4 foi coberto por uma camada de solda de arame tubular (2,40 mm de diâmetro, de aço contendo 23,50% de Cr, 3,68% de C, 1,95% de Si, 1,30% de Mn, apresentando uma dureza de 57 HRC).

O conjunto 5 foi soldado da mesma maneira que o conjunto 2, contudo utilizou-se somente o eletrodo B para as duas operações. Já o conjunto 6 não foi utilizado nenhum tipo de revestimento.

O autor também realizou um estudo de custos, incluindo mão de obra, para avaliar qual dos revestimentos apresenta melhor rentabilidade.

Ao final do estudo, foi verificado que a ponteira revestida com solda de arame tubular é a que sofreu menos desgaste, contudo a que apresentou melhor custo e benefício foram as revestidas com o eletrodo B. Também foi verificado que os conjuntos 3 e 5 sofreram estatisticamente os mesmos desgastes, ou seja, a direção do cordão de solda não interferiu no desgaste.

Machado et al. (2009) propôs uma maneira diferente para verificar o desgaste de implementos agrícolas que trabalham em contato com o solo, geralmente feito por meio do monitoramento da perda de massa. Para isso, foi avaliada uma nova metodologia baseada em fotografia digital, possibilitando a verificação rápida e precisa do desgaste, por meio da alteração da forma.

O estudo foi realizado em com ponteiras de hastes sulcadoras de adubo confeccionadas em aço SAE 1060 forjado, trabalhando com 12 cm de profundidade. As amostras foram analisadas a cada 5.000 m de uso, avaliando as vistas frontal e lateral, além da pesagem para embasar o estudo. As fotografias foram utilizadas para a confecção do desenho em CAD (computer aided design), onde foi calculada a variação da geometria, por meio da redução das áreas frontal e lateral. O solo onde foi realizado o experimento também foi caracterizado em relação à textura e granulometria, se enquadrando como franco-arenoso. A Tabela 2 indica as perdas percentuais médias de cada análise.

Tabela 2 - Evolução da perda percentual média

Etapa (m)	Frontal (Fotográfico)	Lateral (Fotográfico)	Convencional (massa)
0	0	0	0
5.000	7,97	7,57	3,57
10.000	11,81	10,05	7,21
15.000	17,36	12	10,46
20.000	21,55	14,89	13,45
25.000	24,68	22,42	17,43
30.000	32,38	31,4	22,86
35.000	36,52	34,31	28,22
40.000	42,86	38,3	34,29
45.000	48,43	42,15	39,53

Etapa (m)	Frontal (Fotográfico)	Lateral (Fotográfico)	Convencional (massa)
55.000	63,26	48,98	52,16
60.000	67,93	54,77	57,75

Fonte: Adaptado de Machado et al. (2009)

O autor afirma que a partir de 10.000 m os resultados dos métodos passa a divergir, isso porque a fotografia considera apenas a parte da ferramenta ativa, enquanto que a análise utilizando a massa se leva em conta a ferramenta como um todo.

Foi verificado também que a análise da área lateral apresentou inconsistências nos valores obtidos, mas esta possibilitou a análise da variação do ângulo de ataque e conseqüentemente na qualidade da mobilização do solo. A Figura 18 mostra as fotografias das vistas frontal e lateral das ponteiros.

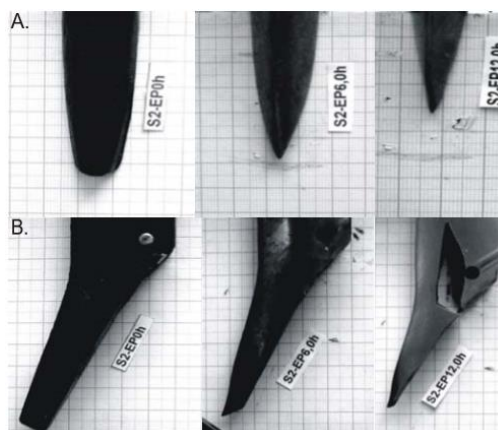


Figura 18 - Evolução do desgaste nas ponteiros a cada 30.000 m. A – Frontal, B – Lateral
Fonte: Machado et al. (2009)

O autor afirma que o método proposto é mais eficiente que o convencional, por ser uma análise focada somente na porção ativa da ferramenta, trazer resultados tanto quantitativos quanto qualitativos, possibilitar a identificação das áreas mais afetadas pelo desgaste e apresentar agilidade na análise, visto que não é preciso retirar as ferramentas da máquina, bastando colocar um gabarito com escala milimétrica ao fundo da foto e o desenho no CAD é feito com a máquina em operação.

3.3 COLHEDORAS

Cassia, Marcelo Tufaile et al. (2014) avaliaram o desgaste das facas de colhedoras e o reflexo disso na qualidade do corte da cana-de-açúcar. Para esta

análise, foi utilizada a colheita simultânea de dois talhões localizados em Guaratiba – SP.

A colhedora utilizada continha dois discos com cinco facas retangulares de aço SAE 9260 em cada um. O desgaste das facas foi quantificado pela perda de massa em gramas, por hora de trabalho; enquanto que para qualidade do corte foram considerados dois itens: os danos causados à cana, e a altura do corte. Os danos foram classificados visualmente por um avaliador em: sem dano, danos periféricos e danos fragmentados. Já a altura foi determinada por meio da distância do solo até o ponto de ataque das facas na cana. A Tabela 3 apresenta a taxa de desgaste, a altura de corte e a porcentagem dos tipos de dano, para cada face das lâminas.

Tabela 3 - Desgaste, altura de corte e danos para cada face de corte

Face de Corte	Taxa de desgaste (g/h)	Altura de corte (mm)	-----Tipo de Dano (%)-----		
			Sem danos	Danos periféricos	Danos Fragmentados
A	3,96	33,4	26,01	39,04	34,95
B	2,84	40,6	20,25	54,13	25,62
C	3,19	42,7	13,52	50,95	35,52
D	4,04	34,5	24,07	36,16	39,76

Fonte: adaptado de Cassia, Marcelo Tufaile et al. (2014)

A Tabela 3 indica que as faces A e D sofreram um desgaste mais acentuado, entretanto a coluna seguinte evidencia que a altura de corte não é influenciada por este fator. Já os danos causados ocorreram predominantemente nas faces B e C, que apresentaram menor desgaste.

Os autores concluíram que a altura de corte não depende do desgaste, contudo não evidenciaram com clareza a correlação entre os tipos de danos com a taxa de desgaste, possivelmente porque os resultados não foram os esperados. Isso pode ter ocorrido devido à inconsistência na análise visual dos danos, que apresenta caráter subjetivo, ou ao efeito de autoafiação estudado por Aulin et al. (2016). Para comprovar esta hipótese, deveria ser feito um acompanhamento da evolução do raio de curvatura das arestas de cortes ao longo do experimento.

4 DISCUSSÃO DOS TRABALHOS

No geral, a produção acadêmica no assunto abordado neste trabalho é expressiva, isso pode ser explicado por o Brasil se tratar de um país com grande produção agrícola, havendo um foco científico neste ramo, proveniente dos cursos de agronomia e semelhantes.

Entretanto, na grande maioria dos trabalhos desenvolvidos, foi utilizada a perda de massa das ferramentas para mensurar o desgaste. Esta análise se apresenta inviável durante a operação das máquinas, pois é necessário retirar as ferramentas, pesar, tomar a decisão se elas ainda estão em parâmetros aceitáveis, para depois recolocar. Neste caso, a manutenção corretiva, que sempre deve ser evitada, ainda seria a melhor opção.

Uma possível solução para este impasse, é utilizar a metodologia de desgaste proposta por Machado et al. (2009), pois além de ser rápida, é mais fidedigna, por analisar somente a área da ferramenta em que houve o desgaste.

Outro assunto amplamente discutido pelos pesquisadores, foram os diversos parâmetros que influenciam no desgaste das ferramentas. Pérez (2010) avaliou o impacto ocasionado por diferentes configurações operacionais das máquinas, determinando qual a velocidade de giro ideal do rotor buscando manter a qualidade do processo e minimizar os efeitos do desgaste.

Contudo, Pérez (2010) não avaliou as características do solo, fator discutido no trabalho de BOLZANI, ATÍLIO et al. (2007), onde foi constatado que a composição do solo pode interferir mais do que a área trabalhada, devido ao alto índice de arenosidade observado; Já Sverzut et al. (2007) fez um estudo para analisar a influência da compactação das superfícies, comparando a escarificação em uma área de plantio com outra em pastagem, onde foi verificado um desgaste mais intenso.

BOLZANI, ATÍLIO et al. (2007) e Sverzut et al. (2007) também destacaram a importância das características mecânicas dos materiais utilizados na fabricação das ferramentas, pois durante a operação a máquina está suscetível a possíveis impactos com pedras, portanto deve apresentar uma alta tenacidade, o que foi observado. Contudo, após os ensaios foram verificadas diferenças significativas no formato das ferramentas, devido ao desgaste que as inutilizou, isso destaca a ineficiência da resistência à abrasão dos materiais.

Para amenizar tal fator e aumentar a vida útil das ferramentas, Ferreira (2008) propôs utilizar diferentes configurações de revestimentos de solda nas hastes sulcadoras de uma semeadora. Em seu estudo, foi realizada uma análise de custo e benefício, onde foi verificado que o eletrodo revestido B apresentou bons resultados e um custo baixo, sendo o ideal para a aplicação, dentre as opções em questão. Foi verificado também que a direção dos cordões de solda não interfere no desgaste.

Os estudos realizados nas máquinas de colheita, realizados por Cassia, Marcelo Tufaile et al. (2014), foram focados na qualidade do corte da cana-de-açúcar. Os autores destacaram que todas as amostras estavam dentro dos parâmetros aceitáveis e que a altura de corte não varia com o desgaste. Contudo, as ferramentas que apresentaram maior desgaste geraram menos danos à cana-de-açúcar colhida e os autores não evidenciaram tal peculiaridade.

A questão anterior pode ser explicada pelo efeito de autoafiação, que foi o foco do estudo realizado Aulin et al. (2016). O autor fez o acompanhamento do raio de curvatura das arestas de corte em diferentes níveis de desgaste, para diferentes acabamentos superficiais. Foi constatado que o desgaste ocorreu de tal forma, que a aresta de corte apresentou uma recuperação do coeficiente de mudança de forma, ou seja, a lâmina foi afiada pelo próprio processo. Essa recuperação foi mais acentuada para o acabamento superficial de soldagem por indução, contudo o melhor desempenho foi o acabamento por soldagem a laser, pois ele apresentou uma queda menor do coeficiente de mudança de forma e ao final do estudo, o raio de curvatura estava mais próximo do inicial.

Apesar da grande produção acadêmica em análises das ferramentas que estão em contato direto com o solo ou com a matéria prima, no caso das colhedoras, há pouquíssimo estudo em cima das máquinas que realizam adubação a lanço, área que pode ser explorada futuramente. O único trabalho encontrado foi o desenvolvido por Zuffo e da Silva (2017), onde foi verificado que caso seja utilizado um material diferente nas palhetas, sua vida útil pode ser incrementada e que diferentes tipos de fertilizantes podem gerar diferentes níveis de desgaste.

5 CONCLUSÃO

Devido à importância que a agricultura tem frente à economia nacional, há uma produção acadêmica bastante expressiva. Entretanto, por não ser um uma forma de desgaste clássico, apresentar menor intensidade e não ter contato com o solo, há pouco material com o foco em adubadoras a lanço, podendo este ser alvo de próximos estudos.

Estão sendo desenvolvidas novas alternativas para acompanhamento de desgaste, visto que a forma clássica de quantizar é inviável durante a operação no campo. A metodologia de acompanhamento por fotografia digital apresenta de maneira ágil, uma análise tanto quantitativa como qualitativa, sendo ideal para pesquisas e manutenção preditiva, visto que pode ser realizada com a máquina em operação.

Vários parâmetros interferem na intensidade do desgaste (tipo de máquina, carga aplicada, configurações operacionais e composição do solo), contudo existem algumas formas de retardar este efeito. Outra possibilidade é utilizar o desgaste em favor da ferramenta, pois estudos recentes comprovaram que o desgaste pode recuperar o fio de corte das ferramentas ao longo de sua utilização.

A constante produção acadêmica na área indica a relevância do assunto abordado. A tendência é o desenvolvimento de ligas específicas para cada tipo de solo/aplicação no campo, de modo a aumentar a vida útil da ferramenta, a partir de análises realizadas durante utilização, aumentando também a produtividade agrícola.

REFERÊNCIAS

AGEITEC – Preparo do Solo e do Plantio. Disponível em <<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fq6x5lxh02wyiv80bhgp5ps6ra6re.html>> Acessado em 07 de outubro de 2019.

ALBERTIN E. Desgaste abrasivo – Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo. In: 58º Congresso Anual da ABM: Rio de Janeiro: ABM, 2003.

ASTM – American Standard for Testing Materials. **G40-01 – Standard Terminology Relating to Wear and Erosion**. Annual Book of Standards Volume 03.02: Wear and Erosion; Metal Corrosion. Philadelphia, USA, 2001.

AULIN, Victor et al. Improving of the wear resistance of working parts agricultural machinery by the implementation of the effect of self-sharpening. 2016.

BALASTREIRE, L. A. Máquinas Agrícolas. Ed. Manole: São Paulo, 1987. Cap. 8.

BALDAN. Disponível em <<https://www.baldan.com.br/conteudo/ceh-cultivador-escarificador-hidraulico.html>>. Acessado dia 16 de dezembro de 2019.

BAYER, Raymond G; Mechanical Wear: Fundamentals and Testing. Marcel Dekker: New York, 395 p., 2004.

BLAU, J. P. (1995). Friction, Lubrication and Wear Technology. ASM Handbook. v.18, p. 20.

BOLZANI, ATÍLIO et al. DESGASTE DE PONTEIRAS DE UM ESCARIFICADOR PELA ABRASÃO DO SOLO/CHISEL PLOW TOOLS CONSUMING BY THE SOIL ABRASION. Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas, v. 1, n. 3, p. 271-276, 2007.

BROZEK, Milan et al. Wear resistance of multi-layer overlays. In: 11th International Scientific Conference: Engineering for rural development, Jelgava, Latvia, 24-25 May, 2012. Latvia University of Agriculture, 2012. p. 210-215.

BUCKLEY, Donald H; Surface Effects in Adhesion, Friction and Lubrification. Elsevier: Amsterdam, 623 p., 1981.

CASSIAI, Marcelo Tufaile et al. Desgaste das facas do corte basal na qualidade da colheita mecanizada de cana-de-açúcar. *Ciência Rural*, v. 44, n. 6, p. 987-993, 2014.

CHALLENGER. TRACK TRACTOR Senior Specialist 2005.

CORAZZA, Gentil; MARTINELLI JÚNIOR, Orlando. Agricultura e questão agrária na história do pensamento econômico. **Revista Teoria e Evidencia Econômica**, 2002.

DE CASTRO, Cristóvão Américo Ferreira; MARANHO, Ossimar; DA SILVA, Carlos Henrique. resistência ao desgaste abrasivo das sapatas de trator de esteira após processos de recuperação. 2010.

DEERE&COMPANY. Disponível em <http://salesmanual.deere.com/sales/salesmanual/images/BR/pt/combindes_headers/combindes/9070sts_threshing_13.jpg> Acessado em 02 de outubro de 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Notícias. 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/noticias>>. Acessado em: 30 de setembro de 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Máquinas para adubação e semeadura (Plantabilidade). Disponível em: <[file:///C:/Users/cs316455/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/Máquinas%20para%20adubação%20e%20semeadura%20\(Plantabilidade\)%20-%20Osmar%20Conte%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/cs316455/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/Máquinas%20para%20adubação%20e%20semeadura%20(Plantabilidade)%20-%20Osmar%20Conte%20(1).pdf)>. Acessado em 02 de outubro de 2019.

FERREIRA, Mauro Fernando; DOS REIS, Ângelo Vieira; MACHADO, Antônio Lilles Tavares. Utilização de revestimento soldado para o aumento da vida útil de sulcadores em semeadoras adubadoras. *Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade*, v. 2, n. 2, p. 39-44, 2016.

GONZÁLEZ, Hugo et al. Resistencia al desgaste de cuchillas de arados rotativos en operación en suelos tropicales. *Scientia et Technica*, v. 13, n. 36, p. 479-484, 2007.

GOODMAN, D. & REDCLIFT, M. (1991). Refashioning nature: food, ecology and culture. Londres: Routledge.

HOHER, Junior Alberto, Design de uma peneira rotativa para colhedora de grãos, 2011. 134f. Dissertação (mestrado) Universidade do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Porto Alegre, 2011.

JAN IMPLEMENTOS. Catálogo JAN: lancer 12000. 1, 2008. Disponível em: <<http://www.jan.com.br/web/files/files/47.pdf>>. Acesso em: 02 nov. 2019.

TESSARINI, Geraldo; SALTORATO, Patrícia. Impactos da indústria 4.0 na organização do trabalho: uma revisão sistemática da literatura. Revista Produção Online, v. 18, n. 2, p. 743-769, 2018.

KONIG, R.G.; OLIVEIRA, C.A.S.; GILAPA, L.C.M^a. Estudo do efeito de revestimentos na resistência ao desgaste em matrizes de corte para a conformação a frio de elementos de fixação. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ENGENHARIA MECÂNICA, 8. 2007. Cusco, Peru. Anais eletrônicos...

MACHADO, A. L. T.; REIS, A. V.; MORAES, M. L. B.; ALONÇO, A. S. Máquinas para preparo do solo, semeadura, adubação e tratamentos culturais. Pelotas: UFPel, 1996.

MACHADO, A.L.T. et al. Metodologia para avaliação do desgaste em ferramentas simétricas de mobilização do solo. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v. 13, n. 5, p. 645-650, 2009.

MASSEY FERGUSON. Catálogo de produtos. 2015. Disponível em: <<http://www.masseyferguson.com.br/>>. Acessado em: 02 de outubro de 2019.

MEC-RUL. Disponível em <<https://mec-rul.com.br/produtos/subsolador/subsolador-49>>. Acessado dia 16 de dezembro de 2019.

MF RURAL. Disponível em <<https://www.mfrural.com.br/detalhe/arado-de-aiveca-311704.aspx>>. Acessado dia 16 de dezembro de 2019.

MORAES, Luiz Brenner et al. Ed única. Editora universitária UFPEL, p.33, 1996.

MUNDO MECÂNICO. Mecanismos de desgaste dos metais. 2017. Disponível em: <<http://mundomecanico.com.br/mecanismos-de-desgaste-dos-metais/>>. Acessado em: 02 de outubro 2019.

PÉREZ, WILMER; GONZÁLEZ, HUGO; TORO, ALEJANDRO. Desgaste abrasivo de cuchillas de arado rotativo en un suelo franco arenoso. *Dyna*, v. 77, n. 162, p. 105-114, 2010.

PORTELLA, J. A. (1993). A mecanização agrícola no Brasil. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT. Trabalho apresentado no Seminário Latinoamericano de Mecanizacion de la Agricultura Sostenible, Quito, Equador, 1993.

PRETTY, J. N. (1995). *Regenerating agriculture: policies and practice for sustainability and self-reliance*. Londres: Earthscan.

SANTOS, C. G. dos; DALLMEYER, A. U. Colhedoras: Diferentes Sistemas de Trilha e Separação. *Revista a Granja*. Porto Alegre, v. 792, p. 40-42, 2014.

SANTOS, J. de V.; BATISTA, P. B.; KIECKOW, F.. Avaliação do desgaste do polietileno uhmw em meio abrasivo de arroz em casca. Cuiabá: Cbecimat, 2014.

SANTOS FILHO, A. G, DOS SANTOS, J. E. G. G.. Apostila de máquinas agrícolas – UNESP. Bauru/SP, 2001.

SILVEIRA, G. M. As máquinas de plantar: aplicadoras, distribuidoras, semeadoras, plantadoras, cultivadoras. Rio de Janeiro: Globo, 1989.

SIQUEIRA, R. Milho: semeadoras-adubadoras para sistema de plantio direto com qualidade. XXVII Congresso Nacional de Milho e Sorgo. Londrina-PR, setembro de 2008.

STACHOWIAK G.B.; Stachowiak G.W. The Effects of Particle Characteristics on Three-body Abrasive Wear. *Elsevier Science B.V.* v.249, p. 201-207, 2001.

STACHOWIAK, Gwidon W.; Batchelor, Andrew W. *Engineering Tribology*. 3.ed. ButterworthHeinemann: Boston, 832 p., 2005.

STETTER, J. (1993). "Trends in the future development of pest and weed control: a industrial point view." *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 17(3): 346-370.

STOETERAU. R. L. Tribologia – EMC 5315 – Universidade Federal De Santa Catarina, 2004.

TEIXEIRA, Jodenir Calixto. Modernização da agricultura no Brasil: impactos econômicos, sociais e ambientais. **Revista Eletrônica AGB-TL**, v. 1, n. 2, p. 21-42, 2005.

VILLABÓN. L.R.; SINATORA, A. Construção e instrumentação de abrasômetro do tipo roda-de-borracha para o estudo do comportamento tribológico de aços. *APAET - Mecânica Experimental* - 2006, Vol. 13, Pag. 1-11.

VEIGA, José Eli. Metamorfoses da política agrícola dos Estados Unidos. **São Paulo: Annablume**, 1994.

ZUFFO, Matheus David de Freitas ; DA SILVA, Edson Roberto. ESTUDO DO DESGASTE EM COMPONENTES DE IMPLEMENTO AGRÍCOLA LANÇO, 2017.

ZUM GAHR, K.H., *Microstructure and wear of materials*, Elsevier, Amsterdam, 80 - 350, 1987.