



FACULDADE HORIZONTINA

MATEUS ALAN PEARSON SCHUMANN

**ANÁLISE DO COMPONENTE FUNDIDO PARA COLHEDORA DE
ARROZ EM RELAÇÃO A SUA DURABILIDADE EM DIFERENTES
ENSAIOS: UM ESTUDO DE CASO**

HORIZONTINA

2016

FACULDADE HORIZONTALINA
Curso de Engenharia Mecânica

MATEUS ALAN PEARSON SCHUMANN

**ANÁLISE DO COMPONENTE FUNDIDO PARA COLHEDORA DE
ARROZ EM RELAÇÃO A SUA DURABILIDADE EM DIFERENTES
ENSAIOS: UM ESTUDO DE CASO**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontalina.

ORIENTADOR: Sirnei César Kach, Mestre.

HORIZONTALINA-RS

2016



**FAHOR - FACULDADE HORIZONTALINA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

**“Análise do componente fundido da colhedora para arroz em relação a sua durabilidade
em diferentes ensaios: um estudo de caso”**

Elaborada por:

Mateus Alan Pearson Schumann

**Aprovado em: 11/11/2016
Pela Comissão Examinadora**

**Mestre Sirnei Cesar Kach
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

**Mestre Rafael Luciano Dalcin
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Especialista Jackson Luis Bartz
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**HORIZONTALINA- RS
2016**

DEDICATÓRIA

Dedico o presente trabalho aos meus pais pelo apoio, e a todos os professores e amigos que de alguma forma participaram da minha caminhada acadêmica.

AGRADECIMENTO

A meus pais que dentro do possível não mediram esforços em me auxiliar no que fosse necessário.

A todos os professores, pois sem eles não teríamos chegado a este momento.

A empresa Modelação IJHUY em especial ao Aldari, que auxiliou na fabricação dos modelos e corpos de prova utilizados nos ensaios.

A empresa Rijeza, em especial Cristian Bender que prontamente me auxiliou na realização dos tratamentos superficiais nos corpos de prova.

A empresa SR Máquinas, especialmente ao Magnus Stamm que auxiliou nos tratamentos térmicos.

A empresa Candeia pelas análises metalográficas.

Ao meu professor orientador, Sirnei Kach, o qual tenho admiração como professor e como profissional, e não mediu esforços para que este estudo saísse do rascunho.

EPÍGRAFE

“Sempre tentei tornar cada desastre uma
oportunidade” John D. Rockefeller

RESUMO

Atualmente uma das grandes necessidades do produtor de arroz, é ter um equipamento confiável e com uma vida útil prolongada em relação aos equipamentos disponíveis no mercado, que por sua vez sofrem altos níveis de desgaste por erosão em seus componentes. Este estudo tem como objetivo estender a vida útil de um item fundido que compõe o conjunto de separação de grãos em uma colhedora de arroz. Serão executados testes em corpos de prova similares ao item original, porém sendo fabricados com diferentes materiais e tratamentos. Como a colheita do arroz só inicia no mês de março, os testes serão simulados com jato de granalha o qual tem a função de simular o desgaste por erosão que o arroz causa aos componentes da colhedora. Assim que executados os ensaios foi possível realizar a análise dos dados, onde podemos observar que os corpos de prova fabricados em ferro fundido nodular com posterior tratamento térmico de têmpera e aspensão térmica teve o melhor desempenho se comparado aos ferros fundidos sem tratamentos.

Palavras-chave: Desgaste, colhedora, arroz.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Produção de arroz no Brasil.....	17
Figura 2 - Gráfico de distribuição da produção de arroz no Brasil	18
Figura 3 - Gráfico de produção de cereais, leguminosas e oleaginosas.	19
Figura 4 - Mapa da produção de arroz no Rio Grande do Sul.....	20
Figura 5 - Desenho esquemático de uma colhedora automotriz.....	21
Figura 6 - Partes de uma colhedora convencional.....	24
Figura 7 - Partes de uma colhedora axial	26
Figura 8 - Partes internas de uma colhedora John Deere classe 5, axial	28
Figura 9 - Partes do rotor da colhedora John Deere STS9570	28
Figura 10 - Partes do rotor da colhedora John Deere STS9570	29
Figura 11 - Comparativo entre os tipos de desgaste	30
Figura 12 - Gráfico de temperatura x dureza tempera ferro fundido nodular	35
Figura 13 - Procedimento de aspersão térmica.....	36
Figura 14 - Perfil da superfície para cada tipo de granalha	40
Figura 15 - Imagem ampliada das granalhas angulares.....	41
Figura 16 - Esboço item original, kit de dentes, alto desgaste	44
Figura 17 - Esboço corpo de prova para os ensaios	44
Figura 18 - Esboço corpo de prova para os ensaios, dimensões	45
Figura 19 - Imagem metalografica do item original.....	46
Figura 20 - Ensaio de dureza e metalográfica	47
Figura 21 - Croqui suporte para ensaios de jato de granalha, vista isométrica	48
Figura 22 - Croqui suporte para ensaios de jato de granalha, vista frontal	49
Figura 23 - Procedimento dos ensaios	51
Figura 24 - Imagem item novo	52
Figura 25 - Imagem item novo	53
Figura 26 - Imagem item após colheita	54
Figura 27 - Imagem item após colheita	54
Figura 28 - Custos de manutenção deste item fundido.....	55
Figura 29 - Display do forno quando temperatura chegou ao setup.....	56
Figura 30 - Metalografia dos corpos de prova.....	57
Figura 31 - Bancada de testes montada para o ensaio	58
Figura 32 - Corpos de prova do primeiro grupo após os ensaios.	60
Figura 33 - Corpos de prova do segundo grupo após os ensaios.	60
Figura 34 - Corpos de prova do terceiro grupo após os ensaios	61
Figura 35 - Gráfico comparativo em percentual das perdas de massa entre os corpos de prova antes e depois do ensaio para o primeiro grupo.....	63
Figura 36 - Gráfico comparativo em percentual das perdas de massa entre os corpos de prova antes e depois do ensaio para o segundo grupo.	64
Figura 37 - Gráfico comparativo em percentual das perdas de massa entre os corpos de prova antes e depois do ensaio para o segundo grupo..	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Partes de uma colhedora convencional.	24
Quadro 2 - Partes de uma colhedora axial.....	26
Quadro 3 - Propriedades ferros fundidos.....	32
Quadro 4 - Classes e características dos ferros fundidos nodulares.....	33
Quadro 5 - Procedimentos de tempera e revenimento para ferros fundidos nodulares.....	34
Quadro 6 - Comparativo de durezas entre o cromo duro e o carboneto de tungstênio.	38
Quadro 7 - Tamanhos para granalhas angulares.....	41
Quadro 8 - Identificação dos corpos de prova.....	59
Quadro 9 - Peso corpos de prova, antes e depois do ensaio, perdas de massa.....	62
Quadro 10 - Expectativa de durabilidade.....	66
Quadro 11 - Custo de manutenção estimado.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Custos de operações mecanizadas na colheita do arroz por cidades.	22
Tabela 2 - Relação de classes das colhedoras	22
Tabela 3 - Composição química do material do item original	47

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	TEMA	14
2.1	DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	14
3.1	PROBLEMA DE PESQUISA	15
4.1	JUSTIFICATIVA.....	15
5.1	OBJETIVO GERAL.....	15
6.1	OBJETIVOS ESPECIFICOS	15
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	17
2.1	PRODUÇÃO DE ARROZ NO BRASIL	17
2.2	MECANIZAÇÃO DA COLHEITA DO ARROZ NO RIO GRANDE DO SUL	20
	2.2.1 Classes das colhedoras.....	22
	2.2.2 Diferentes sistemas de colheita.....	23
	2.2.3 Colhedoras convencionais (Saca Palha)	23
	2.2.4 Colhedoras axiais (Rotor).....	25
	2.2.5 Colhedoras híbridas	27
	2.2.6 Operações fundamentais em uma colhedora.....	27
	2.2.7 Componentes das colhedoras afetados pelo arroz	28
2.3	MECANISMOS DE DESGASTES	29
2.4	FERROS FUNDIDOS GENERALIDADES	31
	2.4.1 Ferro fundido nodular	32
	2.4.2 Ferro fundido branco	33
2.5	TÊMPERA	33
2.6	ASPERSÃO TÉRMICA (HVOF: <i>HIGH VELOCITY OXYGEN FUEL</i>).....	35
	2.6.1 Carboneto de tungstênio	37
	2.6.2 Tipos de aspersão térmica	37
	2.6.3 Cromo duro x aspersão térmica	38
2.7	JATO DE GRANALHA DE AÇO	39
	2.7.1 Princípio de funcionamento do jato de granalha	39
	2.7.2 Tipos de granalha, abrasivo e perfil de rugosidade	40
	2.7.3 Aplicações.....	42
3	METODOLOGIA	43
3.1	MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS	43
	3.1.1 Dimensionamento dos corpos de prova	43
	3.1.2 Seleção dos materiais.....	45
	3.1.3 Projeto do dispositivo para ensaio.....	48
	3.1.4 Material abrasivo utilizado.....	49
	3.1.5 Procedimento de ensaio	50
3.2	MATERIAIS E EQUIPAMENTOS.....	51
3.3	DESCRIÇÃO DA AMOSTRA.....	51
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	52
4.1	VIDA UTIL DOS COMPONENTES (COMPARATIVO ARROZ X DEMAIS CULTURAS)	52
4.2	ANÁLISE DE CUSTOS EM FUNÇÃO DA VIDA UTIL DO COMPONENTE.....	54

4.3 MATERIAIS UTILIZADOS NA FABRICAÇÃO DOS COMPONENTES DO SISTEMA DE TRILHA E SEPARAÇÃO.....	56
4.3.1 Processo de têmpera	56
4.4 ANÁLISE METALOGRÁFICA DOS CORPOS DE PROVA.....	57
4.5 CONSTRUÇÃO DO DISPOSITVO E AJUSTES	58
4.6 ANÁLISES DOS CORPOS DE PROVA, APÓS OS ENSAIOS.....	59
4.7 EXPECTATIVA DE DURABILIDADE DOS CORPOS DE PROVA.....	66
4.8 EXPECTATIVA DE CUSTO DE MANUTENÇÃO.....	67
CONCLUSÃO	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69

1 INTRODUÇÃO

A mecanização agrícola vem sendo de suma importância para a viabilidade da agricultura na atualidade, tendo como objetivo aumentar a produtividade e a rentabilidade do setor no mercado. Tal efeito requer um alto empenho de empresas do setor industrial em inovar, melhorar e aperfeiçoar a produção e comercialização dos equipamentos.

Em algumas empresas é inviável conseguir atender a necessidade de todos os tipos de cliente, pois há uma enorme variação no regime de trabalho de região para região. No caso das colhedoras arroseiras, existe um baixíssimo número de máquinas se comparado com as culturas de milho e soja devido à disparidade na área plantada. Porém ocorrem problemas críticos de desgastes em componentes das colhedoras arroseiras, que reduzem consideravelmente a vida útil dos componentes chegando a ter a proporção de durabilidade 30 vezes menor, se comparado o mesmo desgaste em colhedoras de grãos como o milho e a soja.

A partir da contextualização descrita, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver um item diferenciado para utilização na cultura do arroz buscando aumento de durabilidade. Modificando o material e adicionando alguns tratamentos superficiais e tratamentos térmicos, e colocando o mesmo a prova, pensando sempre no comparativo de custo benefício, para o agricultor.

O item faz parte do conjunto do rotor da colhedora (trilha e separação) o qual tem elevado custo e baixa durabilidade. A substituição é prematura, devido ao desgaste oferecido pelo grão de arroz. O mesmo resultado se aplica a outros 20 itens similares na colhedora os quais sofrem o mesmo problema.

1.1 TEMA

O presente trabalho tem como tema um estudo de caso de um item que compõe o sistema de separação de grãos de uma colhedora arroseira, que sofre com o desgaste excessivo devido à abrasividade do arroz.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O estudo em questão tem como ponto de partida a identificação do desgaste dos componentes nas culturas de cereais sem a presença de sílica em sua composição (soja, milho, trigo) e a durabilidade na cultura do arroz.

Posteriormente serão selecionados possíveis materiais com diferentes durezas e composições, além de diferentes tratamentos térmicos e superficiais.

Assim que selecionados os materiais, serão fabricados, corpos de prova. Todos serão expostos ao jato de granalha o qual tem a função de simular o desgaste por erosão da casca de arroz, utilizando uma distância e um tempo de exposição determinados.

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

Desgaste prematuro em componentes fundidos do sistema de separação de grãos em colhedoras para arroz.

1.4 JUSTIFICATIVA

Todos componentes de colhedoras arroteiras estão sujeitos a altos níveis de desgaste. Porém em alguns itens esse nível se acentua, devido ao maior fluxo do grão e a maior pressão exercida sobre os componentes. Todos esses problemas podem ser solucionados com tratamentos superficiais para aumento da dureza do material ou simplesmente mudança do material base, afim de redução do desgaste e aumento da durabilidade, tendo assim um custo benefício diferenciado para o agricultor. Será feito um comparativo entre a durabilidade e o custo de fabricação do item, onde se terá o real aumento de todas as situações ensaiadas. Desta forma atendendo a demanda do agricultor em reduzi o desgaste, consequentemente o custo de manutenção, justifica-se o trabalho.

1.5 OBJETIVO GERAL

Melhorar características do componente para colhedora arroteira com durabilidade superior ao existente, melhorando o custo x benefício para o agricultor.

1.6 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Os objetivos específicos são todas as tarefas que convergem para o atendimento do objetivo geral deste trabalho. Os objetivos específicos são:

- Verificar a durabilidade de item em diferentes condições de trabalho, arroz x demais cereais.
- Desenvolver de corpos de prova para ensaios de simulação do efeito da erosão.
- Realizar ensaios de resistência à erosão, similares aos sofridos durante a colhedora.

- Comparar dados dos cinco corpos de provas fabricados e tratados com materiais diferenciados relacionando a durabilidade.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo serão abordados alguns pontos importantes referentes ao cenário atual da produção de arroz no Brasil, tipos de colhedoras, sistemas mecânicos de separação de grãos nas colhedoras de arroz, onde há a maior incidência de desgaste nos componentes das colhedoras. Por último será abordado os materiais e os tratamentos superficiais que serão fabricados os corpos de prova que posteriormente serão ensaiados na bancada de testes desenvolvida.

2.1 PRODUÇÃO DE ARROZ NO BRASIL

O Arroz esta entre os cereais mais consumidos do mundo, e o Brasil é um dos maiores produtores encontrando-se na nona posição no ranking com cerca de 11,26 milhões de toneladas colhidas na safra 2009/2010 e 12,546 milhões de toneladas na safra 2013/2014 (IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e estatística, 2015), sendo dividido em três polos, a região sul com destaque para o Rio Grande do Sul, a região central, que abrange os estados de São Paulo, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso e o terceiro polo se encontra o estado do Maranhão. Na figura 1, o mapa da produção de arroz no Brasil no ano de 2006. EMBRAPA *apud* IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e estatística (2008).

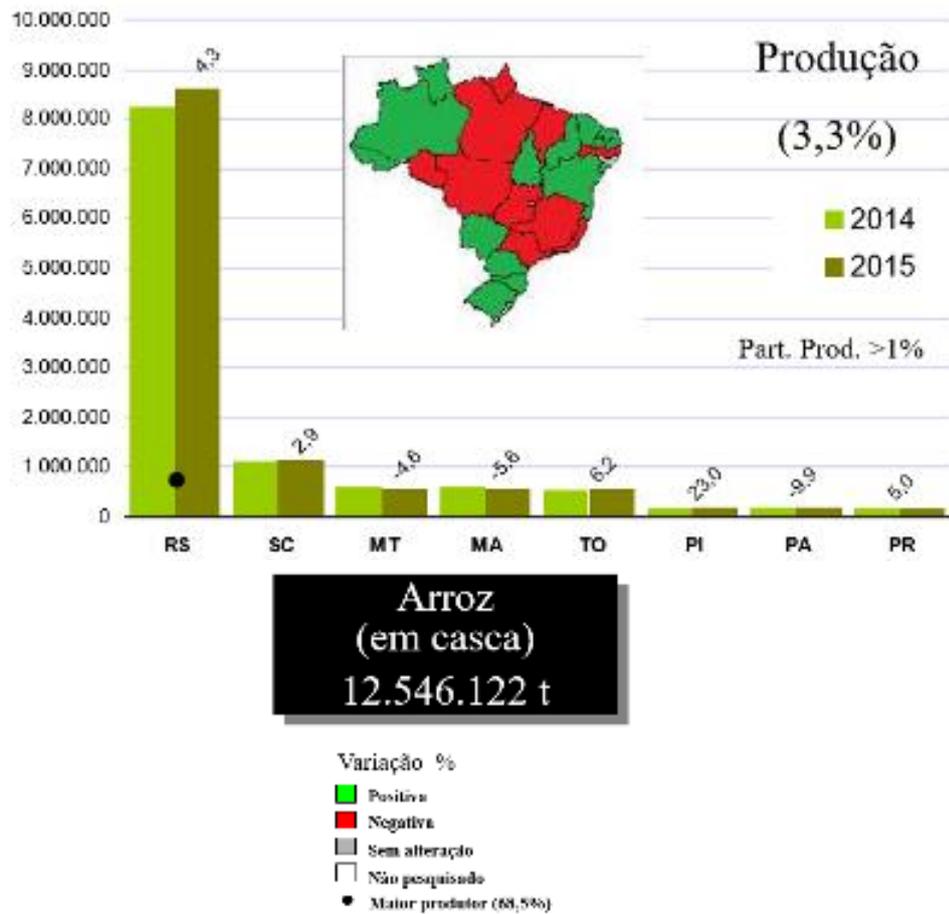
Figura 1- Produção de arroz no Brasil



Fonte: Embrapa adaptado IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e estatística (2008)

Como se pode observar na Figura 2, o Rio Grande do Sul é o grande produtor de arroz do país, chegando a somar 68,5% da produção nacional. IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e estatística (2015).

Figura 2 – Gráfico de distribuição da produção de arroz no Brasil

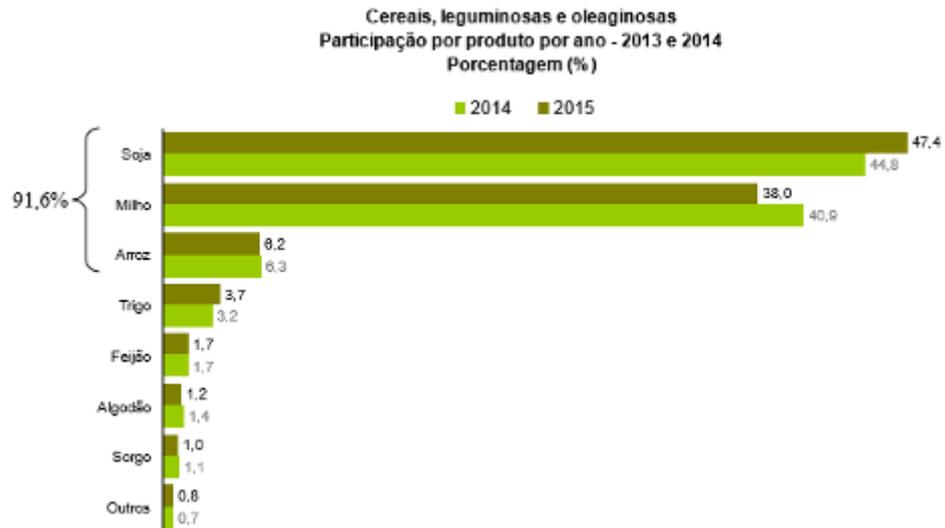


Fonte: IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e estatística (2015).

Sabendo disto podemos verificar que o Rio Grande do Sul é o lugar mais apropriado para realização do trabalho de pesquisa, pois já maior fonte de informações a respeito do assunto.

Porém observa-se na Figura 3, a parcela que o arroz representa no quadro geral de cereais é pequena, levando em consideração a soja e o milho que são os tem volumes muito maiores, se considerando os anos de 2014 e 2015 o arroz representou pouco mais de 6% do total de cereais, leguminosas e oleaginosas produzidas no Brasil, IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e estatística (2015).

Figura 3 – Gráfico de produção de cereais, leguminosas e oleaginosas



Fonte: IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e estatística (2015).

Sabendo da baixa influência do arroz na quantidade total de cereais colhidos no Brasil, conseguimos perceber o porquê há um baixo número de colhedoras para esta cultura, não despertando um interesse de investimento por parte das empresas fabricantes de implementos.

Quando se analisa o cenário do arroz no RS, estima-se que o arroz apresente atualmente um valor bruto de produção de cinco bilhões de reais, o que representa mais do que 3 % de ICMS e 2,74 % do PIB também se pode observar uma região em particular que é a grande responsável pela produção de arroz, que é a Região Sul do RS, no mapa a seguir podemos observar a produção e a produtividade de cada área. SOSBAI, Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado (2010)

Figura 4 – Mapa da produção de arroz no Rio Grande do Sul



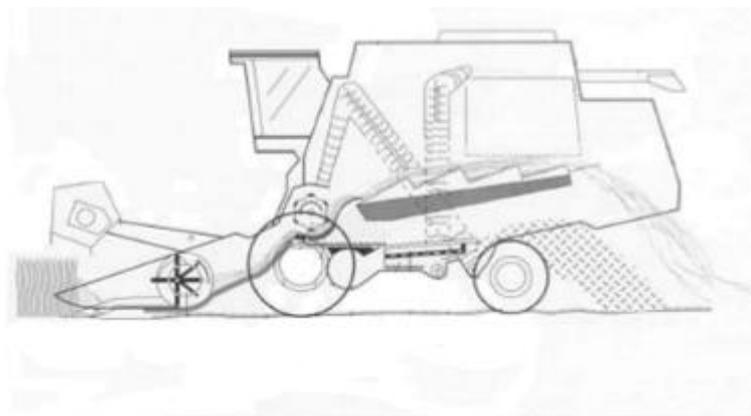
Fonte: SOSBAI, Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado (2010).

Também pode se observar na Figura 4, que a zona sul tem a maior produtividade de arroz, com aproximadamente 6844 kg por hectare, ficando atrás somente da fronteira oeste.

2.2 MECANIZAÇÃO DA COLHEITA DO ARROZ NO RIO GRANDE DO SUL

Segundo ARALDI *apud* HUNT (2001), a mecanização da colheita de grãos tem sido um dos maiores objetivos dos produtores. Sabendo que o corte e a debulha de culturas de grãos finos (trigo, arroz, cevada, etc.) são difíceis de serem colhidas. Tentativas de desenvolver uma máquina auto propelida capaz de colher plantas com grãos finos, datam de 1830. Mas somente com a concepção dos motores a combustão interna com boa relação peso potência, foi possível o desenvolvimento de uma colhedora com as funções de corte, alimentação, debulha, separação e limpeza, denominada colhedora automotriz, Na Figura 5 podemos visualizar este conceito.

Figura 5 – Desenho esquemático de uma colhedora automotriz



Fonte: HUNT (2001).

Observando desenho esquemático podemos perceber o fluxo interno de material, desde o momento da entrada na máquina, parte de trilha, separação de grãos, destino dos grãos e o descarte dos detritos.

Segundo MORAES et al(1996) as colhedoras de arroz se distinguem em alguns aspectos principalmente as superfícies metálicas que entram em contato com a cultura, serem fabricadas em materiais de alta resistência a erosão e abrasão, devido a alto conteúdo de sílica presente na casca do cereal.

Segundo o Instituto Rio Grandense do Arroz, ARALDI apud IRGA, Instituto Rio Grandense do arroz (2006), na safra 05/06 as operações mecanizadas somaram 35% de todo custo da produção do arroz, já ARALDI apud CONAB, companhia nacional de abastecimento (2010) afirma que esse valor é de aproximadamente 29,5 %.

Estes valores podem ter variações de 30 a 40% , dependendo da safra, pois há inúmeros fatores que influenciam como : preço do óleo diesel, filtros, lubrificantes, peças de reparo metodologia de calculo etc. ARALDI(2011).

Tabela 1 – Custos de operações mecanizadas na colheita do arroz por cidades

Município	R\$/saco 50kg	Custos com operações mecanizadas (R\$/saco 50kg)	% do custo total
Cachoeira do Sul	28,19	8,67	27,59
Itaqui	26,76	6,8	25,39
Pelotas	32,01	9,83	30,72
Sta Vitória do Palmar	32,71	11,13	34,01
Média	29,78	9,10	29,42

Fonte: CONAB, companhia nacional de abastecimento (2010)

Baseando-se na tabela 1, ARALDI (2011) apud Ferreira (1983), afirma que as máquinas agrícolas em geral as colhedoras automotriz, só são utilizadas em algumas épocas do ano, por este motivo a porcentagem do custo é tão elevada, pois uma colhedora acarreta altos custos fixos do ponto de vista econômico, devido ao seu alto valor de investimento e o baixo número de horas que são utilizadas, sem considerar os custos de manutenção. Dados do IRGA, Instituto Rio Grandense do arroz (2010), na safra 2009/2010, a operação de colheita atingiu um custo muito elevado chegando a 10,46% do valor total de produção.

2.2.1 Classes das colhedoras

Além dos sistemas de colheita também há, uma classificação quanto a capacidade de colheita, que por muito tempo foi levado em consideração o número de saca palhas, porém, com a entrada de colhedoras de rotor, essa classificação passou a ser baseada na potência do motor, conforme tabela 2 com as classes atuais das colhedoras. HOHER (2011)

Tabela 2 – Relação de classes das colhedoras

Classe	Potência [HP]
Classe 3	< 161
Classe 4	161 – 200
Classe 5	201 – 254
Classe 6	255 – 294
Classe 7	295 – 350
Classe 8	>350

Fonte: HOHER (2011)

O presente trabalho se baseia em um item da colhedora da classe 6, que contém as colheitadeiras de 255-294 CV's

2.2.2 Diferentes sistemas de colheita

Atualmente existem três tipos de sistemas de colheita, dentre elas estão:

- Sistema convencional,
- Sistema Axial Longitudinal
- Sistema Híbrido

O número de máquinas convencionais no mercado ainda é maior. Por outro lado, o crescimento das colhedoras axiais vem aumentando a cada dia, sendo assim, o número de colhedoras axiais superará as convencionais. Já as colhedoras do sistema híbrido, por utilizarem uma nova tecnologia não podem ser comparadas aos números de máquinas convencionais e axiais. HOHER (2011)

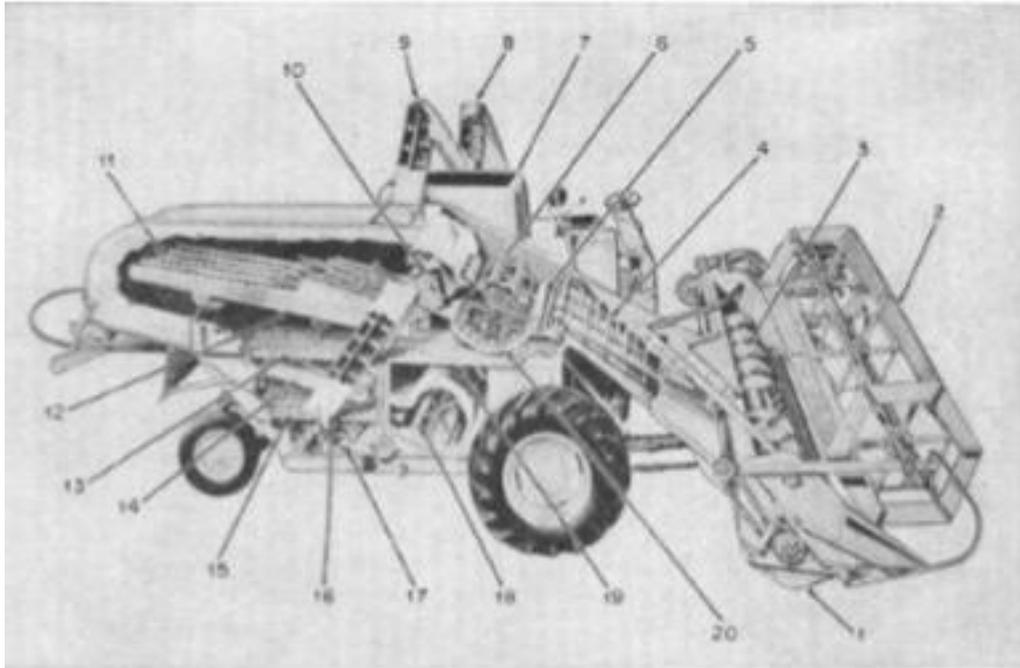
2.2.3 Colhedoras convencionais (Saca Palha)

É o sistema mais encontrado nas lavouras brasileiras, também o mais antigo encontrado nas colhedoras auto propelidas. A principal diferença no sistema convencional está na parte de separação dos grãos, que neste caso é feita por saca palhas. Atualmente é utilizada em pequenas propriedades, pois existem sistemas melhores para serem utilizados nas grandes áreas, devido à capacidade de processamento do material, como por exemplo, o sistema de rotor longitudinal. HOHER (2011)

Segundo HOHER (2011) apud Richey et al (1961), as ações que ocorrem em uma colhedora são: o material é colhido na plataforma, posteriormente passa pelo alimentador, é trilhado no côncavo com auxílio do cilindro de trilha. Nesse momento alguns grãos caem na bandeja outros conjuntamente com o MOG(*Material others than grain*, massa de todos os resíduos da colheita menos os grãos), seguem para o saca palhas onde o material é separado, a palha fina e o grão caem nas peneiras e a palha grossa sai e é triturada pelo picador, já o grão e levado para o tanque graneleiro, e a palha fina cai na parte inferior traseira da colhedora. Este sistema continua praticamente o mesmo desde a década de 50, modificando somente a capacidade de colheita, onde a maioria das convencionais esta na classe 4, 5 e 6.

Na Figura 6 podemos verificar as partes de uma colheitadeira do tipo convencional

Figura 6 – Partes de uma colhedora convencional



Fonte: HOHER (2011)

Observa-se que na Figura 6 o sistema de trilha e separação tem saca palhas na parte traseiras e um cilindro de trilha que debulha o material vindo da plataforma de corte.

Já no Quadro 1 podemos observar todos os itens que compõe o sistema de uma colhedora convencional, essas componentes são utilizados em todas colhedoras desde os menores até os maiores modelos.

Quadro 1 – Partes de uma colhedora convencional

Nº Componente	Descrição
1	Plataforma de Corte
2	Molinete
3	Helicóide Transportador
4	Canal Alimentador
5	Barra Batedora
6	Cilindro de Alta Inércia
7	Tanque Graneleiro
8	Tubo Descarregador
9	Elevador de Grãos
10	Cilindro Batedor Traseiro
11	Saca-Palhas
12	Bandeja de retorno do Saca-Palhas
13	Peneira Superior
14	Bandeja Transportadora da Peneira
15	Peneira Inferior
16	Elevador de Retrilha
17	Helicóide Transportador
18	Ventilador
19	Bandeja do Cilindro de Alta Inércia
20	Concavo

Fonte: HOHER (2011)

Podemos verificar que no quadro 1 e na figura 6, que a massa entra na colhedora pela plataforma de corte que é composta pelo molinete e o helicóide transportador, após passa pelo canal alimentador, entra na parte que o cilindro, as barras redondas e o cilindro de alta inércia executam a debulha dos grãos, posteriormente passa pelo o cilindro batedor traseiro, chegando no saca palha onde é separado os grãos da palha, os grãos caem na peneira onde seguem pelo elevador até o tanque graneleiro.

2.2.4 Colhedoras axiais (Rotor)

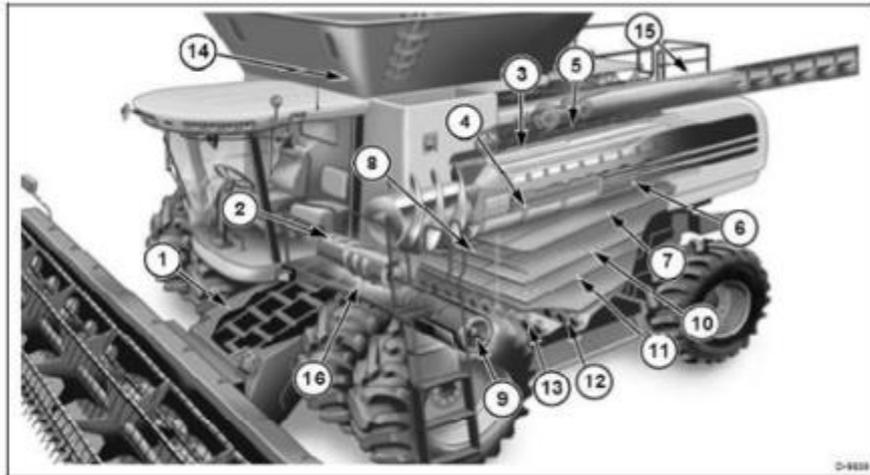
Segundo HOHER (2011) o sistema de colheita longitudinal é muito semelhante ao sistema convencional. As únicas diferenças são encontradas no sistema de trilha e separação dos grãos. No sistema de colheita longitudinal, os componentes que são responsáveis pela trilha e separação se encontram no sentido longitudinal da máquina, tendo como principal vantagem a distribuição do peso e a capacidade de trilhar o melhor o material em terrenos inclinados. O sistema de colheita longitudinal também tem dentre suas características o pequeno espaço utilizado na máquina se comparado o sistema de saca palhas.

Mas o grande diferencial do sistema de colheita longitudinal esta na aceleração imposta, pela rotação ao material a ser separado. Pois no sistema de saca palhas a força que atua é a gravidade onde o material e acelerado de duas a três vezes. Já no sistema de rotor o material pode acelerar ate 15 vezes devido a ação da força centrífuga imposta pela velocidade angular. HOHER (2011),

Este sistema também possui algumas subdivisões, pois tem equipamentos que utilizam dois rotores, pois com diâmetro menor a velocidade angular torna-se maior, no entanto o custo fica elevado, já outras marcas utilizam um só roto. A diferença de desempenho entre essas duas situações não é tão significativa. Afirma HOHER (2011),

Porém HOHER (2011), cita que existem alguns pontos negativos das colhedoras com sistema axial. Quando a palha é verde ou úmida, levam desvantagem se comparadas às máquinas de sistema convencional, pois em situações de muita material MOG (*Material others than grain*, massa de todos os resíduos da colheita menos os grãos), o coeficiente de atrito pode chegar a níveis altíssimos. Gerando assim um déficit de potência, assim necessário a redução no avanço da colhedora nessas situações. Na Figura 7 mostra as partes de uma colhedora axial.

Figura 7 – Partes de uma colhedora Axial



Fonte: HOHER (2011).

Observando a Figura 7 podemos verifica partes do sistema interno da colhedora do tipo axial, desde o sistema de alimentação até o sistema de trilha e separação que fica no rotor longitudinal, até o descarte do material trilhado.

No Quadro 2 está listado todos os conjuntos que compõe o sistema de corte, alimentação trilha separação e transporte dos grãos de uma colheitadeira axial, também podemos observar que há menos conjuntos em relação as colheitadeiras convencionais.

Quadro 2 – Partes de uma colhedora axial

Nº Componente	Descrição
1	Canal alimentador
2	Cilindro acelerador
3	Rotor de trilha e separação
4	Côncavos
5	Grelhas
6	Grelhas
7	Bandeja do rotor
8	Tubo Descarregador
9	Ventilador
10	Peneira superior
11	Peneira inferior
12	Helicóide de retilha
13	Helicóide de grão limpo
14	Tanque graneleiro
15	Tubo descarregador
16	Caixa de pedras

Fonte: HOHER (2011)

Observando o sistema convencional e o sistema axial citado no Quadro 2 e na Figura 7, podemos perceber que há itens em comum entre o sistema axial e o convencional, dentre eles o canal alimentador, tubo descarregador, graneleiro, peneiras. Porém o sistema de trilha e separação é bem diferente em relação as convencionais.

2.2.5 Colhedoras híbridas

HOHER (2011), também afirma que o sistema de colheita híbrido utiliza características dos outros dois sistemas, o convencional e o de sistemas axiais. No sistema convencional utiliza-se o cilindro e o côncavo, já no sistema longitudinal utiliza-se o rotor longitudinal. A vantagem desse sistema é poder trabalhar em lavouras onde o MOG é muito alto, pois os rotores separam melhor os grãos em lavouras com esta condição.

2.2.6 Operações fundamentais em uma colhedora.

As colhedoras devem ter cinco funções fundamentais, independente do tipo de trilha:

1. Corte e alimentação da plataforma de corte;
2. Trilha;
3. Separação do grão da palha;
4. Limpeza do grão;
5. Armazenagem e descarga do grão.

- **Sistema de separação**

Logo após o trabalho de trilha da colhedora, uma grande massa de material, mistura de palha e grãos, entra no sistema de separação. É nesta parte onde a palha maior é separada do grão. Nas colhedoras convencionais esse trabalho é executado no saca palhas, que tem a função de remexer a palha e os grãos para estes caírem até a peneira. Já no caso das colhedoras com rotores longitudinais, a separação é realizada no final do rotor, onde se tem as grelhas. Este trabalho é similar ao sistema de saca palha o qual tem a função de deixar passar a palha fina e os grãos eliminando as palhas grandes. Esta é uma grande vantagem dessas colhedoras, pelo fato de aplicar uma grande aceleração ao material, a separação tende a ser mais eficiente, complementa HOHER (2011).

2.2.7 Componentes das colhedoras afetados pelo arroz

O presente estudo terá como foco o estudo de componente fundido encontrado nas colhedoras de classe 6, na parte de separação de grãos, que se encontra na parte traseira do rotor longitudinal. Conforme Figuras 8, 9, 10.

Na Figura 8 podemos observar as partes internas de uma colheitadeira marca John Deere modelo 9570, colheitadeira essa pertencente a classe 5.

Figura 8 - Partes internas de uma colhedora John Deere classe 5, axial



Fonte: JOHN DEERE, Catálogo de pós venda (2008)

Também podemos observar para o sistema de rotor axial, o qual é similar ao citado anteriormente na Figura 7, além do caminho percorrido pelo material a ser trilhado que é o mesmo que em todas colheitadeiras que possuem um rotor único, independente da marca e modelo.

Já na Figura 9 podemos observar o rotor em detalhes, onde podemos verificar os componentes de alimentação trilha e separação.

Figura 9 - Partes do rotor da colhedora John Deere STS9570



Fonte: JOHN DEERE, Catálogo de pós venda (2008)

Na Figura 9 podemos verificar que a palha entra na parte de alimentação, é onde chega a palha vinda do alimentador, posteriormente o material vai para a parte de trilha onde ocorre a debulha, posteriormente a parte de separação onde o grão é separado da palha e por ultimo a separação final que leva o material para descarte na parte traseira da colheitadeira.

Na Figura 10, podemos ver o rotor planificado, sendo visível os componentes responsáveis por executar a trilha e a separação dos grãos.

Figura 10 - Partes do rotor da colhedora John Deere STS9570



Fonte: JOHN DEERE, Catálogo de pós venda (2008)

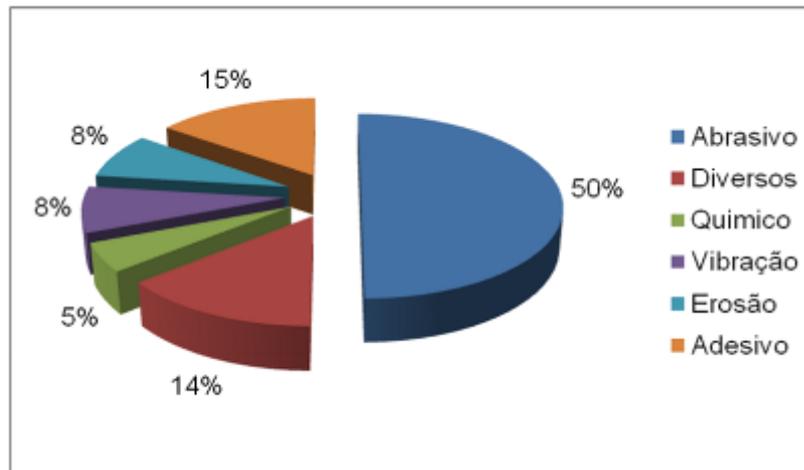
Também se observa que na Figura 10 que a parte responsável pela separação do grão e da palha é a maior em comprimento se comparado com as partes de trilha e alimentação.

2.3 MECANISMOS DE DESGASTES

O desgaste é um dano em uma superfície sólida normalmente com perda de material, envolvendo o movimento relativo entre uma superfície e alguma substância onde ocorre o contato Werner *apud* (MORAES, 2008).

Para Werner *apud* Albertin (2006), o desgaste abrasivo é principal causador de danos mecânicos dentre os demais tipos de desgaste como podemos observar na figura abaixo, desgaste abrasivo corresponde a metade dos tipos de desgastes existentes.

Figura 11 - Comparativo entre os tipos de desgaste



Fonte: Werner apud (ALBERTIN, 2006).

Com esta imagem podemos observar o quanto importante é, o cuidado com os diversos tipos de desgaste que um objeto possa sofrer em determinado ambiente de trabalho.

Neste trabalho será abordado o desgaste erosivo que segundo Werner *apud* (BAYER, 2004), as partículas não são pressionadas contra a superfície como nos desgastes causados por abrasão, mas sofrem choque mecânico contra outras superfícies.

Segundo RIJEZA (2009), o desgaste por erosão é caracterizado pela remoção de material da superfície quando esta é impactada com um fluido(liquido ou gasoso) que contém partículas sólidas Os principais parâmetros que devem ser levados em consideração nos desgastes por erosão são:

- Ângulo de impacto: É o ângulo formado entre a superfície e a linha de trajetória das partículas;
- Velocidade da partícula: quanto maior for a velocidade da partícula maior a energia cinética e conseqüentemente maior o desgaste causado a superfície impactada;
- Forma da partícula: formato das partículas influência diretamente nas deformações da superfície desgastada. as partículas podem ser pontiagudas ou arredondadas.
- Dureza das partículas: quanto menor for a dureza da partícula em relação a superfície, menor o desgaste. Aços normalmente possui dureza inferior a de muitas partículas encontradas na natureza, como por exemplo a sílica. Nesse caso, a utilização de aços com tratamentos térmicos e revestidos com revestimentos, como o de carboneto de tungstênio podem aumentar significativamente a resistência ao desgaste por erosão de componentes mecânicos.

2.4 FERROS FUNDIDOS GENERALIDADES

Dentre as ligas de ferro carbono, os ferros fundidos constituem um grupo de liga muito importante para a indústria . Não só devido as características do material, mas também pelo fato de introdução de elementos de liga na composição, aplicação de tratamentos térmicos e pelo uso do ferro fundido nodular, o qual tem características antes só encontradas em aços. Os Ferros fundidos são as ligas de ferro-carbono-silício, de teores de carbono geralmente acima de 2%, normalmente na forma de veios lamelas ou grafita, além que dentre os fatores que mais influenciam nos ferros fundidos são a composição química e o tempo de resfriamento. CHIAVERINI (2002).

Na sequencia serão descritos os tipos de ferros fundidos, segundo, CHIAVERINI (2002).

- Ferro fundido cinzento: cuja fratura mostra uma coloração escura, caracterizada pelas ligas fundamentais que são o carbono e o silício, onde a maioria do carbono se apresenta de forma livre (grafita lamelar) e outra parcela no estado combinado.

- Ferro fundido branco: cuja fratura mostra uma coloração clara, apresenta elementos de liga fundamentais que são o carbono e o silício, porém com menor teor de silício e tendo o carbono quase que inteiramente na forma combinada.

- Ferro fundido mesclado: cuja fratura tem a coloração mista entre branca e cinzenta, e é composto por mistura de ferro fundido branco e cinzento em proporções variáveis.

- Ferro fundido maleável: caracterizado por ser obtido a partir do ferro fundido branco, mediante a um tratamento térmico especial (maleabilização), resultando a transformação de todo ferro combinado em grafita em forma de nódulos (ao invés de veios ou lamelas)

- Ferro fundido nodular: caracterizado por apresentar, carbono livre em forma de grafita esferoidal, devido ao processo realizado ainda no estado líquido, dando assim algumas características diferenciadas, sendo a principal a sua boa ductilidade.

- Ferro fundido de grafita compacta: caracteriza-se pelo fato da grafita se apresentar na forma de escamas, assim como o ferro fundido nodular, exige a adição de elementos que reduz a formação da grafita esferoidal. Pode ser considerado um ferro intermediário entre o ferro fundido cinzento e o nodular, possui fundibilidade do ferro fundido cinzento e certa resistência mecânica que confere o ferro fundido nodular, sua comercialização e relativamente recente.

Neste estudo detalharemos somente os ferros fundidos relacionados ao estudo em questão, que são os ferros fundidos brancos e os ferros fundidos nodulares.

No Quadro 3 estão reunidas todas as características dos ferros fundidos:

Quadro 3 – Propriedades ferros fundidos

Tipo de ferro fundido	Propriedades	Produtos
Ferro fundido cinzento	Boa usinabilidade. Capacidade de amortecer vibrações.	Blocos e cabeçotes de motor, carcaças e pratos de embreagem, discos e tambores de freio; suportes, bases e barramentos de máquinas industriais.
Ferro fundido branco	Dureza e fragilidade. Elevada resistência à compressão. Resistência ao desgaste e à abrasão.	Equipamentos de manuseio de terra, mineração e moagem; rodas de vagões; revestimentos de moinhos.
Ferro fundido maleável (preto ou branco)	Alta resistência mecânica e alta fluidez no estado líquido. Resistência ao choque e às deformações.	Suportes de molas, caixas de direção, cubos de roda; conexões para tubulações hidráulicas e industriais; suportes de barras de torção, copos de mancais, flanges para tubos de escapamento.
Ferro fundido nodular	Ductilidade, tenacidade, usinabilidade. Resistência mecânica e à corrosão.	Mancais, virabrequins, caixas de diferencial, carcaças de transmissão, caixas satélites para automóveis, caminhões e tratores.

Fonte: SENAI (2000).

No Quadro 3 podemos observar as características principais de cada ferro fundido conforme sua aplicação, que há poucas características similares entre si, cada ferro fundido possui uma aplicação diferenciada. SENAI (2000).

2.4.1 Ferro fundido nodular

O ferro fundido nodular tem como principal característica a ductilidade, tenacidade e a resistência mecânica. Dentre esses a característica mais importante é a resistência mecânica onde chama atenção o limite de escoamento que é maior que os ferros fundidos cinzentos, maleáveis e mesmo os aços carbono comuns (sem elementos de liga). A grafita do ferro

fundido nodular se apresenta em forma esferoidal, forma que não interrompe a continuidade da matriz e resultando assim na sua melhor ductilidade e tenacidade, afirma CHIAVERINI (2002).

Quadro 4 – Classes e características dos ferros fundidos nodulares

Classe	Limite de resistência à tração kgf/mm ² (MPa)	Limite de escoamento kgf/mm ² (MPa)	Alongamento (%)	Dureza Brinell	Módulo de elastic. kgf/mm ²	R2sist. ao choque kgf/mm ²	Resistência à flexão kgf/mm ² (MPa)
GGG-45	45 (440)	35 (340)	5	160/240	17.000	2	80/95 (780/930)
GGG-38	38 (370)	25 (250)	17	140/180	↑	10	75/90 (740/880)
GGG-42	42 (410)	28 (270)	12	150/200	16.500	8	80/90 (780/880)
GGG-50	50 (490)	35 (340)	7	170/240	a	6	85/100 (830/980)
GGG-60	60 (590)	42 (410)	2	210/300	18.500	4	90/110 (880/1080)
GGG-70	70 (690)	50 (490)	2	230/320		2	100/120 (1080/1180)

Fonte : CHIAVERINI (2002).

Podemos observar no quadro que as durezas variam conforme a classe de ferro fundido, assim como limite de escoamento e a resistência à flexão. CHIAVERINI (2002).

2.4.2 Ferro fundido branco

Nestes materiais praticamente todo o carbono se apresenta na forma combinada de carboneto de ferro, mostrando uma superfície de fratura clara. Suas características são as elevada dureza e resistência ao desgaste devido à alta quantidade de cementita, porém com essa elevada dureza a usinagem é prejudicada, sendo de extrema dificuldade a sua usinagem mesmo com melhor ferramental de corte disponível. Para produção de ferro fundido branco, deve ser ajustada a composição química adequada, teores de silício e carbono, além de um cuidado especial na velocidade de resfriamento, afirma CHIAVERINI (2002).

2.5 TÊMPERA

Segundo CHIAVERINI (2002), a estrutura normal do ferro fundido nodular quando fundido é composta de matriz perlítica com grafita esferoidal, pode apresentar cementita ou ferrita livre. Muitas peças são utilizadas em estado fundido, algumas elas são tratadas termicamente. O tratamento térmico normalmente é o que decompõe a cementita produzindo mais ferrita e grafita esferoidal, mediante um recozimento ou normalização.

O material é austenitizado até a temperatura de 870° a 900°, com posterior resfriamento em óleo posterior revenimento se necessário. As estruturas que resultam após o tratamento correspondem a da martensita revenida e o objetivo do tratamento aumentar a resistência mecânica, dureza e resistência a desgaste do material. CHIAVERINI (2002).

Também existe a possibilidade de realizar a têmpera na superfície do material, pode ser aquecido tanto por chama quanto pelo método de indução, após o tratamento pode se alcançar uma dureza de aproximadamente 60 HRC (*Hard Rockell C*), sendo assim muito resistente ao desgaste, para este tratamento a temperatura deve chegar a 900°C e posterior resfriamento rápido com água, afirma CHIAVERINI (2002).

Como se pode observar, nos ferros fundidos nodulares o tratamento de têmpera é largamente aplicado e gera uma excelente resistência mecânica e dureza. No Quadro 5 a seguir se observa, os ciclos recomendados para tempera e revenido em ferros fundidos nodulares. PERFILVILLE (2016).

Quadro 5 – Procedimentos de tempera e revenimento para ferros fundidos nodulares

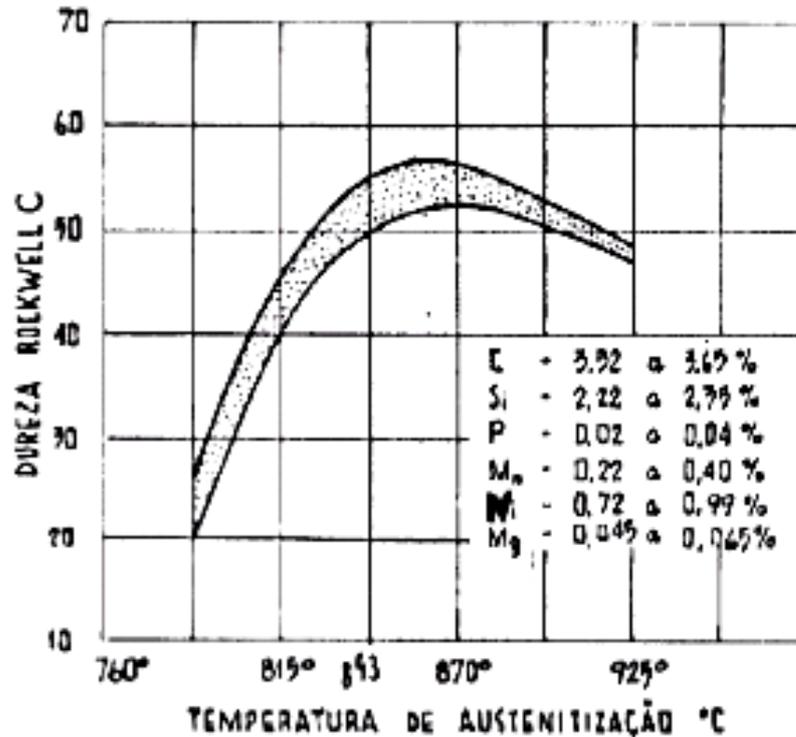
Objetivo	Temperatura e tempo de austenitização	Resfriamento	Ciclo de revenido
Para obter o tipo 120-90-02	900° C; 24 minutos por centímetro de seção	Em óleo agitado por 10 minutos	480° C, 2 horas; resfriamento no forno até 340° C; resfriamento ao ar.
Para obter o tipo 100-70-03			565° C, 2 horas; resfriamento no forno até 340° C; resfriamento ao ar.
Alternativa para o tipo 100-70-03		Ao ar	Resfriamento ao ar até 340° C
Preparo do ferro para têmpera superficial		Em óleo agitado por 10 minutos	650° C, 2 horas; resfriamento no forno até 340° C; resfriamento ao ar.

Fonte: PERFILVILLE (2016).

Como observado no Quadro 5 , para todos objetivos o processo de austenitização, se mantém igual, onde requer 900°C e 24 min para cada centímetro de secção.

Na Figura 12, temos um gráfico o qual demonstra uma relação entre a dureza e a temperaturas de austenitização referentes aos ferros fundidos nodulares.

Figura 12 – Gráfico de temperatura x dureza tempera ferro fundido nodular



Fonte: PERFILVILLE (2016).

Pode se observar na Figura 12, que a temperatura ideal para alcançar a maior dureza é de 843°C a 870°C, porém gera uma grande fragilidade, sendo assim a indicada pelas bibliografias é de 870°C a 900°C.

2.6 ASPERSÃO TÉRMICA (HVOF: *High Velocity Oxygen Fuel*)

O processo de tratamentos superficiais por aspersão térmica é relativamente novo, a indústria de proteção contra desgaste está evoluindo dia após dia, buscando cada vez mais revestimentos que atendam a necessidade do cliente aumentando a vida útil, sem falar em redução dos poluentes ao meio ambiente. Atualmente o Cromo Duro é a opção mais utilizada quando se trata de elevar a dureza de um material. É um revestimento eletro depositado, tem como principal função o aumento da resistência a desgaste a corrosão baixando o coeficiente

de atrito sendo utilizado nas mais diversas aplicações. Rijeza apud (Bodger, B.E., McGrann, R.T.R., Somerville and Tyler, J.M., 1997).

Na Figura 13 podemos ter uma ideia de como são feito os tratamentos superficiais por aspersão térmica por HVOF (*High Velocity Oxygen Fuel*):

Figura 13 – Procedimento de aspersão térmica



Fonte: RIJEZA (2009)

O processo ocorre da seguinte forma:

RIJEZA (2009) As partículas são projetadas a 1400 metros por segundo contra uma superfície previamente preparada, gerando assim um revestimento com as seguintes características:

- estrutura lamelar (componentes se encontram em várias camadas)
- porosidade inferior a 1% (A estrutura é muito densa, devido a alta velocidade de impacto)
- Altíssima resistência a desgaste abrasivo, corrosivo e erosivo.

Existem diversos processos de aspersão térmica, abaixo apresentam-se os principais grupos e algumas características.

De acordo com Rijeza apud Lima, C.C., Trevisan, R. (2007), a “aspersão térmica é um grupo de processos onde materiais metálicos ou não-metálicos, são fundidos ou semifundidos na superfície formando um depósito aspergido, sendo que o material para aspersão pode estar em diversas formas entre elas, pó, vareta, cordão ou arame”.

Algumas das principais características da aspersão térmica e a grande flexibilidade do processo, pois esse processo pode aspergir todas as classes de materiais, metais, cerâmicas, polímeros e compósitos. RIJEZA (2009).

RIJEZA (2009) afirma que esse revestimento consegue manter um alto nível de qualidade, porém só é obtido se 4 processos de preparação forem executados corretamente:

Limpeza;

Texturização;

Camada de ligação (quando necessário);

Pré-aquecimento (quando necessário) sucessivamente;

A aspersão térmica é considerada uma “tecnologia limpa”, pois seus impactos para o meio ambiente e para a saúde humana são muito baixos ou em alguns casos inexistem.

2.6.1 Carboneto de tungstênio

RIJEZA (2009) O revestimento de Carboneto de Tungstênio é altamente resistente aos desgastes por abrasão, adesão, erosão e desgaste por deslizamento em baixas temperaturas, devido a sua dureza elevada. Este revestimento possui uma estrutura densa, com baixo nível de porosidade. Não é recomendável para ambientes corrosivos.

Essa liga pode ser utilizada em várias aplicações, dentre algumas delas estão, peças de aviação, matrizes de conformação a frio, sedes de selos mecânicos, elementos de desgaste em equipamentos agrícolas.

- Micro dureza: 1200 a 1350 HV(*Hard Vickers*) = 73 a 77 HRC(*Hard Rockell C*)
- Porosidade < 1%
- Temperatura de trabalho máxima de 450° C
- Resistência à corrosão < 100 horas de *Salt Spray*
- Camada máxima: 0,5mm

2.6.2 Tipos de aspersão térmica

Rijeza *apud* Lima, C.C., Trevisan, R. (2007) afirma que existem alguns tipos de tratamentos por aspersão térmica. Porém tem algumas diferenças entre esses tratamentos, basicamente se dividem devido a aspectos como a estrutura química, densidade do compósito, velocidade das partículas e a temperatura utilizada durante o processo.

Existem dois grandes grupos que compõe os tratamentos por aspersão:

Grupo 1 (combustão) : chama, detonação;

Grupo 2 (elétrico) : Plasma, arco elétrico ;

O primeiro grupo utiliza gases combustíveis como fonte de calor, e consumíveis em forma de pó vareta ou arame. Já o processo que utiliza energia elétrica como fonte de calor, usa consumíveis em forma de pó ou arame. Dentro desses dois grupos ainda a subdivisões, que são citadas na sequência:

As subdivisões do grupo 1 são:

- Combustão por chama convencional;
- Oxidocombustível de alta velocidade (HVOF *High Velocity Oxygen Fuel*);
- Aspersão a frio (*cold spray*);
- Aspersão por detonação

As subdivisões do grupo 2 são:

- Plasma de arco elétrico não transferido (PSP- Plasma spray);
- Plasma de arco transferido (PTA- Plasma transferred arc);
- Arco elétrico

2.6.3 Cromo duro x aspersão térmica

Quando o processo de revestimento é por cromo duro é comparado com o revestimento por aspersão térmica, visivelmente há um desempenho melhor. Estudos comparativos entre o carboneto de tungstênio aspergido por HVOF (*High Velocity Oxygen Fuel*) e o cromo duro, apontam que se comparadas a resistência ao desgaste abrasivo entre eles, há uma expressiva melhora das amostras revestidas com WC (Carboneto de Tungstênio), tendo menor perda de peso do que os revestidos com cromo duro, isto pode ser atribuído a maior dureza e teor de óxidos existentes no revestimento de carboneto de tungstênio. Geralmente revestimentos que possuem altos níveis de óxido são mais duros e mais resistentes ao desgaste afirma Rijeza apud Souza, R.C., Nascimento M.P., Voorwald H.J.C., Pigatin W.L. (2000)

Resultados de microdureza também comprovam a superioridade de revestimentos por aspersão térmica em comparação ao revestimento de cromo duro, conforme Quadro 6:

Quadro 6 – Comparativo de durezas entre o cromo duro e o carboneto de tungstênio.

Micro dureza HV (Hard Vickers)	Superfície	Núcleo	Interface
Cromo duro	897	906	912
Carboneto de Tungstênio	1070	1159	1354

Fonte: RIJEZA (2009)

Após análise de diversos aspectos, se pode afirmar que a técnica de aspersão térmica é um processo eficiente na produção de revestimentos contra desgaste, com resultados superiores ao cromo duro, além da superioridade no quesito poluição ambiental onde apresenta baixo ou nenhum índice de elementos poluentes, sendo que no processo de cromo duro é um fator preocupante. O processo de revestimento por aspersão térmica possui uma grande flexibilidade, pelo fato de possuir diversos métodos de execução, adaptando-se a cada tipo de necessidade. RIJEZA (2009)

2.7 JATO DE GRANALHA DE AÇO

Segundo Werner *apud* (CYM- Materiales, 2011) a granalha de aço é um abrasivo que é obtido pelo processo de fusão do aço com composição química controlada, no processo inicial de fabricação o produto gerado são granalhas arredondadas (*Shot*), As granalhas maiores são trituradas gerando as granalhas angulares (*Grit*). Onde se utilizava areia anteriormente, a granalha de ao angular substituiu essa função, sendo que em alguns casos as granalhas esféricas são adicionadas na composição.

Uma partícula de granalha angular apresenta arestas e pontas, e ao ser utilizada no jateamento, trabalha como se fosse uma ferramenta que crava e arrasta na superfície, criando uma determinada rugosidade . Este abrasivo pode ser selecionado de acordo com o trabalho a ser realizado, levando em consideração o tamanho e a dureza da superfície. A granalha é altamente reciclável, podendo ser reaproveitada de 700 a 5.000 vezes, de acordo com o tipo, diâmetro e dureza. Por se tratar de partículas de aço temperado e revenido, não provoca nenhum problema de contaminação da superfície Werner *apud* (CYM-materiales, 2011).

2.7.1 Princípio de funcionamento do jato de granalha

TUPY (2016) afirma que a utilização do jato com granalhas pode ser considerada como uma verdadeira operação de bombardeamento, em que inúmeras partículas abrasivas são arremessadas em alta velocidade contra a peça.

As partículas sofrem uma violenta desaceleração no instante do impacto, transformando parte da energia cinética (movimento) em calor e outra parte em deformação ou fratura na peça, restando ainda uma parte de energia cinética que não foi transformada (granalhas que sofrem impacto na peça e voltam). TUPY(2016) também afirma que a

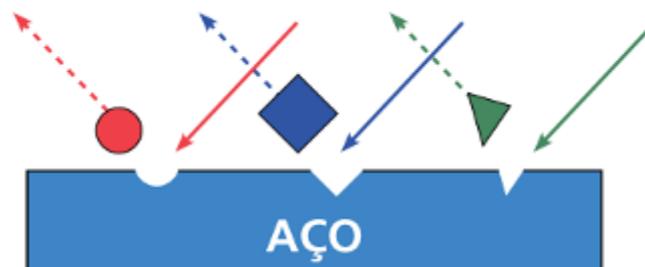
eficiência do jato de granalha na remoção de material esta diretamente ligada ao ângulo de incidência do jato, as características da granalha utilizada e o material a ser removido. Sabe-se que quanto mais perpendicular (90°) for o jato em relação a superfície do item, maior será a energia disponível para o trabalho das partículas. Neste caso o acabamento superficial também será mais áspero, pois haverá maior energia para as granalhas deformar a superfície. Para cada caso deve se definir uma inclinação e o tipo de granalha utilizado para alcançar os resultados desejados.

2.7.2 Tipos de granalha, abrasivo e perfil de rugosidade

Atualmente existe uma grande variedade de abrasivos para jateamento, como por exemplo, cascas de nozes moídas, esferas de vidros, palha de arroz, óxido de alumínio, alumínio, aço fundido, etc., . As granalhas de aço esféricas e angulares encontram campos de aplicações bastante diversificados, podendo ser utilizadas em varias áreas e em operações, tais como: limpeza, fosqueamento, rebarbação, *shot peening*, etc. TUPY(2016).

O jateamento, o abrasivo provoca uma retirada de material, causada pelo impacto das granalhas na superfície, gerando um desgaste. No impacto, a partícula provoca marcas de acordo com sua forma, além de um elevado índice de abrasão e erosão. Assim a superfície terá um perfil de acordo com a granalha utilizada. Podemos observar esses detalhes 14. TUPY (2016)

Figura 14 – Perfil da superfície para cada tipo de granalha



Fonte: TUPY(2016).

O formato das partículas é muito importante para conhecer o perfil da rugosidade da superfície da peça, a rugosidade varia de acordo com a velocidade das partículas, com o ângulo de ataque, com a dureza da superfície e com o grau de limpeza, TUPY (2016).

As granalhas esféricas simplesmente deformam e encruam a superfície da peça, produzindo ondulações suaves, enquanto as granalhas angulares cortam e penetram profundamente no metal base, produzindo superfícies com perfis angulares, TUPY (2016).

No Quadro 7 segue a classificação das granalhas angulares, sendo que elas variam entre 0,117 a 2mm.

Quadro 7 – Tamanhos para granalhas angulares

TIPO	TAMANHO
SAE G-12	2 – 1,68 mm
SAE G-25	1,00 – 0,71mm
SAE G-14	1,68 – 1,41 mm
SAE G-40	0,84 – 0,42 mm
SAE G-16	1,41 – 1,19 mm
SAE G-50	0,59 – 0,297 mm
SAE G-18	1,19 – 1,00 mm
SAE G-80	0,35 – 0,117 mm

Fonte: CMV, (S.D).

Nos ensaios será utilizado a granalha angular do tipo SAE G-50, com diâmetro entre 0,59mm e 0,297mm.

Na Figura 15 podemos ver em imagem ampliada o formato das granalhas do tipo angular, que possui arestas pontiagudas e afiadas, tendo assim um potencial de desgaste maior que as do tipo esféricas.

Figura 15 – Imagem ampliada das granalhas angulares



Fonte: SINATORA, (2009).

Também podemos observar na Figura 15, que todas as granalhas são bem uniformes, sem grandes variações de diâmetro.

2.7.3 Aplicações

O Jato de granalha tem inúmeras aplicações, porém na grande maioria é utilizado na limpeza de superfícies metálicas para eliminar a corrosão do material produzindo uma melhora na aderência da peça, para posterior tratamento (pintura, metalização, emborrachamento). É utilizada no jateamento em cabines, gabinetes ou equipamentos turbinados em que o abrasivo pode ser reciclado e purificado para sua reutilização. TUPY (2016).

3 METODOLOGIA

3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

Para avaliar comparativamente o desempenho dos materiais em uma mesma condição, o presente estudo tem como objetivo desenvolver um dispositivo o qual tem a função de simular os corpos de prova em condições idênticas de funcionamento.

Para executar este dispositivo foi criado um suporte para fixar o jato de granalha e os corpos de prova a uma distância padrão que no caso seria de 300 mm entre a saída do jato e a base da peça, a fim de garantir um comparativo real, eliminando variáveis do sistema. A distância foi determinada em função do foco do jato na área que sofre o maior desgaste, na condição normal de trabalho do item na colhedora. Na sequência será exemplificado o dimensionamento do corpo de prova, a seleção dos materiais e tratamentos térmicos e superficiais excetuados nos corpos de prova, o projeto do dispositivo de teste, o material abrasivo utilizado.

O suporte foi desenvolvido em uma metalúrgica local aqui do município de Horizontina.

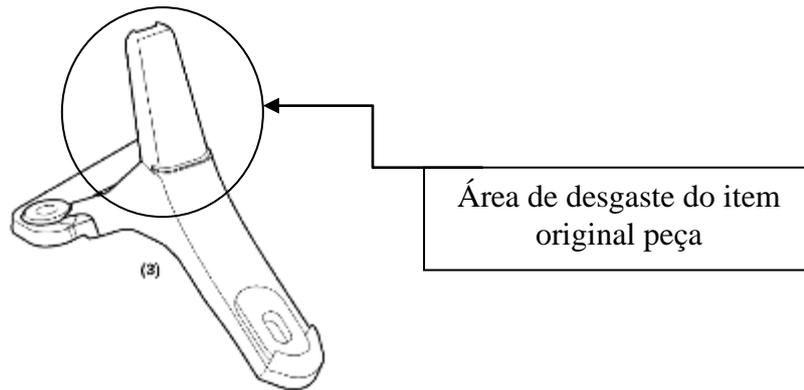
O presente trabalho consiste em um estudo de caso, onde serão fabricados corpos de prova e dispositivos, criando uma relação entre a bibliografia estudada e o comportamento na prática, dos corpos de prova durante os ensaios.

3.1.1 Dimensionamento dos corpos de prova

Para mensurar a vida útil do item, se faz necessário submeter os corpos de prova à situação real de trabalho, porém devido ao alto custo de fabricação de um molde para fundição e a colheita do arroz acontecer somente nos meses de março e abril, o item será fabricado com uma geometria alternativa, a qual simula somente a parte que sofre desgaste atualmente, a fim de reduzir o custo dos testes e manter as características de utilização do item na colhedora. Ambos os corpos de prova serão postos à prova em um jato de granalha, tendo efeito comparativo, assim podemos obter um resultado muito próximo ao da aplicação real na colhedora.

Como podemos observar nas Figuras 16 e 17 a área de desgaste é somente na extremidade da peça.

Figura 16 – Esboço item original, kit de dentes, alto desgaste

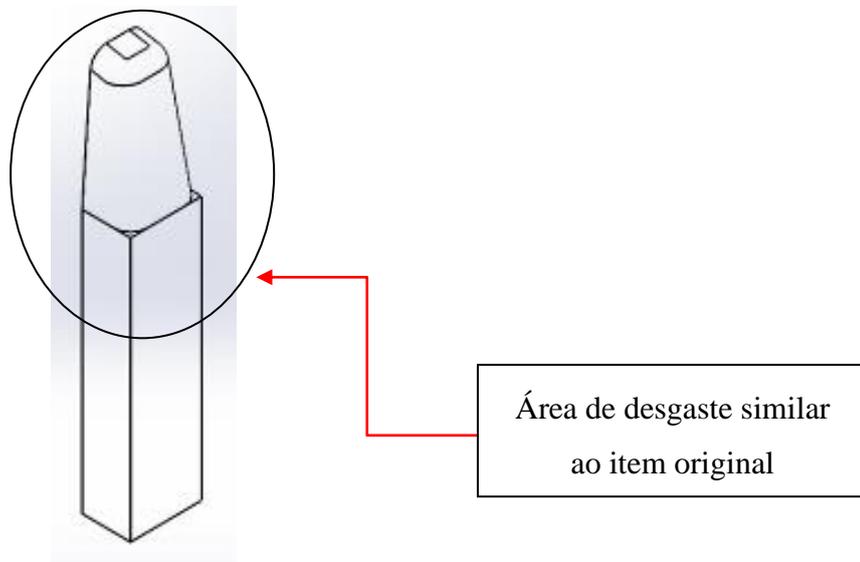


Fonte: John Deere, catálogo de peças (2016)

Como pode se observar na figura 16, o desgaste acontece somente na extremidade do item. Este trabalho terá como foco somente a parte que sofre desgaste, facilitando os testes no ensaio prático.

Na Figura 17 podemos observar o corpo de prova que será desenvolvido a fim de simular a parte que sofre desgaste correspondente na figura 16.

Figura 17 – Esboço corpo de prova para os ensaios

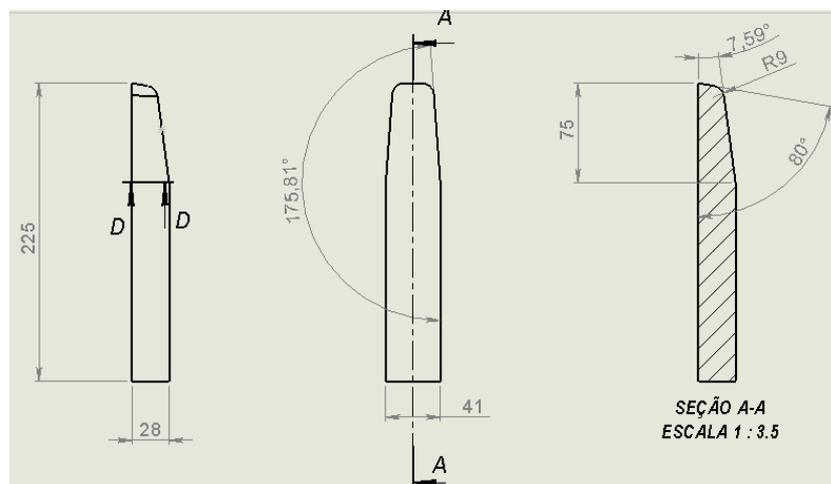


Fonte: O Autor (2016)

Os corpos de prova representados na Figura 17 serão fabricados com diferentes materiais, tratados termicamente e feito tratamentos superficiais, com intuito de aumentar a durabilidade ao desgaste.

Na Figura 18 estão às dimensões dos corpos de prova, ângulos de inclinação e espessuras, essas dimensões serão utilizadas na fabricação dos moldes para corpo de prova e para os tratamentos térmicos.

Figura 18 – Esboço corpo de prova para os ensaios, dimensões.



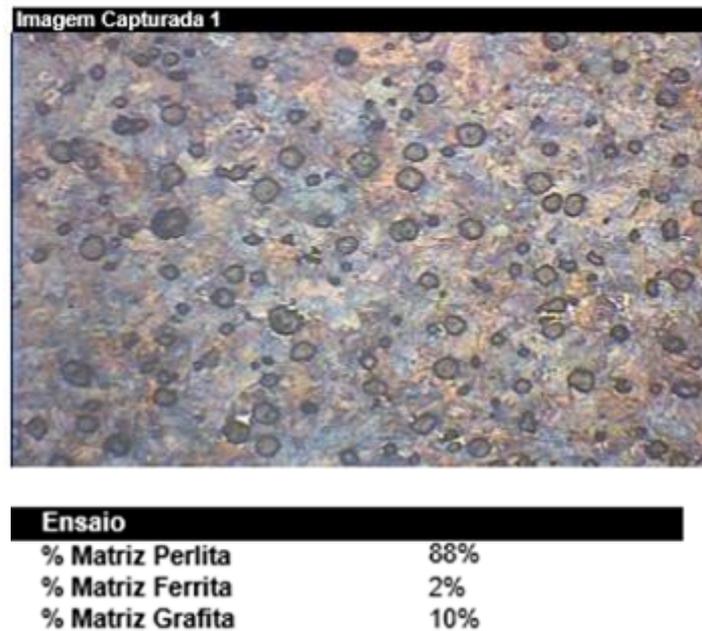
Fonte: O Autor (2016)

Também podemos observar na Figura 18 que o ângulo de inclinação da extremidade em relação à base é de aproximadamente 80°, estas medidas são exatamente iguais aos itens originais.

3.1.2 Seleção dos materiais

O material base do item original de fabrica da colhedora é um ferro fundido nodular GGG70, com dureza aproximada entre 230 e 280 HB- *Hard Brinell*, abaixo segue resultados da análise metalográfica do item executado na metalúrgica Candeia em Santa Rosa-RS.

Figura 19 – Imagem metalográfica do item original



Fonte: Metalúrgica Candeia (2015)

Na Figura 19 conseguimos observar que se trata de um ferro fundido nodular pela forma em que a microestrutura se comporta, em forma de nódulos, o que caracteriza um ferro fundido nodular.

Na Tabela 3 podemos verificar a composição química encontrada no item original, tendo um comparativo com o padrão para esse tipo de fundido.

Tabela 3 – Composição química do material do item original

2.1.1 Especificado									
Ferro Fundido Nodular GGG 70,- D480/DX480									
C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	Mg	Cr	Ni
3,40 – 3,65	2,40 – 2,90	0,55 – 0,60	MAX 0,08	MAX 0,025	0,55 – 0,60	MAX 0,026	0,030 – 0,05	MAX 0,155	0,080

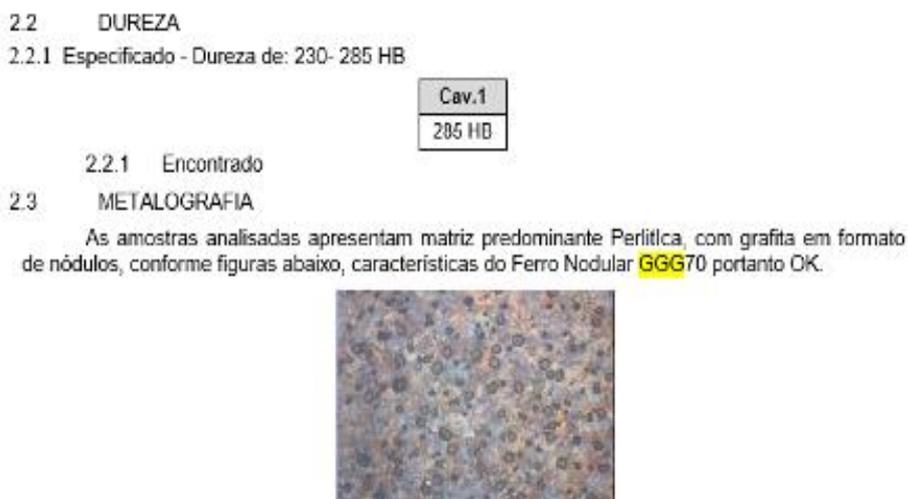
2.1.2 Encontrado (Valor médio)									
Ferro Fundido Nodular GGG 70,- D480/DX480									
C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	Mg	Cr	Ni
–	2,38	0,281	0,058	0,012	0,361	0,0044	0,013	0,022	0,041

Fonte: Metalúrgica Candeia (2015)

Também podemos observar que na tabela 8 todos os valores estão bem próximo ao valor tabelado para o ferro fundido nodular GGG70, não tendo nenhum elemento de liga diferenciado, porém tendo um pouco de variação em alguns componentes, mas não varia a característica do material.

Já na Figura 20, podemos verificar a dureza do item original e o resultado da metalografia, que ressalva a matriz predominante perlítica, com grafita em nódulos, o que caracteriza um ferro fundido nodular.

Figura 20 – Ensaio de dureza e metalográfica



Fonte: Metalúrgica Candeia (2015)

Na Figura 20 também podemos atentar para a dureza do material, que fica entre o parametro especificado que é entre 230 a 285HB - *Hard Brinell*

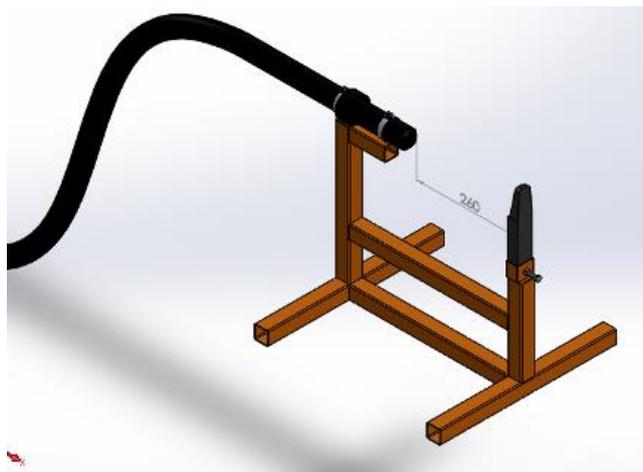
Após a identificação do material base foram feitos alguns corpos de prova com materiais diferenciados a fim de aumentar a vida útil do item. Serão fabricados 20 corpos de prova, 4 com material base (Ferro Fundido Nodular GGG70) sem nenhum tratamento superficial, 4 serão tratados termicamente(temperados), 4 serão tratados por aspensão térmica e os outros 4 corpos de prova serão tratados termicamente e posteriormente por aspensão térmica e também terão 4 corpos de prova que serão fabricados em ferro fundido branco sem tratamentos superficiais.

3.1.3 Projeto do dispositivo para ensaio

Para obter resultados mais satisfatórios e o mais próximo da condição real, optou-se inicialmente em projetar uma bancada de teste onde se consiga fixar a distância entre a tocha do jato de granalha e os corpos de prova, mantendo o foco sobre a parte onde o item sofre o maior desgaste nas condições normais de trabalho, dentro da colhedora.

Nas Figuras 21 e 22 está representado o modelo esquemático do dispositivo desenvolvido para os testes dos corpos de prova.

Figura 21 – Croqui suporte para ensaios de jato de granalha, vista isométrica

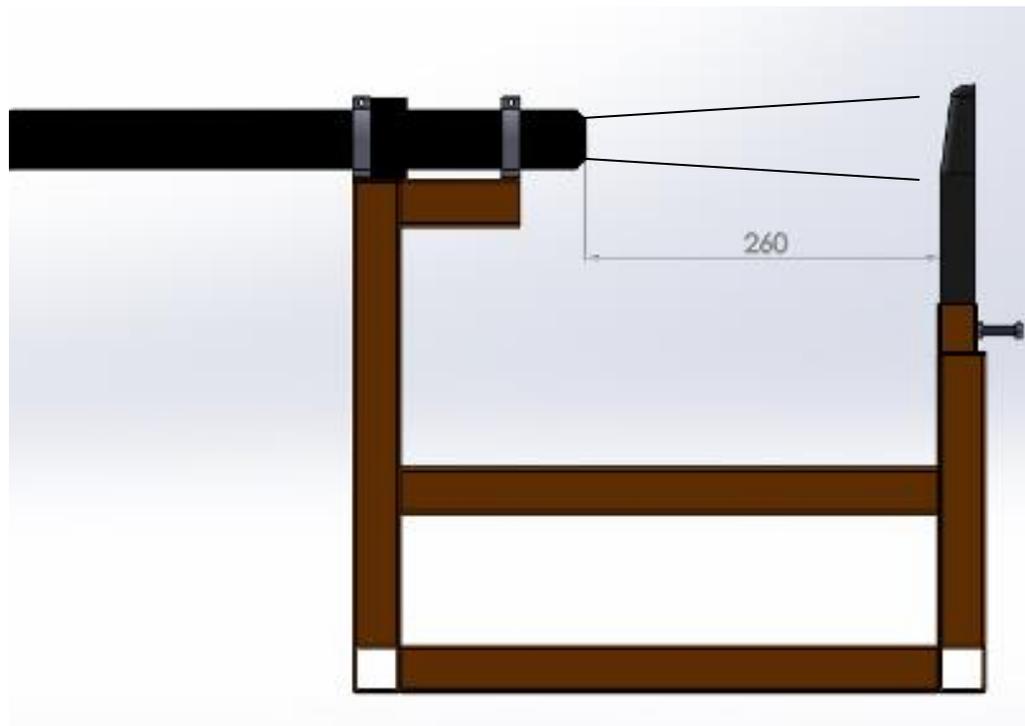


Fonte: O Autor (2016)

Na Figura 21 podemos observar a distância entre a peça e o jato de granalha, o qual foi definido em 260mm, suporte esse que garante que todas as peças terão o mesmo regime de trabalho.

Também definimos que essa distância era ideal pelo foco do jato, o qual deveria atingir somente a extremidade do corpo de prova, a fim de reproduzir o mais próximo possível a situação original, conforme mostra Figura 22.

Figura 22 – Croqui suporte para ensaios de jato de granalha, vista frontal



Fonte: O Autor (2016)

Na figura 22 podemos observar que o dispositivo também teve como uma de suas funções manter o ângulo correto de ação da granalha, similar ao que os itens da colhedora sofrem durante a colheita, que em grande parte é de 90°.

3.1.4 Material abrasivo utilizado

Como normalmente o desgaste é causado pelo grão e pelos seus detritos (areia, terra etc.), para os ensaios foi optado pela utilização da granalha de aço, pois pode simular o tamanho do grão e o custo do ensaio é relativamente baixo.

A granalha utilizada nos ensaios será a granalha do tipo angular, a qual tem maior poder de erosão, pois suas arestas são pontiagudas, já a granulometria será a SAE G50 que tem grãos que variam de 0,297mm até 0,59 mm

3.1.5 Procedimento de ensaio

Os ensaios serão realizados utilizando o jato de granalha, mantendo uma distância igual entre a tocha e a peça, para todos os corpos de prova, também será determinado um tempo padrão de exposição dos corpos de prova ao jato de granalha.

Os dados gerados serão baseados na perda de material de cada corpo de prova, todos serão pesados em um primeiro momento, e após o ensaio serão novamente pesados a fim de verificar a perda de material de cada corpo de prova.

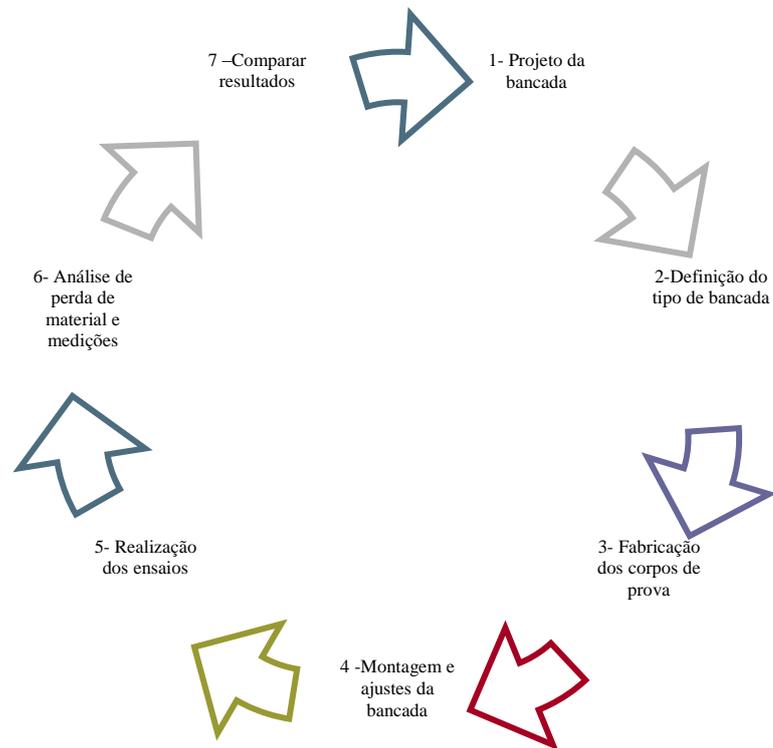
Outro parâmetro que será analisado e o dimensional do ponto demarcado, afim de criarmos uma redundância de parâmetros, aumentando assim a confiabilidade do ensaio.

Todos os itens terão 4 peças do mesmo material expostas ao jato, pois assim, conseguimos ter uma precisão maior nos resultados do que se somente uma de cada tipo fosse ensaiada.

E o último parâmetro a ser analisado e a dureza superficial de cada corpo de prova.

Na Figura 23 um diagrama que detalha o procedimento de teste

Figura 23 – Procedimento dos ensaios



Fonte: O Autor (2016)

Todas essas etapas foram seguidas desde o primeiro passo que foi projetar a bancada até a análise dos resultados, conforme Figura 28.

3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Para este estudo será utilizado jato de granalha para os ensaios de erosão, uma balança para pesagem dos corpos de prova antes e depois do ensaio, também foi utilizado um durômetro para verificar a dureza de cada corpo de prova e um paquímetro para medir o desgaste sofrido no ponto determinado.

Além de equipamentos para metalografia.

3.3 DESCRIÇÃO DA AMOSTRA

Este estudo terá como amostra 20 corpos de prova de 5 materiais diferentes, 15 deles expostos a mesma situação de ensaio, mesmo tempo determinado de 7 minutos e mesmo equipamento.. E os outros 5 serão executados análises metalográficas.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 VIDA UTIL DOS COMPONENTES (COMPARATIVO ARROZ X DEMAIS CULTURAS)

Baseando se em dados de campo a vida útil do item varia conforme o regime de trabalho, nas colhedoras que colhem outros cereais, como a soja e o milho, a durabilidade do item chega a 6000h, sendo que nas colhedoras que colhem grãos como o arroz, que possui sílica em sua casca, a durabilidade não ultrapassa às 200 Horas, ou seja, para cada uma peça que apresente necessidade de substituição nas colhedoras de outros cereais, são necessárias 30 substituições no arroz, no mesmo número de horas colhidas.

Figuras abaixo mostram o item original novo e itens usados na colheita do arroz, com aproximadamente 200 horas de trabalho, as fotos e os corpos de prova para análise metalográfica foram fornecidas por um agricultor da cidade de Santa Vitória do Palmar – RS, este mesmo desgaste acontece nas colhedoras de outros cereais, porém leva 6000h para chegar neste estado. Na Figura 24 e 25 podemos observar em ângulos diferentes como é o item novo, antes de sua utilização na colhedora.

Figura 24 – Imagem item novo



Fonte: O Autor (2016)

Figura 25– Imagem item novo



Fonte: O Autor (2016)

Podemos observar que tanto a Figura 24 quanto a Figura 25 mostram o item novo, sem nenhum desgaste, e podemos verificar que a espessura de toda a peça é similar, não tendo uma parte em específico que possua uma espessura muito acima do restante do item, o que facilita o tratamento térmico se necessário.

Já na Figura 26, 27, podemos verificar as condições do item após 200 horas de colheita no arroz, também podemos perceber a área de desgaste da peça, que só tem deformações em sua extremidade superior.

Figura 26 – Imagem item após colheita



Fonte: O Autor (2016)

Figura 27 – Imagem item após colheita



Fonte: O Autor (2016)

Após análise das Figuras 26, 27 podemos perceber o regime de trabalho severo que acontece no interior da colhedora, onde o desgaste acontece muito acelerado, devido a presença da sílica na casca do arroz, sabendo que a sílica apresenta elevada dureza.

4.2 ANÁLISE DE CUSTOS EM FUNÇÃO DA VIDA ÚTIL DO COMPONENTE

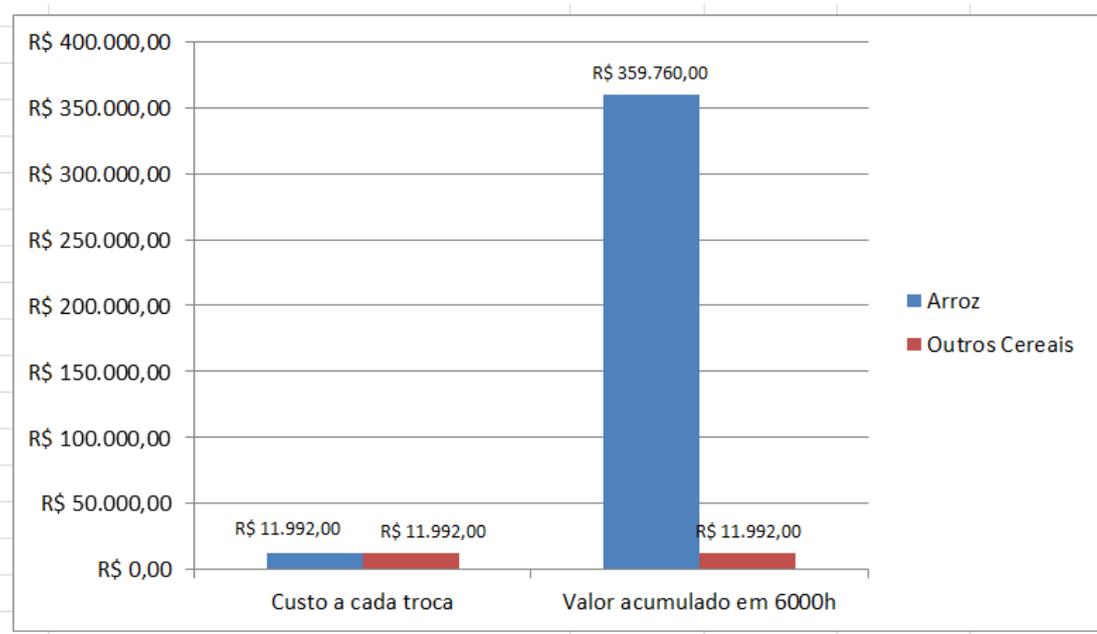
Se compararmos o custo de cada item e a vida útil dos mesmos, conseguimos comprovar o grande desgaste causado pela cultura do arroz.

Cada item original custa 1499 Reais o kit com 3 peças aproximadamente e vão 8 kit's em cada colhedora, as peças são vendidas em kit's de 3 peças por questão de manter o balanceamento do rotor.

Todas as informações foram obtidas de clientes produtores de arroz da região Sul e da fronteira oeste, na região sul foram visitados clientes nas cidades de pelotas, Jaguarão e Santa Vitória do Palmar, já na fronteira oeste foram visitados clientes em Manoel Viana, Alegrete e São Borja.

Na Figura 28, foram realizados comparativos de custo de manutenção com esse item em uma colhedora de soja e milho e uma colhedora de arroz, com 6000 Horas de uso, sendo que são necessários 15 anos de utilização da colhedora para chegar neste número de horas.

Figura 28 – Custos de manutenção deste item fundido



Fonte: O Autor (2016)

Como podemos analisar a Figura 28, o custo de manutenção com esse único item é altíssimo, lembrando que há outros itens que compõe o sistema de trilha que sofrem com o mesmo desgaste, podendo ter a mesma solução estendidas para esses outros itens.

4.3 MATERIAIS UTILIZADOS NA FABRICAÇÃO DOS COMPONENTES DO SISTEMA DE TRILHA E SEPARAÇÃO

O item utilizado na colhedora atualmente é um ferro fundido nodular GGG70 conforme análises metalográficas das páginas 45, 46 e 47, feitas na Metalúrgica Candeia-Santa Rosa- RS.

Os materiais propostos para este estudo são baseados nas suas características mecânicas, e na dureza dos mesmos, a fim de aumentarmos a vida útil quando se trata de um equipamento que tenha uma exposição severa a erosão, que é o caso das colhedoras arroseiras.

Os materiais que serão utilizados estão detalhados nas páginas 48, 49 e 50.

4.3.1 Processo de têmpera

Na etapa em que foi necessário executar o processo de têmpera em alguns corpos de prova, foram levados em consideração alguns parâmetros, dentre eles a temperatura, tempo de permanência no forno e o método de resfriamento conforme páginas 35 e 36, que indica a temperatura entre 870°C e 910°C, permanecendo 1 hora e 10 minutos aproximadamente (24 minutos para cada centímetro de secção, sendo que o corpo de prova possui 2,8 cm).

Na Figura 29, podemos observar que durante o processo de têmpera, as temperaturas foram de 900°C conforme mencionado na bibliografia.

Figura 29 – Display do forno quando temperatura chegou ao setup



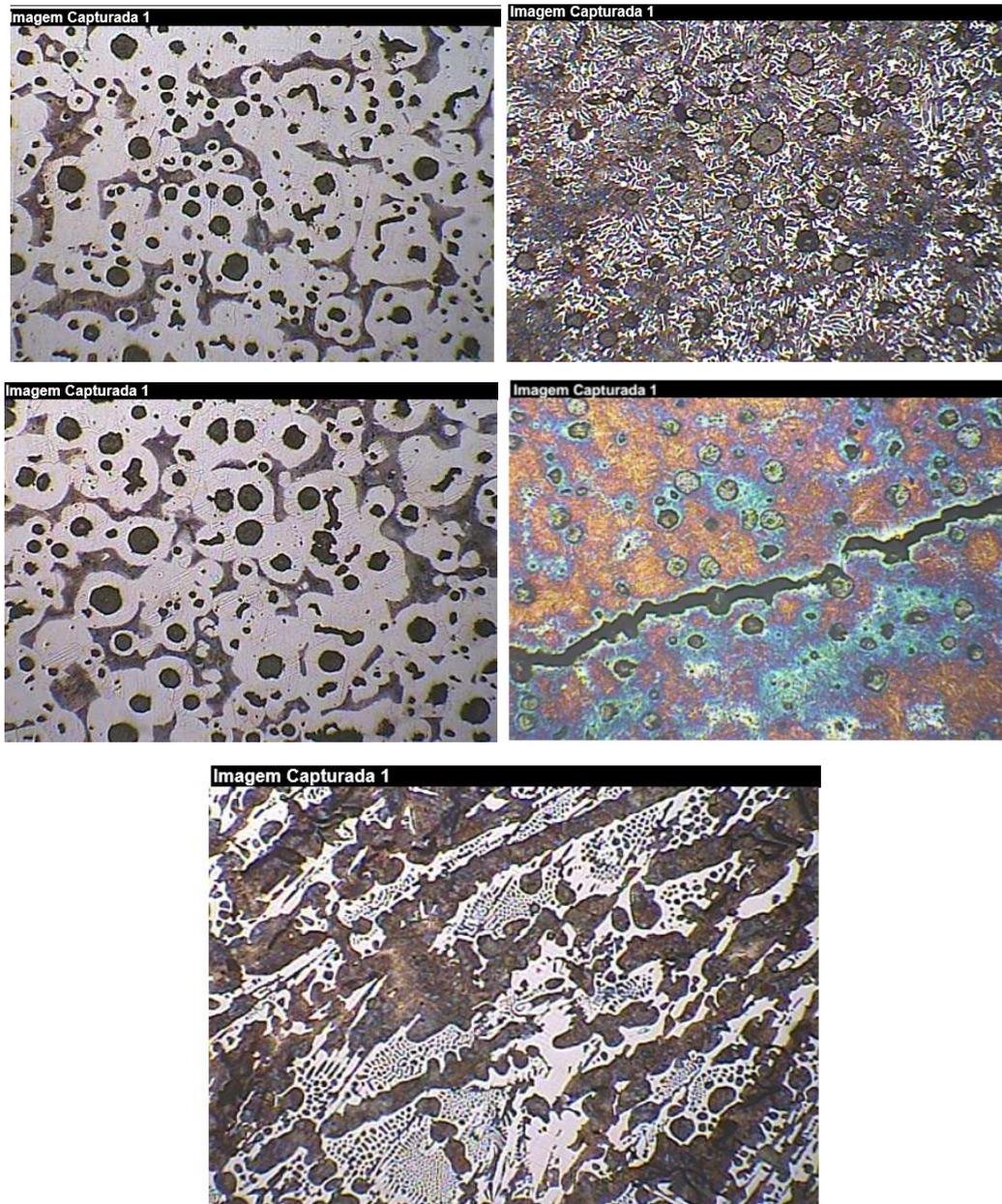
Fonte: O Autor (2016)

Podemos ver nitidamente que no display, o set point era de 905°C e a temperatura do forno chegou a 900° C no momento da retirada dos corpos de prova para posterior resfriamento em óleo.

4.4 ANÁLISE METALGRÁFICA DOS CORPOS DE PROVA.

Na Figura 30 estão análises metalográficas de cada corpo de prova, onde percebemos a característica estrutura de cada corpo de prova., as metalograficas foram executadas na Metalúrgica Candeia em Santa Rosa.

Figura 30 – Metalografia dos corpos de prova



Fonte: Metalúrgica Candeia (2016)

4.5 CONSTRUÇÃO DO DISPOSITIVO E AJUSTES

Por se tratar de um conceito diferenciado de bancada de teste de erosão e tratar de um regime de trabalho similar ao da colhedora, todos os corpos de prova foram fabricados exclusivamente para este ensaio, sendo fundidos pelo mesmo molde a fim de serem o mais similar possível.

Os corpos de prova foram expostos ao jato de granalha por 7 minutos cada, utilizando o dispositivo desenvolvido anteriormente, sendo que a distância entre a tocha e a peça ficou em 260mm. Esta distância e o tempo foram definidos baseando-se no foco da tocha, pois se a tocha fosse mais próxima ou mais distante aumentaria ou diminuiria o desgaste e consequentemente haveria variação no tempo, outro detalhe que foi levado em consideração para definição de 7 minutos é devido ao custo do ensaio, o ideal seria 20 minutos para cada peça. A imagem mostra como foram executados os ensaios.

Figura 31 – Bancada de testes montada para o ensaio



Fonte: O Autor(2016)

Como podemos observar na Figura 31, o dispositivo garante a uniformidade dos testes e a confiabilidade, pois a tocha do jato de granalha e nem a peça podem ser movidas.

4.6 ANÁLISES DOS CORPOS DE PROVA, APÓS OS ENSAIOS

No Quadro 8 e nas Figura 32,33 ,34 a seguir podemos observar as simbologias utilizadas na identificação de cada corpo de prova, além da dureza encontrada em cada item antes dos testes.

Quadro 8 – Identificação dos corpos de prova

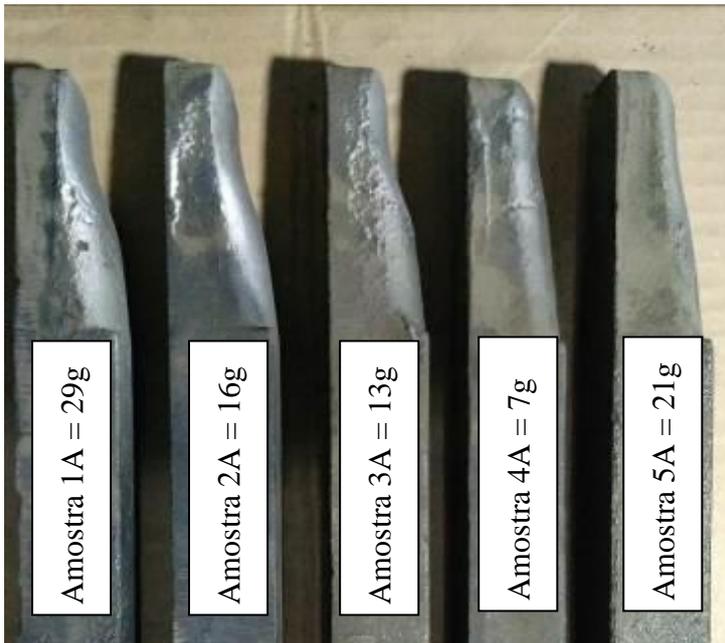
Amostra	Material	Tratamento térmico
Amostra 1A	Ferro fundido nodular GGG70	NA
Amostra 2A	Ferro fundido nodular GGG70	Têmpera
Amostra 3A	Ferro fundido nodular GGG70	Aspersão térmica
Amostra 4A	Ferro fundido nodular GGG70	Têmpera + aspersão térmica
Amostra 5A	Ferro fundido branco	NA
Amostra 1B	Ferro fundido nodular GGG70	NA
Amostra 2B	Ferro fundido nodular GGG70	Têmpera
Amostra 3B	Ferro fundido nodular GGG70	Aspersão térmica
Amostra 4B	Ferro fundido nodular GGG70	Têmpera + aspersão térmica
Amostra 5B	Ferro fundido branco	NA
Amostra 1C	Ferro fundido nodular GGG70	NA
Amostra 2C	Ferro fundido nodular GGG70	Têmpera
Amostra 3C	Ferro fundido nodular GGG70	Aspersão térmica
Amostra 4C	Ferro fundido nodular GGG70	Têmpera + aspersão térmica
Amostra 5C	Ferro fundido branco	NA

Fonte: O Autor (2016)

Quadro 8 mostra o material e o tratamento térmico de cada corpo de prova, sendo que são 5 tipos de corpo de prova e para cada tipo são 3 peças, a fim de aumentar a confiabilidade do ensaio.

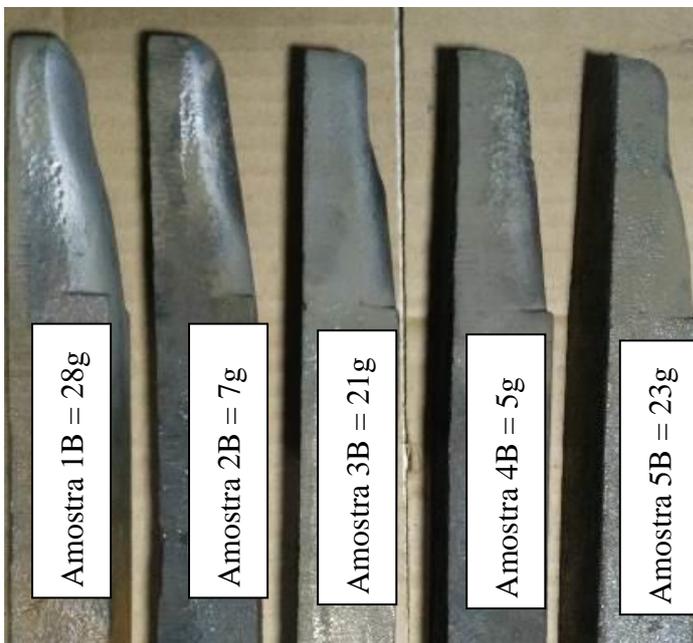
Depois dos testes com os corpos de prova, podemos ter uma identificação visual do desgaste acontecido nos corpos de prova. Nas Figuras 32 33 e 34 estão respectivamente cada material de cada corpo de prova e o peso perdido após os testes com a granalha.

Figura 32 – Corpos de prova do primeiro grupo após os ensaios



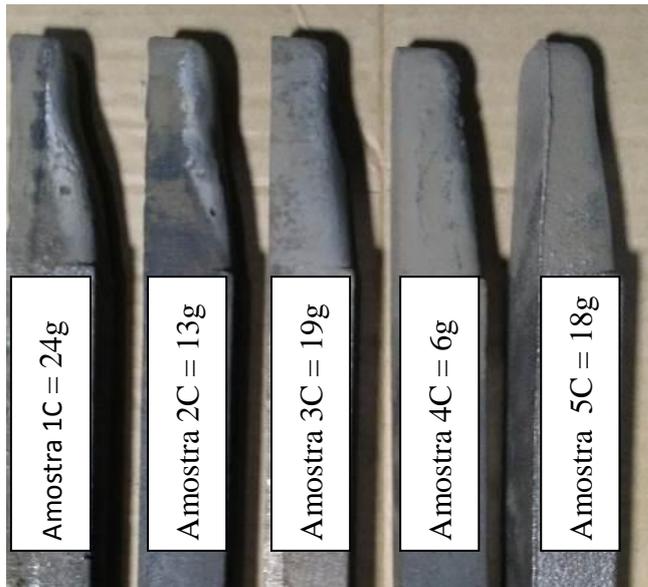
Fonte: O Autor(2016)

Figura 33 – Corpos de prova do segundo grupo após os ensaios



Fonte: O Autor(2016)

Figura 34 – Corpos de prova do terceiro grupo após os ensaios



Fonte: O Autor(2016)

No Quadro 9, estão listados os corpos de prova a variação de peso antes e depois dos ensaios.

Pode-se observar que há uma grande variação entre os corpos de prova, sabendo assim que houve uma melhora significativa entre os materiais se comparando o material base do qual o item original é fabricado e os materiais prepostos.

Quadro 9 – Peso corpos de prova, antes e depois do ensaio, perdas de massa.

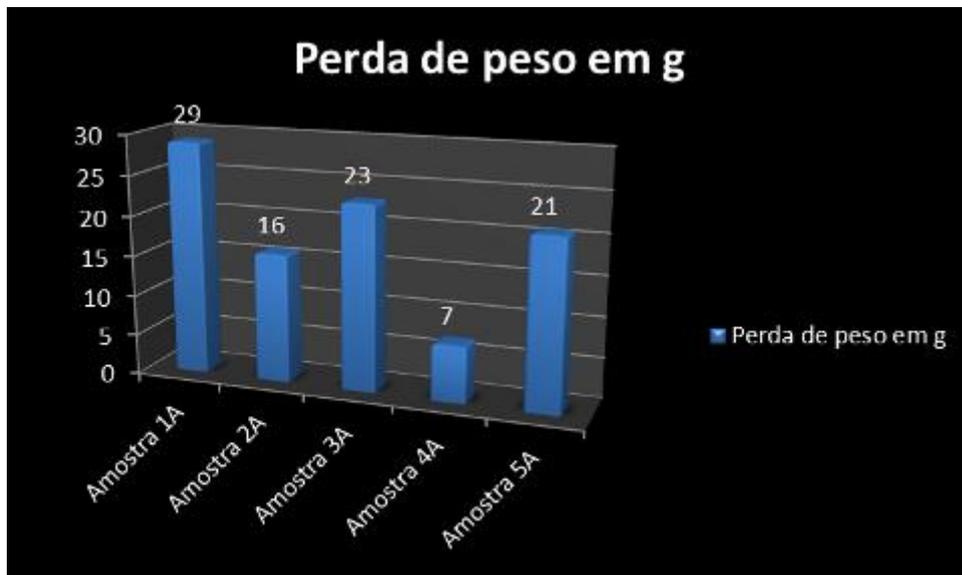
Amostra	Peso inicial	Peso final	Perda de peso em g	% de perda de peso
Amostra 1A	1686	1657	29	1,750150875
Amostra 2A	1703	1687	16	0,948429164
Amostra 3A	1682	1659	23	1,386377336
Amostra 4A	1673	1666	7	0,420168067
Amostra 5A	1765	1744	21	1,20412844
Amostra 1B	1639	1611	28	1,7380509
Amostra 2B	1688	1681	7	0,416418798
Amostra 3B	1676	1655	21	1,268882175
Amostra 4B	1727	1722	5	0,290360046
Amostra 5B	1783	1760	23	1,306818182
Amostra 1C	1694	1670	24	1,437125749
Amostra 2C	1685	1672	13	0,777511962
Amostra 3C	1684	1665	19	1,141141141
Amostra 4C	1688	1682	6	0,356718193
Amostra 5C	1780	1762	18	1,021566402

Fonte: O Autor(2016)

Após realização dos ensaios conseguimos perceber a eficiência de cada tratamento e de cada material base. Sendo que a amostra 4 B e a amostra 4 C foram as que mais apresentaram resistência a desgaste por erosão causado pelo jato de granalha.

A Figura 35 mostra de forma mais clara a massa perdida por cada corpo de prova após os ensaios com jato de granalha, no gráfico estão os resultados para o primeiro grupo de amostras.

Figura 35 – Gráfico comparativo em percentual das perdas de massa entre os corpos de prova antes e depois do ensaio para o primeiro grupo.



Fonte: O Autor(2016)

Na Figura 35, pode se observar os resultados encontrados no primeiro grupo, onde o corpo de prova 4 A(ferro fundido nodular GGG70, com tratamento térmico de têmpera e posterior tratamento por aspersione térmica com carboneto de tungstênio) teve o melhor desempenho perdendo apenas 7 gramas de sua massa após os 7 minutos no jato de granalha., já o segundo melhor desempenho ficou com o corpo de prova 2 A(ferro fundido nodular GGG70 com tratamento térmico de tempera) e como já era previsto, o corpo de prova fabricado em ferro fundido nodular GGG70, que não possuía nenhum tipo de tratamento superficial, teve o pior desempenho, perdendo 29 gramas do seu peso total.

A Figura 36 mostra de forma mais clara a massa perdida por cada corpo de prova após os ensaios com jato de granalha, no gráfico estão os resultados para o segundo grupo de amostras.

Figura 36 – Gráfico comparativo em percentual das perdas de massa entre os corpos de prova antes e depois do ensaio para o segundo grupo.



Fonte: O Autor(2016)

Na Figura 36, pode se observar os resultados encontrados no segundo grupo, onde o corpo de prova 4 B (ferro fundido nodular GGG70, com tratamento térmico de têmpera e posterior tratamento por aspersão térmica com carboneto de tungstênio) teve o melhor desempenho perdendo apenas 5 gramas de sua massa após os 7 minutos no jato de granalha., já o segundo melhor desempenho ficou com o corpo de prova 2 B (ferro fundido nodular GGG70 com tratamento térmico de têmpera) e como já era previsto, o corpo de prova fabricado em ferro fundido nodular GGG70, que não possuía nenhum tipo de tratamento superficial, teve o pior desempenho, perdendo 28 gramas de sua massa aproximadamente.

A Figura 37 mostra de forma mais clara a massa perdida por cada corpo de prova após os ensaios com jato de granalha, no gráfico estão os resultados para o terceiro grupo de amostras.

Figura 37 – Gráfico comparativo em percentual das perdas de massa entre os corpos de prova antes e depois do ensaio para o segundo grupo.



Fonte: O Autor(2016)

Na Figura 37, pode se observar os resultados encontrados no terceiro grupo, onde o corpo de prova 4 C (ferro fundido nodular GGG70, com tratamento térmico de têmpera e posterior tratamento por aspersão térmica com carboneto de tungstênio) teve o melhor desempenho perdendo apenas 6 gramas de sua massa após os 7 minutos no jato de granalha., já o segundo melhor desempenho ficou com o corpo de prova 13 C (ferro fundido nodular GGG70 com tratamento térmico de tempera) e como já era previsto, o corpo de prova fabricado em ferro fundido nodular GGG70, que não possuía nenhum tipo de tratamento superficial, teve o pior desempenho perdendo aproximadamente 24 gramas de seu peso total.

4.7 EXPECTATIVA DE DURABILIDADE DOS CORPOS DE PROVA

No Quadro 10 pode se observar a expectativa de durabilidade em função do peso perdido por cada corpo de prova.

Quadro 10 – Expectativa de durabilidade.

Amostra	Perda de massa em g	Expectativa de durabilidade em horas
Amostra 1A	29	200,0
Amostra 2A	16	362,5
Amostra 3A	23	252,2
Amostra 4A	7	828,6
Amostra 5A	21	276,2
Amostra 1B	28	207,1
Amostra 2B	7	828,6
Amostra 3B	21	276,2
Amostra 4B	5	1160,0
Amostra 5B	23	252,2
Amostra 1C	24	241,7
Amostra 2C	13	446,2
Amostra 3C	19	305,3
Amostra 4C	6	966,7
Amostra 5C	18	322,2

Fonte: O Autor(2016)

Os valores encontrados no Quadro 10 foram obtidos a partir de um cálculo matemático simples, onde foi selecionada a amostra que teve a maior massa perdida e fixado ela com 200h, pois o material foi o mesmo do item original, e os demais tiveram um incremento de durabilidade em relação ao original.

O cálculo foi uma regra de 3 inversa, pois o valores das horas aumenta e o número de gramas perdidas por cada corpo de prova diminui, ou seja, foram multiplicados os 29 por 200h e divididos pela perda de massa de cada corpo de prova diferenciado, criando um comparativo entre os mesmos.

Pode se observar que o aumento no número de horas do 1 A para o 4B foi bem significativo, com possível aumento de quase 1000 horas de trabalho.

4.8 EXPECTATIVA DE CUSTO DE MANUTENÇÃO

Com este estudo também foi possível verificar a redução de custo de manutenção com a substituição deste item, pois, em função do número de horas de durabilidade podemos estimar uma redução nos custos de manutenção ao longo das 6000h de trabalho da colheitadeira.

Quadro 11 – Custo de manutenção estimado.

Amostra	Expectativa de durabilidade em horas	Substituições em 6000h	Total custo de manutenção em reais	Redução aproximada 6000h
Amostra 1A	200,0	30,0	359280,0	
Amostra 2A	362,5	16,6	198223,4	161056,6
Amostra 3A	252,2	23,8	284946,2	74333,8
Amostra 4A	828,6	7,2	86722,8	272557,2
Amostra 5A	276,2	21,7	260168,3	99111,7
Amostra 1B	207,1	29,0	346891,0	12389,0
Amostra 2B	828,6	7,2	86722,8	272557,2
Amostra 3B	276,2	21,7	260168,3	99111,7
Amostra 4B	1160,0	5,2	61944,8	297335,2
Amostra 5B	252,2	23,8	284946,2	74333,8
Amostra 1C	241,7	24,8	297335,2	61944,8
Amostra 2C	446,2	13,4	161056,6	198223,4
Amostra 3C	305,3	19,7	235390,3	123889,7
Amostra 4C	966,7	6,2	74333,8	284946,2
Amostra 5C	322,2	18,6	223001,4	136278,6

Fonte: O Autor(2016)

Podemos observar no Quadro 11 que, a redução de custo entre o item original e o proposto no estudo pode chegar a quase 300000 Reais, sem contar o custo da mão de obra, ou seja, como este estudo, podemos ter uma perspectiva de uma redução de custo considerável ao agricultor.

CONCLUSÃO

De acordo com os resultados discutidos neste trabalho conclui-se que a bancada de teste desenvolvida teve um resultado satisfatório, de fácil instalação e operação, mantendo também uma confiabilidade nos ensaios, o que é fundamental para efeitos comparativos.

Foi possível perceber nos resultados que a têmpera nos componentes fundidos, tem boa aceitação, a fundamentação teórica alinhada com a prática gerou bons resultados, a têmpera e um tratamento térmico disponível em várias empresas e de baixo custo. Também pode se observar que os resultados dos corpos de prova tratados termicamente e posterior tratamento por aspersão térmica tiveram o melhor resultado, evidenciando que o uso em conjunto dos dois tratamentos é uma boa alternativa para aumento de durabilidade a desgastes por erosão.

Já o ferro fundido branco que também tem um potencial de resistência a desgastes, não teve um bom desempenho, a perda de material foi muito similar ao ferro fundido nodular GGG70.

Também se percebe que a expectativa de aumento de durabilidade dos conjuntos foi significativa, chegando próximo aos 500%, podendo gerar assim uma redução de custo relevante para o cliente, evitando máquinas paradas e proporcionando um bom rendimento das colhedoras durante a safra de cereais.

Sabendo que a expectativa de durabilidade chegou próximo aos 500%, podemos ter uma ideia da melhora que obtivemos nos testes, podendo reduzir significativamente o custo de manutenção para o produtor, chegando a 300000 Reais, sem contar o valor da hora de mecânicos, além de que esses materiais poderão ser utilizados em outros itens que sofrem desgaste nas colhedoras de arroz.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ARALDI, Pietro F. **Avaliação da eficiência operacional na colheita mecanizada em lavouras de arroz irrigado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria,2011

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

Bodger, B.E., McGrann, R.T.R. and Somerville, D.A. **The evaluation of tungsten carbide thermal spray coatings as replacement for electrodeposited chrome plating on aircraft landing gear, Plating & Surface Finishing**, september 1997, pp. 28-31.

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

CASSOLA M. S., MORAES S. L., ALBERTIN E. **Desgaste na Mineração: o caso dos Corpos Moedores**. R. Esc. Minas, Ouro Preto, 59(2): 173-178, abr. jun. 2006

CHIAVERINI, Vicente. **Aços e ferros fundidos**. 7° Edição ampliada e revisada São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2002.

CMV. **Abrasivos, granalha de alto carbono**. Disponível em: <<https://cmv.com.br/biblioteca/arquivos/47/47.pdf>>. Acesso em: 06 outubro 2016.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Custos do Rio Grande do Sul, safra 2010/2011. 2010**. Disponível em <www.conab.gov.br/detalhe.php?c=19247=2#this>. Acesso em: janeiro 2011

CYM, **Materiais: Abrasivos**. Disponível em: <<http://www.cym.com.ar/castellano/prodcast05.html>>. Acesso em: 07 de setembro de 2011.

EMBRAPA, **Agência de informações tecnológicas**. Disponível em <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fok5vmke02wyiv80bhgp5prthjx4.html>>>. Acesso em 09 outubro 2016.

FERREIRA, O. **Avaliação de perda de tempo das combinadas automotrizes na colheita de soja**.1983.34 f. Dissertação(Mestrado em Engenharia Rural)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1983.

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, BR-RS, 2011.

Hunt,D. **Farm power and machinery/** Donnel Hunt: Iowa state press, 2001.368p.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e estatística **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/imprensa/ppts/00000020663902102015392812239582.pdf>>. Acesso em 08 outubro 2016.

IRGA. Instituto Rio Grandense do Arroz, **Censo da lavoura de arroz irrigado no RS safra 2004/2005**. 122p. Disponível em: <www.irga.rs.gov.br/uploads/anexos/1292592973censodg3.pdf>. Acesso em: 16 dezembro 2010.

JOHN DEERE, **Catálogo de peças**, Disponível em: <<http://jdpc.deere.com/jdpc/servlet/com.deere.u90490.partscatalog.view.servlets.PrintPageServlet?printParams=Illustration,+Keyline>>. Acesso em 15 outubro de 2016.

JOHN DEERE, **Catálogo pós venda (sistema de trilha)**, 2008
Lima, C.C., Trevisan, R. **Aspersão Térmica: Fundamentos e Aplicações**. 2ª Edição, 2007, Artliber Editora, São Paulo.

MORAES, Luiz Brenner et al. **Máquinas para colheita e processamento de grãos**. Ed única. Editora universitária UFPEL, p.33, 1996

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, **Arroz**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/arroz>>. Acesso em 07 outubro 2016.

PERFILVILLE. **Tratamentos térmicos dos ferros fundidos**. Disponível em: <<http://www.perfilville.com.br/documentos/19799cb4e31f972a8c4b258616431ca3.pdf>>. Acesso em: 01 outubro 2016.

RIBEIRO, Rubens **Avaliação da Resistência ao Desgaste Abrasivo de Revestimentos Soldados do tipo Fe-C-Cr Utilizados na Indústria Sucroalcooleira**. Ilha Solteira. 2004. Dissertação. Programa de Pós-graduação em Engenharia mecânica. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

RICHEY, C. JACOBSON, P. HALL, C. **Agricultural engineers' handbook**. 52617. ed New York: McGRGAW-HILL BOOK COMPANY, INC, 1961.

RIJEZA(2009). **Carboneto de tungstênio**. Disponível em: <<http://www.rijeza.com.br/revestimentos/revestimentos-metalicos/carboneto-de-tungstenio>>. Acesso em: 05 outubro 2016

RIJEZA(2009). **Desgaste por Erosão: 4 dicas importantes que todo Engenheiro de Produto deve saber especificar superfícies resistentes a esse mecanismo de desgaste**. Disponível em: <http://www.rijeza.com.br/novidades/desgaste-por-erosao-4-dicas-importantes-que-todo-engenheiro-de-produto-deve-saber>. Acesso em: 14 outubro 2016

RIJEZA. **Carboneto de tungstênio revestimentos metálicos**. Disponível em: <https://rdstation-static.s3.amazonaws.com/cms%2Ffiles%2F10803%2F1442510704carboneto_tungstenio.pdf>. Acesso em: 05 outubro 2016.

SENAI, **Materiais**, Disponível em:

<http://coral.ufsm.br/righi/Materiais/FIGS/Telecurso%202000%20-%20Materiais.pdf>. Acesso em 10 outubro de 2016

SINATORA A. **Introdução ao Estudo do Atrito e Desgaste** - Instituto Nacional de engenharia de superfícies. Universidade de Caxias do Sul, 2009.

SOSBAI – **Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado, Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Disponível em <http://www3.irga.rs.gov.br/uploads/anexos/1288898784Arroz_Irrigado_Recomendacoes_Tecnicas.pdf>. Acesso em 08 outubro 2016.

Souza, R.C., Nascimento M.P., Voorwald H.J.C., Pigatin W.L. **Carbeto de Tungstênio – uma alternativa ao cromo duro eletrodepositado**. Jornadas SAM 2000 - IV Colóquio Latinoamericano de Fractura y Fatiga, Agosto de 2000, 575-582.

TUPY, **Granalhas** . Disponível em:

< http://www.tupy.com.br/imagens/promocional/catalogo_tecnico_granalhas.pdf>
Acesso em: 06 outubro 2016.

Tyler, J.M., **Automotive applications for chromium**. *Metal Finishing*, october 1995, pp. 11-14.

WERNER, Marcos. **Desenvolvimento de uma Bancada de Teste de Desgaste Abrasivo para Barras de Trilha de Colhedoras de Grão: Um Comparativo de Desempenho em Aços SAE 1045 e SAE 1518**. Porto Alegre. 2013. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL.