



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA
CAMPUS MULTIDISCIPLINAR DE BOM JESUS DA LAPA
ENGENHARIA MECÂNICA

EDUARDA DA CRUZ ROCHA

**Estudo da viabilidade de utilização do aço ligado SAE 8620
na fabricação de componentes de máquinas agrícolas
analisado sob diferentes metodologias de tratamento
térmico como alternativa para o desgaste abrasivo.**

Bom Jesus da Lapa

2022

EDUARDA DA CRUZ ROCHA

**Estudo da viabilidade de utilização do aço ligado SAE 8620
na fabricação de componentes de máquinas agrícolas
analisado sob diferentes metodologias de tratamento
térmico como alternativa para o desgaste abrasivo.**

Trabalho de conclusão de Curso apresentado ao Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa da Universidade Federal do Oeste da Bahia para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientadora: Profa. Dra. Bruna de Souza Constantino

Coorientador: Prof. Dr. Márcio Augusto Sampaio de Carvalho

Bom Jesus da Lapa

2022

*“Nunca diga nunca, porque limites assim como medos
são frequentemente apenas ilusão”*

Michael Jordan

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre iluminar meus passos e me guiar nas escolhas que me foram impostas ao longo de minha trajetória.

Agradeço a meus pais e meus avós, que sempre estiveram ao meu lado, mostrando o caminho certo a ser percorrido e sempre fizeram tudo ao alcance deles para que eu tivesse a oportunidade de buscar meus sonhos.

A minha professora orientadora Dra. Bruna de Souza Constantino pelo empenho, orientação e esclarecimento de dúvidas sempre quando solicitado mesmo em seus momentos de descanso.

Ao professor e coorientador Dr. Márcio Augusto Sampaio de Carvalho pela ajuda e colaboração.

Agradeço a todos os demais professores do campus de Bom Jesus da Lapa que passaram pela minha trajetória acadêmica, contribuindo para minha formação e se tornaram extremamente importantes para a concretização do meu sonho.

Por fim agradeço a todos os meus amigos e colegas da Universidade, em especial Dayane da Silva Machado e Ludmilla Nunes dos Santos com quem divido as minhas alegrias e angústias, e que fizeram meus dias mais felizes.

RESUMO

O agronegócio baiano tem um papel protagonista na economia brasileira. Nas últimas cinco décadas, o Brasil se tornou um dos mais importantes produtores e exportadores mundiais, alimentando aproximadamente 1,5 bilhão de pessoas no mundo. Investimentos realizados na mecanização da atividade agrícola proporcionou o aumento da produtividade e atendimento da demanda de mercado de forma mais eficiente. O avanço tecnológico sugere o desenvolvimento de novos materiais e novas tecnologias aplicados às máquinas agrícolas com objetivo de aumentar a resistência ao desgaste abrasivo. O presente trabalho busca avaliar as propriedades mecânicas do aço ligado SAE 8620 termicamente tratado por cementação sólida seguido por tratamento térmico de têmpera para avaliar a viabilidade de aplicação na fabricação de componentes de máquinas para o setor de máquinas agrícolas. O estudo do comportamento do material sob essas condições permitirá desenvolver componentes para a indústria agrícola com maior segurança e eficiência. A análise experimental consistiu na proposição de uma metodologia para o aumento de resistência superficial do aço SAE 8620 como material para fabricação de peças de máquinas agrícolas. Para isso, foram realizadas pesquisas bibliográficas, coleta de resultados obtidos por análise experimental e comparação entre os resultados experimentais obtidos por diferentes metodologias. Como este é um trabalho de pesquisa bibliográfica, os resultados esperados serão comparados com os resultados obtidos por outros pesquisadores na mesma área de pesquisa para verificar se a metodologia adotada proporciona resultados satisfatórios semelhantes aos obtidos para as condições definidas.

Palavras-chave: Aço ligado SAE 8620, Cementação sólida, Desgaste abrasivo, Máquinas agrícolas.

ABSTRACT

Bahian agribusiness plays a leading role in the Brazilian economy. Over the past five decades, Brazil has become one of the world's most important producers and exporters, feeding approximately 1.5 billion people worldwide. Investments made in the mechanization of agricultural activity provided an increase in productivity and a more efficient response to market demand. Technological advances suggest the development of new materials and new technologies applied to agricultural machinery in order to increase resistance to abrasive wear. The present work seeks to evaluate the mechanical properties of SAE 8620 alloy steel thermally treated by solid carburizing followed by tempering heat treatment to evaluate the feasibility of application in the manufacture of machine components for the agribusiness sector. The study of the behavior of the material under these conditions will make it possible to develop components for the agricultural industry with greater safety and efficiency. The experimental analysis consisted of proposing a methodology to increase the surface resistance of SAE 8620 steel as a material for the manufacture of agricultural machinery parts. For this, bibliographical researches were carried out, collection of results obtained by experimental analysis and comparison between the experimental results obtained by different methodologies. As this is a bibliographic research work, the expected results will be compared with the results obtained by other researchers in the same research area to verify if the adopted methodology provides satisfactory results similar to those obtained for the defined conditions.

Keywords: Alloy steel SAE 8620, Solid carburizing, Abrasive wear, Agricultural machinery.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-Mapa da Região Oeste da Bahia.	13
Figura 2- Aço carbono para construção de máquinas agrícolas	15
Figura 3 Trator (a), Barra de tração (b), Tomada de Potência (c) e Sistema hidráulico de três pontos (d)	16
Figura 4- Arado de disco	17
Figura 5 - Arado Aiveco.....	17
Figura 6-Grade	18
Figura 7-Subsolador.....	19
Figura 8- Semeadora (a), Plantadeira (b) e Transplantadora (c).....	19
Figura 9 - Pulverizador	20
Figura 10 – Colheitadeira	21
Figura 11- Desgaste abrasivo em mecanismo de transporte de máquina colhedora de grãos	23
Figura 12-Redução das dimensões do mecanismo helicoidal devido ao desgaste abrasivo.....	23
Figura 13- Aços ligados utilizados na construção de máquinas agrícolas	25
Figura 14- Funções dos elementos químicos na composição do aço ligado SAE 8620	28
Figura 15- Máquina Cortadora Metalográfica CM 40	33
Figura 16- Forno Mufla Q318M	33
Figura 17-Imagem do microscópio Kontrol utilizada para realizada a microscopia ótica.	34
Figura 18- máquina universal de ensaio de tração marca ARMS-FIND modelo WDW-B100.....	35
Figura 19- Microdurômetro utilizado para ensaio de dureza vickers.	36
Figura 20-Perfil de Microdureza Rockwell para amostras 6 e 7	42
Figura 21-Análise micrográfica da amostra 1	45
Figura 22-Análise micrográfica da amostra 2	45
Figura 23-Grão austenítico aço SAE 8620.....	46
Figura 24-Grão austenítico da amostra 3.....	46
Figura 25-Gão austenitico da amostra 4.	47
Figura 26-Grão austenitico aço 8620.	47

Figura 27-Macografia da amostra 6.	48
Figura 28-Macografia da amostra 7.	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Unidades de Máquinas e Implementos Agrícolas	14
Tabela 2 - Composição química do Aço Ligado SAE 8620.....	26
Tabela 3 - Principais aços para cementação.....	27
Tabela 4 – Descrição das amostras e parâmetros de tratamentos térmicos.....	32
Tabela 5- Detalhamento dos trabalhos científicos estudados	37
Tabela 6- Descrição das amostras analisadas.....	38
Tabela 7- Valores de resistência mecânica e tempo de cementação	40
Tabela 8-Microdureza Vickers para aço SAE 8620 após realização de cementação por três tempos distintos	41
Tabela 9-Valores de profundidade efetiva de camada cementada	43

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
1.1	OBJETIVOS	8
1.1.1	Objetivo Geral	8
1.1.2	Objetivos Específicos.....	8
1.2	JUSTIFICATIVA	9
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
2.1	Produção agrícola no oeste da Bahia.....	11
2.2	Máquinas e implementos agrícolas	14
2.2.1	Máquinas para preparo do solo	15
2.2.2	Máquinas para a semeadura, plantio e transplante.....	19
2.2.3	Máquinas para a aplicação, carregamento, transporte de adubos e corretivos e aplicadoras de defensivos	20
2.2.4	Máquinas para a colheita.....	21
2.3	Desgaste abrasivo em máquinas e implementos agrícolas.....	21
2.4	Aço SAE 8620	24
2.5	Tratamentos Térmicos e Termoquímicos	28
2.5.2	Têmpera e revenido	30
3	METODOLOGIA	32
3.1.3	Caracterização mecânica	35
3.2	Pesquisa bibliográfica, coleta de resultados obtidos por análise experimental e comparação dos resultados obtidos por diferentes metodologias ..	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5	CONCLUSÕES.....	50
6	TRABALHOS FUTUROS	51
7	REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

A região Oeste da Bahia é uma das mais importantes regiões agroindustriais do Brasil, onde se encontram diversas fazendas que utilizam de implementos agrícolas para realização de suas atividades. O uso dessas máquinas e implementos agrícolas permite aumentar a competitividade de mercado, reduzindo o tempo de produção e aumentando a lucratividade.

No ano de 2022, a produção no Estado da Bahia bateu a maior de toda a série histórica. De acordo com levantamentos realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e pela Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia (SEI), a safra de grãos alcançou 11,1 milhões de toneladas em 2022, o que representou um crescimento de 5,9% na comparação com a safra do ano anterior (SEI, 2022).

Devido à importância que o agronegócio da região oeste tem frente à economia nacional, cada vez mais vem sendo empregadas tecnologias nos maquinários utilizados no setor agrícola para facilitar o escoamento da produção e aumentar a produtividade rural existente em solo baiano. Dessa maneira, torna-se importante conhecer os materiais empregados na construção das máquinas agrícolas para desenvolver projetos de melhoria que atenda as exigências do setor.

O aço é o material mais utilizado na indústria de máquinas e implementos agrícolas pelo fato de adquirir as propriedades mecânicas almejadas através de diferentes técnicas de processamento e tratamentos térmicos. Devido à sua versatilidade de propriedades mecânicas, físicas e químicas, é utilizado na produção e fabricação de componentes estruturais com características mecânicas que atendam às exigências de serviços da indústria agrícola.

Dessa forma, tem-se como responsabilidade dos engenheiros compreender de que forma são obtidas as características mecânicas desejáveis em componentes utilizados neste setor. Uma vez que não são admitidas ocorrências de falhas e espera-se que o material se comporte de forma satisfatória, eficiente, segura e com boa durabilidade, essas propriedades podem influenciar no resultado final do produto acabado.

Deseja-se que os componentes mecânicos das máquinas agrícolas possuam alta resistência ao desgaste abrasivo, que pode ser obtido através da cementação,

sendo um tratamento termoquímico de endurecimento superficial por meio da elevação do teor de carbono através da difusão. Aplicando este tratamento, será possível obter componentes resistentes ao desgaste e a fratura, porque a peça apresentará um núcleo tenaz e dúctil devido ao baixo teor de carbono, e sua superfície torna-se mais dura.

Neste trabalho, o aço ligado SAE 8620 foi idealizado como alternativa para aplicação na construção de componentes para máquinas agrícolas, diante da constante preocupação dos proprietários e concessionárias com o desgaste abrasivo atuantes nos maquinários. Logo, visando otimizar custos com manutenção, processos de fabricação e aumentar a competitividade de mercado desenvolvendo máquinas capazes de atender a demanda do agronegócio com maior eficiência, ligas metálicas com características mecânicas melhoradas são desenvolvidas para a indústria agrícola.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral analisar diferentes metodologias de tratamentos térmicos e termoquímicos em aço ligado de baixo teor de carbono SAE 8620 e sua viabilidade de aplicação na fabricação de componentes para máquinas agrícolas como alternativa para redução do desgaste abrasivo.

1.1.2 Objetivos Específicos

- I. Analisar diferentes metodologias de cementação sólida em aço ligado SAE 8620;
- II. Comparar as propriedades mecânicas de dureza e resistência mecânica do aço SAE 8620, obtidas após diferentes tratamentos térmicos e termoquímicos;
- III. Comparar a microestrutura do aço SAE 8620, obtida após diferentes tratamentos térmicos e termoquímicos;

IV. Verificar a aplicabilidade do aço SAE 8620 na indústria de máquinas e implementos agrícolas, considerando as características adequadas ao material para fabricação de componentes de máquinas agrícolas

1.2 JUSTIFICATIVA

Um grande problema enfrentado pelos usuários de implementos agrícolas é o desgaste abrasivo, que afeta diretamente a produção devido à necessidade constante de troca de peças, o que aumenta os custos com manutenção, reduz tempo dedicado à produção e acarreta impactos financeiros.

O desgaste, que é a perda de material causado pelo contato de uma superfície metálica contra outra superfície metálica em movimento relativo, provoca danos aos implementos agrícolas e resulta na deformação e modificação das dimensões da peça. O desgaste abrasivo é o mais comum nos componentes das máquinas, uma vez que as próprias peças sofrem atrito durante a operação nas atividades agrícolas.

Nessa perspectiva, uma das maneiras de reduzir o desgaste abrasivo nos componentes de máquinas e implementos agrícolas é utilizar os conhecimentos de ciências dos materiais para selecionar materiais e tratamentos de superfícies que permitam a fabricação de componentes com propriedades mecânicas que resistam ao desgaste.

Dessa forma, o trabalho propõe o estudo da cementação e da têmpera no aço ligado SAE 8620 como uma alternativa para obter um material adequado para os processos envolvidos na fabricação dos componentes que formam equipamentos de todos os tipos e com as mais diversas tecnologias disponíveis para a indústria agrícola.

Este trabalho de pesquisa irá contribuir para aumentar a bibliografia disponível sobre o tema, 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 desgaste abrasivo de peças agrícolas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção apresenta uma revisão sobre a produção agrícola no Oeste da Bahia, em seguida serão abordados os tipos de máquinas e implementos agrícolas e os principais processos de fabricação e tipos de materiais utilizado. A seleção de materiais e o tratamento de superfícies são as medidas utilizadas para a minimização dos mecanismos de desgaste. Assim sendo, será abordado o aço ligado SAE 8620 que é liga metálica selecionada para estudo e o tratamento termoquímico de cementação sólida seguido de tratamento térmico de têmpera em óleo.

2.1 Produção agrícola no oeste da Bahia

O agronegócio é responsável por movimentar grande parte da economia baiana. A produção de grãos é a principal atividade econômica relacionada ao desenvolvimento do agronegócio no estado, que compreende o novo espaço denominado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) de Matopiba e que agrega o oeste da Bahia, o sul do Maranhão, o Tocantins e o sudoeste do Piauí, configurando uma região reconhecida como uma das principais fronteiras agrícolas do país (SEI, 2017).

Nos últimos anos, o Oeste baiano se tornou o maior polo produtor de grãos do estado, principalmente da soja, sendo grande parte da produção destinada à exportação. Entre os principais municípios produtores de soja, encontram-se Formosa do Rio Preto e São Desidério, detendo, respectivamente, 31% e 22% do total da produção (SEI, 2017). Segundo Pesquisa Agrícola Municipal (PAM) realizada pelo IBGE, o valor da produção agrícola nacional cresceu 30,4% em 2020, na comparação com o ano anterior, e chegou a R\$ 470,5 bilhões, um recorde da série histórica (GOV, 2021).

Ademais, de acordo com a Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia (SEI), o Produto Interno Bruto (PIB) do agronegócio baiano registrou crescimento de 5,1% no terceiro trimestre de 2021 na comparação com o terceiro trimestre de 2020 (SEI, 2021). É um setor economicamente significativo pela produção de bens e serviços de grande impacto social na geração de empregos, que contribui para o crescimento econômico e desenvolvimento tecnológico.

Vale destacar que, para manter os números da série histórica, são realizados investimentos no uso de tecnologias no campo que buscam diminuir custos e aumentar a produção de maneira sustentável. Com base no avanço das atividades produtivas nessa região, pode-se dizer que o uso de máquinas e implementos agrícolas como alternativa para facilitar o trabalho no campo eleva o desempenho das atividades agrícolas de forma que prazos e demandas do mercado possam ser atendidos com maior eficiência (EMBRAPA,2018).

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), a população mundial deverá atingir o número de 9,7 bilhões de indivíduos em 2050 (ONU, 2019). Isso significa que será necessário aumentar a produção agrícola para suprir a demanda de alimentação da população. Por conseguinte, o uso de máquinas e implementos no campo é indispensável e a mecanização agrícola poderá gerar maior rendimento operacional (MAGRO; CAVICHIOLI, 2018).

De acordo com Vera Ondeí (2020), mesmo em meio a uma das maiores crises globais da história recente, o setor do agronegócio continua alimentando a economia e a mesa do Brasil e do mundo. Isso porque, durante a pandemia de COVID-19 houve a necessidade de produzir maior quantidade de alimentos em prazos cada vez mais apertados e, para isso, investiu-se na tecnologia transformando as propriedades rurais através da mecanização dos processos agrícolas gerando maior produtividade, precisão e agilidade.

Além da necessidade de aumentar capacidade de produção, ocorreu o aumento de exportações dos produtos do agronegócio. Isso fez do complexo soja, o principal setor exportador do agronegócio brasileiro, totalizando US\$ 3,95 bilhões em exportação durante o mês de setembro de 2022. O valor é recorde para os meses de setembro, com elevação de 38,4% em comparação com o que foi exportado no mesmo mês de 2021 (RURAL PECUÁRIA,2022).

Cumpramos ressaltar que na região Oeste da Bahia conforme mostra mapa na figura 1, encontram-se diversas cidades que fazem parte do ranking nacional de produção agrícola, principalmente da soja. Dentre essas cidades, temos São Desiderio, Formosa do Rio Preto e Luís Eduardo Magalhães que fazem a utilização de máquinas e implementos agrícolas para otimização e a ampliação da capacidade produtiva.

Figura 1-Mapa da Região Oeste da Bahia.



Fonte: Google imagens (2022).

Com base no exposto, apresenta-se a seguir a Tabela 1, mostrando a estimativa da quantidade de máquinas e implementos agrícolas presentes nessas três cidades citadas, de acordo com o Censo Agropecuário de 2017 realizado pelo IBGE.

Tabela 1-Unidades de Máquinas e Implementos Agrícolas

Máquinas e Implementos	São Desidério	Formosa do Rio Preto	Luís Eduardo Magalhães
Trator	1683	1689	880
Colheitadeira	634	591	306
Semeadeira/Plantadeira	463	343	232
Ajubadeira e/ou distribuidoras de cálcario	430	310	199

Fonte: A autora (2022).

2.2 Máquinas e implementos agrícolas

A partir do momento que o processo de mecanização da produção foi inserido no campo, reduziu-se a utilização de mão de obra nas atividades agrícolas. A inserção de máquinas e implementos agiliza o processo produtivo, de forma que o uso desses equipamentos possibilita economizar tempo e recursos, otimizando a produção e mantendo o controle de qualidade (SOBENKO *et al.*, 2021).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NB-66,1978), define a máquina agrícola como uma máquina projetada especificamente para realizar integralmente ou facilitar a execução da operação agrícola. E o implemento agrícola é o implemento ou sistema mecânico, com movimento próprio ou induzido, em sua forma mais simples, cujos órgãos componentes não apresentam movimentos relativos.

Atualmente, as máquinas e implementos agrícolas apresentam grandes evoluções tecnológicas, se comparadas com as mais antigas. As máquinas modernas apresentam alto desempenho na execução de suas atividades devido a presença de controles hidráulicos e eletrônicos. Há casos em que apenas uma máquina realiza várias atividades do processo de produção, pois pode ser utilizado suportes para acoplar diferentes tipos de implementos (SOBENKO *et al.*, 2021).

Com relação ao processo de fabricação, normalmente são utilizados aços carbono no processo construtivo. O aço carbono apresenta maior durabilidade e pode ser conformado por diversos processos, sendo vantajoso sua utilização na fabricação

das máquinas. A seguir, tem-se um quadro com os principais aços carbono utilizado no setor do agronegócio.

Figura 2- Aço carbono para construção de máquinas agrícolas

QUADRO 1- AÇO CARBONO PARA CONSTRUÇÃO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS	
TIPO DE AÇO	CARACTERÍSTICAS/APLICAÇÕES
SAE 1045	Aço de boa forjabilidade e média temperabilidade. Atinge boa resistência mecânica após tratamento. A versão com acabamento descascado e polido costuma ser bastante aplicada na fabricação de hastes para cilindros hidráulicos.
SAE 1050	Também é um tipo de aço para a indústria agrícola que oferece boa forjabilidade e média temperabilidade. Assim como também atinge boa resistência mecânica após tratamento
SAE 1070	Aço de alto teor de carbono. Possui uma ótima resistência mecânica. Sua aplicação é voltada para peças que exigem grandes tensões de conformação.

Fonte: Autora (2022)

As máquinas agrícolas podem ser agrupadas em:

- a) Máquinas para preparo do solo
- b) Máquinas para a semeadura, plantio e transplante
- c) Máquinas para a aplicação, carregamento, transporte de adubos e corretivos e aplicadoras de defensivos
- d) Máquinas para a colheita

Os tipos de máquinas agrícolas serão discutidos a seguir

2.2.1 Máquinas para preparo do solo

As máquinas para preparo do solo são implementos utilizados em operações que antecedem a semeadura e servem para arar e descompactar para o início do cultivo. Entre elas destacam-se como equipamentos principais os arados, as grades e os subsoladores que são acoplados ao trator.

Os tratores agrícolas são máquinas construídas para geração de potência e tem a finalidade de tracionar, empurrar, acionar e transportar máquinas e implementos agrícolas (SILVA,2014).

Os principais componentes dos tratores agrícolas são: a barra de tração, tomada de potência e o sistema hidráulico de três pontos. Sendo, portanto, a máquina

agrícola de maior importância, pelo fato de arrastar todos os outros implementos. A Figura 3 mostra um trator agrícola e seus principais componentes.

Figura 3 Trator (a), Barra de tração (b), Tomada de Potência (c) e Sistema hidráulico de três pontos (d)



Fonte: John Deere (2022) e Senar (2017).

A barra de tração do trator está situada na parte inferior traseira da estrutura do trator, e é utilizada para tracionamento de arados, grades e outros implementos. A depender do tipo de implemento que será tracionado, a barra de tração pode ser fixa em uma posição ou trabalhar livremente com oscilação horizontal (SILVA, 2014).

A tomada de potência (TDP) é posicionada na parte posterior da estrutura do diferencial do trator e tem a função de transmitir força e movimento ao equipamento que nela será acoplado. Para que o implemento seja acoplado a TDP, é necessário encaixar o eixo cardã na tomada de força do trator através do engate e em seguida acionar o pino de trava (SILVA, 2014).

Enquanto o sistema hidráulico permite controlar a altura de implementos que trabalham acima da superfície do solo ou a profundidade de trabalho nos implementos penetrantes (SENAR, 2017). Este sistema permite também a transmissão de força para diversos pontos do trator e para máquinas operadas a distância. Sendo, a conexão dos equipamentos realizada através de três pinos para engate, dois localizados na parte inferior do equipamento e um terceiro na parte superior (SILVA, 2014).

2.2.1.1 Arados

O arado é uma máquina que tem como objetivo transformar a terra de modo que o solo fique mais solto. Os arados podem ser classificados em dois tipos: arado de disco e arado aiveca. O arado de disco Figura 4, é utilizado para entrar em solos mais secos e duros. Por conta dos discos, esse tipo de arado é considerado mais vantajoso porque trabalha com um movimento de rotação que diminui o impacto sobre a estrutura quando o disco passa por um obstáculo (SOBENKO *et al.*, 2021).

Figura 4- Arado de disco



Fonte: John Deere (2022).

O arado aiveca Figura 5, proporciona uma melhor preservação dos agregados do solo e controle de ervas daninhas. Se o solo for muito coesivo as aivecas devem ter as chapas recortadas para reduzir a aderência ao solo.

Figura 5 - Arado Aiveco



Fonte: Ikeda (2022).

O princípio de operação e formato da aiveca permite quebrar o solo em camadas mais profundas do que os arados de disco.

2.2.1.2 Grades

Outro implemento utilizado no preparo do solo são as grades agrícolas. A figura 6 permite visualizar como as grades são acopladas ao trator por meio da barra de tração ou do sistema hidráulico de 3 pontos.

Figura 6-Grade



Fonte: John Deere (2022).

Sua função é realizar o destorroamento e nivelção do solo. Sua função é complementar à do serviço executado pelos arados, embora elas possam ser utilizadas antes ou até mesmo em substituição a estes em algumas situações. A Figura 5 permite visualizar como as Grades são acopladas ao trator por meio da barra de tração ou do sistema hidráulico de 3 pontos (SOBENKO et al., 2021).

2.2.1.3 Subsoladores

Os implementos de subsolagem são utilizados para a descompactação das camadas de solo por meio de seu rompimento por força de tração. Além de propiciar menor exposição do solo e reduzir as perdas causadas pela erosão. A figura 7 mostra um subsolador que pode ser acoplado ao sistema hidráulico de um trator de grande potência.

Figura 7-Subsolador



Fonte: John Deere (2022).

Os subsoladores também são responsáveis pelas operações necessárias para criar condições de implantação de culturas agrícolas.

2.2.2 Máquinas para a semeadura, plantio e transplante

Estes implementos agrícolas são sistemas mecânicos responsáveis pela deposição de órgãos vegetativos no solo, que também podem ser acoplados em tratores.

De acordo com o tipo de estrutura que depositam no solo são classificadas como: as máquinas semeadoras que fazem o depósito de sementes no solo, as plantadoras fazem o depósito de plantas na forma vegetativa e as transplantadoras de muda (SOBENKO *et al.*, 2021).

A Figura 8 apresenta os detalhes de máquinas semeadora, plantadeira e transplantadora, respectivamente.

Figura 8- Semeadora (a), Plantadeira (b) e Transplantadora (c)



Fonte: Manual Baldan Máquinas e Implementos agrícolas (a), Manual John Deere (b) e Manual Agrimec (c).

A utilização dessas máquinas apresenta como vantagem o alto rendimento operacional, a redução da mão de obra e a redução dos custos com produção pela facilidade e rapidez de operação.

2.2.3 Máquinas para a aplicação, carregamento, transporte de adubos e corretivos e aplicadoras de defensivos

Essas máquinas tem como principal objetivo manter a plantação livre de pragas e insetos. Os pulverizadores são máquinas empregadas na aplicação de corretivos e fertilizantes, em diferentes ciclos do cultivo das plantas, maximizando o aproveitamento dos produtos aplicados e evitando desperdício e poluição do meio (SOBENKO *et al.*, 2021).

A Figura 9 apresenta a estrutura de uma máquina pulverizadora.

Figura 9 - Pulverizador



Fonte: John Deere (2022).

A correção do solo é essencial para o desenvolvimento das culturas. O solo brasileiro em sua grande parte apresenta problemas de baixa fertilidade, acidez excessiva e presença de alguns elementos tóxicos. Dessa forma, o uso da mecanização proporciona melhores resultados que refletem diretamente na produção sendo possível otimizar o tempo alcançando melhores resultados (SOBENKO *et al.*, 2021).

2.2.4 Máquinas para a colheita

As colheitadeiras têm a função de fazer a coleta de cereais e outras culturas agrícolas de forma rápida, precisa e consistente. Elas podem ser encontradas com uma gama de variações para atender as especificidades de cada cultura, além de fazer a colheita também fazem a separação e limpeza de grãos. Visualiza-se, a partir da Figura 10, a dimensão de uma máquina colheitadeira.

Figura 10 – Colheitadeira



Fonte: John Deere (2022).

A etapa da colheita é uma das mais importantes para o setor agrícola. É a fase final do processo produtivo e qualquer falha na máquina reflete nos ganhos que o produtor irá receber. Dessa maneira, devem ser evitados o mínimo de danos mecânicos para que a colheita não seja afetada (SOBENKO *et al.*, 2021).

2.3 Desgaste abrasivo em máquinas e implementos agrícolas

Apesar de toda modernização do agronegócio, ainda existe um problema frequentemente encontrado por usuários de máquinas e implementos agrícolas: a deterioração das peças e equipamentos. Por isso, a fim de evitar falhas no processo de produção que compromete a competitividade, os usuários devem levar em conta os principais mecanismos de desgastes no maquinário agrícola.

O desgaste diz respeito a perda de material devido ao movimento relativo que ocorre entre duas superfícies provocando danos às peças das máquinas. Dessa forma, o desgaste se torna uma preocupação para a indústria agrícola, pois ele provoca a fratura das peças inutilizando as máquinas, o que leva a um custo alto de manutenção corretiva e perda de produtividade (ASM, 1995).

Para Silva Filho (2020), a ocorrência do desgaste nas peças agrícolas promove o surgimento de quebra ou fratura mecânica. Como não é possível evitar o contato entre peças, ou entre materiais diferentes e longos processos com estes contatos, o uso dos equipamentos agrícolas por um determinado período faz com que as superfícies se desgastem e deixem de funcionar em seu melhor estado.

O desgaste abrasivo de máquinas e implementos é um assunto de grande relevância, visto que o desgaste inutiliza a máquina devido à necessidade de manutenção corretiva com maior frequência, influenciando nos custos e na perda de produtividade. Com o aumento da quantidade de máquinas utilizada para as operações agrícolas, há uma necessidade de desenvolver materiais que sejam mais resistentes e duráveis para aplicação na fabricação dos componentes das máquinas agrícolas.

Batista (2018) identificou e caracterizou materiais para a redução do efeito da abrasividade em sistemas mecânicos agrícolas. No trabalho, o autor buscou apresentar o estudo sobre a caracterização de um material para aplicação na fabricação de componentes metálicos que compõe as máquinas agrícolas que estão em contato direto com a cultura do arroz. Foi verificado se o material estudado poderia ser aplicado como uma alternativa para redução do desgaste abrasivo dos componentes das máquinas colhedoras de grãos.

Como forma de delimitação do problema, o autor direciona sua pesquisa para o desgaste prematuro dos componentes internos de uma máquina colhedora de grãos de arroz.

As figuras 11 e 12 apresentam o mecanismo de transporte da máquina colhedora de grãos, no qual é possível identificar a região de desgaste abrasivo.

Figura 11- Desgaste abrasivo em mecanismo de transporte de máquina colhedora de grãos



Fonte: Adaptado de Batista (2018)

Figura 12-Redução das dimensões do mecanismo helicoidal devido ao desgaste abrasivo



Fonte: Adaptado de Batista (2018)

Nas imagens apresentadas pelo autor é possível identificar o desgaste abrasivo após a máquina colhedora operar por 300 horas de trabalho. O desgaste é observado nas regiões circuladas em vermelho, onde é possível verificar a perda progressiva de material destas partes móveis que ficam em contato com os grãos de arroz durante a operação de colheita.

A principal consequência do desgaste abrasivo é a quebra dos componentes da máquina colhedora, levando a parada para manutenção e reposição da peça desgastada, o que gera atrasos na produção e consequente impacto financeiro. Dessa maneira, torna-se necessário conhecer os materiais e os tratamentos de superfície que são aplicados no projeto de máquinas agrícolas afim de evitar o desgaste abrasivo.

2.4 Aço SAE 8620

O agronegócio é o setor de maior crescimento no país, e para atender a alta demanda de produção é preciso selecionar o material adequado para ser utilizado na fabricação dos equipamentos. Isso porque são esses materiais que compõem as peças que estarão em contato direto com os insumos a serem produzidos. As máquinas e implementos estarão submetidos aos mais diversos ambientes e situações climáticas, que os torna suscetível ao desgaste.

A ciência e engenharia dos materiais possibilita o desenvolvimento de materiais mais duráveis e eficientes para fabricação de máquinas e implementos agrícolas. Por meio do estudo dos materiais é possível conhecer características do material como propriedades, composição química, durabilidade, local de utilização e custo, que podem ser utilizados para determinadas aplicações, seja para solucionar um problema ou mesmo para projetar uma nova máquina.

O aço escolhido para aplicação na indústria agrícola deve ter uma composição química compatível com a sua utilização. Suas propriedades mecânicas devem ser escolhidas de modo que, o equipamento produzido se comporte de acordo com a função desejada e com alto grau de confiabilidade. Dessa forma, serão evitados transtornos do tipo: ruptura, deformação excessiva devido a esforços mecânicos, oxidação ou corrosão em ambientes, ou desgastes em ambientes abrasivos (SOUZA,1989).

A agricultura é feita de processos que envolvem muito desgaste e impacto. Exposição ao sol e outras intempéries, altas temperaturas, terrenos acidentados, produtos químicos e outras situações. Isso faz com que as máquinas e implementos agrícolas estejam susceptíveis a corrosão e desgaste. Para minimizar os efeitos, ligas metálicas com características mecânicas apropriadas para aplicação no setor são estudadas.

Estudos mais recentes indicam a utilização de aço ligado por conta dos elementos de liga presentes na composição química, que melhoram as propriedades dos aços quando submetidos a tratamentos de superfície. O quadro 2 a seguir apresenta os aços ligados e suas características, destinadas à construção de máquinas agrícolas.

Figura 13- Aços ligado utilizados na construção de máquinas agrícolas

QUADRO 2- AÇOS LIGADO UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS	
TIPO DE AÇO	CARACTERÍSTICAS/APLICAÇÕES
SAE 4140	Espécie de aço ligado para beneficiamento que possui boa temperabilidade e permite atingir uma boa profundidade de camada temperada. Tem como principal indicação de uso em aplicações severas de fadiga, impacto e tensões a altas temperaturas
SAE 8640	Aço de boa usinabilidade, boa forjabilidade e boa temperabilidade, bastante empregado na fabricação de eixos, pinos, bielas, virabrequins e peças para a indústria agrícola;
SAE 4320	Aço de boa temperabilidade, boa forjabilidade e média soldabilidade. Destinado à fabricação de peças que necessitam de endurecimento superficial por cementação, um processo voltado para o tratamento da superfície do aço com enriquecimento de carbono. Sendo assim, o aço ganha um incremento na sua resistência e dureza;
SAE 8620	Aço de baixa temperabilidade, que atinge dureza média após o processo de cementação. Sua aplicação é bastante indicada para a fabricação de engrenagens de média ou pequena dimensão;
DIN 20MnCr5	Variedade de aço voltada para a cementação com boa usinabilidade, boa soldabilidade e ótima forjabilidade. É bastante aplicado na produção de engrenagens, suporte de ferramentas, pinos e peças onde há exigência de dureza superficial, obtida por cementação ou carbonitreção.
DIN 17-18CrNiMo6	Este tipo de aço apresenta média temperabilidade e atinge alta dureza superficial após cementação. Sua utilização é bastante empregada na fabricação de engrenagens, de maior ou média dimensão, além de eixos pinhão para redutores.

Fonte: Autora (2022).

O aço SAE 8620 é classificado como aço de baixo carbono, utilizado para fins de aplicação industrial em peças que requerem resistência mecânica durante o processo de fabricação, indicado para construção de peças cujo núcleo necessita de uma resistência mecânica de 70 a 110 Kgf/mm² (700 a 1100 MPa ou N/mm²) (SANTOS,2015).

A composição química do aço ligado SAE 8620 é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Composição química do Aço Ligado SAE 8620

Aço	%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Ni	%Cr	%Mo	%V
8620	0,18-0,23	0,70-0,90	0,030	0,040	0,15-0,35	0,40-0,70	0,40-0,60	0,15-0,25	-

Fonte: GERDAU, 2003.

Os elementos de liga em um aço são introduzidos objetivando alcançar determinadas propriedades, em função da quantidade de cada elemento. Desde que se conheça a sua estrutura e admita ainda que essas propriedades dependam somente das quantidades relativas dos diversos elementos químicos constituintes, permitindo que sejam formadas diversas ligas com as mais variadas aplicações estruturais. As principais vantagens em utilizar aços-liga nos processos industriais são (SOUZA,1989):

- Melhoria da temperabilidade;
- Menor distorção e surgimento de trincas após processo de têmpera;
- Alívio de tensão quando o material atinge um determinado percentual de dureza;
- Menor crescimento de grão;
- Aumento da elasticidade;
- Melhoria na resistência a fadiga;
- Melhor resistência mecânica em altas temperaturas;
- O material apresenta uma boa usinabilidade aliado a alta dureza.

Como desvantagem devem ser considerados:

- O custo elevado;
- A necessidade de cuidados durante tratamento térmico;
- Tendência de formar a austenita retida;
- Fragilidade ao processo de revenido.

O aço ligado SAE 8620 é indicado para processo de fabricação por meio do tratamento superficial de cementação. Apresenta como características mecânicas a

boa temperabilidade e o alcance de boa resistência ao desgaste decorrente da alta dureza superficial adquirida após passar pelo tratamento térmico de têmpera.

O alcance da boa resistência ao desgaste e endurecimento da camada superficial deve-se ao cromo e molibdênio, que são elementos de liga presente em sua composição. Já a presença de níquel contribui para uma boa tenacidade e ductilidade (OGATA,2003).

Nas condições de recebimento a liga apresenta uma dureza de fornecimento de 260HB, temperatura de realização de cementação entre 900°C a 930°C e têmpera entre 840°C a 860°C.

A Tabela 3 apresenta os principais aços que podem ser submetidos ao tratamento termoquímico de cementação.

Tabela 3 - Principais aços para cementação

Norma	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo
DIN 16MnCr5	0,14-0,19	0,40 mín.	1,00-1,30	-----	0,80-1,10	-----
DIN 20MnCr5	0,17-0,22	0,40 mín.	0,70-1,00	-----	0,30-0,60	0,40-0,50
SAE 8620	0,18-0,23	0,15-0,35	0,70-0,90	0,40-0,70	0,40-0,60	0,15-0,25
SAE 4320	0,17-0,22	0,15-0,35	0,45-0,65	1,65-2,00	0,40-0,60	0,20-0,30

Fonte: Adaptado de Pinedo (2021).

Propriedades mecânicas do tipo aumento de dureza, resistência mecânica, à corrosão e ao calor podem ser melhoradas a partir da adição de elementos químicos na liga metálica. Conforme os estudos de Santos (2015), apresenta-se no Quadro 3 as funções dos elementos encontrados na composição química do aço ligado SAE 8620:

Figura 14- Funções dos elementos químicos na composição do aço ligado SAE 8620

Quadro 3: FUNÇÕES DOS ELEMENTOS QUÍMICOS NA COMPOSIÇÃO DO AÇO LIGADO SAE 8620.	
Elementos químicos	Funções
Carbono (C)	Garante resistência ao desgaste, resistência a corrosão e elevada dureza por ser ligado a outros elementos facilita a deformação por forjamento, laminação, alongamento e soldabilidade.
Silício (Si)	Aumenta a dureza e a resistência à oxidação.
Manganês (Mn):	Aumenta a endurecibilidade, a forjabilidade e a soldabilidade diminuindo a influência do enxofre além de ser desoxidante.
Cromo (Cr):	Melhora a resistência mecânica em altas temperaturas além de aumentar a resistência à corrosão e ao desgaste e elevar a dureza.
Molibdênio (Mo)	Ajuda a diminuir o crescimento do grão, aumenta a profundidade da têmpera, eleva a dureza e a resistência a quente, melhora a resistência a corrosão entre outras propriedades.
Enxofre (S)	Melhorar a usinabilidade.
Fosforo (P)	Utilizado em baixa quantidade para melhorar a usinabilidade.
Níquel (Ni)	Aumenta a resistência a corrosão e sua presença aumenta a austenita retida.

Fonte: Adaptado Santos (2015).

2.5 Tratamentos Térmicos e Termoquímicos

2.5.1 Cementação

O objetivo dos tratamentos termoquímicos é alterar as propriedades superficiais do material de maneira a atender às solicitações de projeto e evitar qualquer tipo de falha em serviço. Essa alteração ocorre através do endurecimento superficial, que provoca reações químicas entre elementos do aço e elementos que estão contidos no ambiente onde são executados os tratamentos (CHIAVERINI, 2008a).

Quando se deseja obter materiais com uma superfície dura, resistente ao desgaste e que apresente um núcleo tenaz, realiza-se a alteração da composição química através da difusão de carbono na camada superficial deste material. Neste caso, um aço de concentração inicial de 0,1%C pode apresentar após tratamento

termoquímico um teor de carbono em sua superfície em torno de 1%C o que gera uma camada exterior de maior dureza (SANTOS, 2015).

Dentre os diversos tratamentos termoquímicos utilizados para o endurecimento superficial, o destaque é a cementação e seus efeitos na amostra tratada. A cementação consiste em aumentar a dureza superficial do aço através da introdução de carbono na superfície do mesmo. Neste caso a peça é aquecida acima da zona crítica e colocada em uma atmosfera rica em carbono (SANTOS, 2015).

Os aços com baixa concentração de teor de carbono, são submetidos ao tratamento termoquímico de cementação, para elevar o teor de carbono na superfície, aumentando sua resistência ao desgaste, ao mesmo tempo que preserva a tenacidade do núcleo, mantido com baixo teor de carbono. A absorção do carbono para o interior do material ocorre através do fenômeno de difusão em temperaturas geralmente entre 850°C e 950°C, criando um gradiente de concentração de carbono entre a superfície e o interior do componente (LAMPMAN, 1991).

A cementação sólida ou em caixa é um processo no qual uma amostra de aço com dimensões definidas é colocada dentro de um recipiente metálico hermeticamente fechado com atmosfera rica em carbono e levado ao forno de temperatura controlada. A quantidade de carbono e a taxa de resfriamento devem ser controladas para evitar a austenita retida (BIRCK,2019).

A cementação sólida é um tratamento que normalmente utiliza equipamentos de custo baixo, porém apresenta como desvantagem a dificuldade de controle da profundidade da camada endurecida. Quanto maior for o tempo de exposição do aço na temperatura de cementação, maior será a profundidade da camada formada devido a profundidade de difusão do carbono, sendo possível obter profundidades com valores de 0,5 a 2,0 mm.

Somente realizar o endurecimento superficial da peça através do aumento do teor de carbono na superfície do material não é suficiente para elevar a dureza nas partes externas. Sendo assim, é preciso selecionar um tratamento térmico ideal para que a dureza seja obtida de forma uniforme.

2.5.2 Têmpera e revenido

O tratamento térmico pode ser definido como o aquecimento ou resfriamento controlado dos metais feito com a finalidade de alterar suas propriedades físicas e mecânicas, sem alterar a forma do produto final. Para obter componentes com maior dureza e resistência mecânica, submete-se o aço ao tratamento de têmpera (CHIAVERINI, 2008b).

A têmpera consiste em aquecer o aço até uma temperatura de austenitização, mantê-lo nesta temperatura por um certo tempo e em seguida resfria-lo bruscamente. A têmpera promove a formação da martensita, que é o constituinte obtido à medida que a temperatura cai. Como a martensita é uma solução sólida supersaturada de carbono no ferro alfa, ela eleva a dureza do aço através da distorção do reticulado cúbico centrado (CHIAVERINI, 2008b).

Devido a formação de martensita após o tratamento de têmpera, tensões são criadas na rede cristalina do aço. A microestrutura martensítica possui baixa ductilidade e alto nível de tensões residuais na rede cristalina, deixando a peça suscetível à formação de trincas.

Dessa forma, faz-se necessário o tratamento de revenido, cujo objetivo é o alívio de tensões. Este tratamento consiste em aquecer a peça a uma temperatura abaixo da zona crítica (abaixo do nível eutetóide de acordo com o estudo do diagrama Fe-Fe₃C), mantê-la nesta temperatura por um tempo adequado e depois resfriá-la vagarosamente no forno (SILVA e MEI, 2010).

3 METODOLOGIA

O trabalho foi realizado através de duas etapas:

- a) Proposição de uma metodologia para o aumento de resistência superficial do aço SAE 8620 como material para fabricação de peças de máquinas agrícolas;
- b) Pesquisa bibliográfica, coleta de resultados obtidos por análise experimental e comparação entre os resultados experimentais obtidos por diferentes metodologias.

3.1 Detalhamento da metodologia proposta para aumento de resistência do aço SAE 8620 para uso na indústria de máquinas agrícolas

Nesta etapa, foi proposta uma sequência de atividades que envolveram a preparação de amostras para realização de tratamentos térmicos para modificação da dureza superficial de aços e sua caracterização mecânica e microestrutural.

O material selecionado para estudo é o aço ligado SAE 8620 fornecido em barras redondas laminadas na condição sem tratamento térmico.

Na proposta são selecionadas cinco (05) amostras, conforme descrito na Tabela 4, em que duas dessas amostras serão cementadas e tratadas termicamente por têmpera e as outras duas amostras serão submetidas apenas ao tratamento termoquímico de cementação, e uma mantida conforme recebido.

Tabela 4 – Descrição das amostras e parâmetros de tratamentos térmicos

Amostra	Parâmetros da Cementação	Parâmetros da Têmpera
ACT1	960°C, 6 horas	870°C, 30 min
ACT2	960°C, 6 horas	870°C, 30 min
AC1	960°C, 6 horas	-----
AC2	960°C, 6 horas	-----
ACR	-----	-----

Fonte: A autora (2022).

Corpos de prova com dimensões de 10,5 mm de altura e 25,5 mm de diâmetro devem ser confeccionados a partir de corte em cortadora metalográfica CM 40, Figura 15.

Figura 15- Máquina Cortadora Metalográfica CM 40



Fonte: A autora (2022).

Finalmente, as amostras do aço conforme recebido e as termicamente tratadas terão suas características mecânicas e microestrutura analisadas.

3.1.1 Tratamento termoquímico e tratamento térmico

Na primeira parte do experimento, quatro amostras do aço 8620 serão submetidas ao tratamento termoquímico em Forno Mufla Quimis, modelo Q318M, Figura 16.

Figura 16- Forno Mufla Q318M



Fonte: Quimis (2022).

As amostras ACT1, ACT2, AC1 e AC2 devem passar por procedimento de cementação sólida, onde as amostras colocadas dentro de uma caixa metálica com dimensões 10 cm de comprimento, 7 cm de largura e 4 cm de altura, contendo carvão vegetal em pó.

A caixa hermeticamente fechada e selada com argila para controlar a quantidade de oxigênio necessária para a cementação será colocada no forno mufla a 960°C por 6 horas. As amostras serão mantidas por 6 horas para que alcance uma camada superficial esperada de 1,5mm de espessura.

Em seguida, as amostras ACT1 e ACT2 serão temperadas, sendo austenizadas a 870°C por 30 minutos no forno mufla e resfriadas em óleo.

A amostra ACR é uma amostra de referência e não sofrerá nenhum tratamento térmico.

3.1.2 Caracterização microestrutural

Nesta seção será apresentado o procedimento utilizado para avaliação da microestrutura do aço ligado SAE 8620 conforme adquirido e das amostras após tratamento.

Análises por microscopia ótica devem ser realizadas para a identificação dos microconstituintes presentes, utilizando microscópio metalográfico marca Kontrol modelo KSTM / KSBM, mostrado na figura 17.

Figura 17-Imagem do microscópio Kontrol utilizado para realizar a microscopia ótica.



Fonte: A autora (2022).

As amostras devem ser previamente preparadas conforme procedimentos padrão de preparação metalográfica que consiste em selecionar uma amostra de superfície plana, lixada e polida em lixadeira politriz, e realizar ataque químico com reagente Nital 10% (90 ml de álcool etílico + 10 ml de ácido nítrico) na superfície do

metal. As amostras devem ser mergulhadas na solução durante aproximadamente 10 segundos.

Com isso, as modificações dos microconstituintes após a realização da cementação (amostras AC1 e AC2) ou da cementação + têmpera (ACT1 e ACT2) poderão ser comparadas com a microestrutura da amostra de referência (ACR).

E, espera-se que as amostras cementadas e temperadas tenham adquirido teores em níveis elevados de resistência mecânica e dureza superficial, mantendo-se um núcleo tenaz. Uma comparação será realizada entre os resultados de resistência mecânica e dureza obtidos no experimento e os valores para o aço na forma como foi adquirido, com o intuito de verificar se realmente ocorreu o aumento das propriedades desejadas.

3.1.3 Caracterização mecânica

Ensaio de tração e de dureza Vickers devem ser utilizados para a caracterização mecânica do material como recebido e após tratamento.

A resistência à tração medida em máquina universal de ensaio de tração, marca ARMS-FIND modelo WDW-B100, Figura 18. Este ensaio será realizado com base na Norma ASTM E8M, que trata dos Métodos de teste padrão para testes de tensão de materiais metálicos e que descreve o ensaio de tração uniaxial em metais a temperatura ambiente, permitindo-se determinar os parâmetros necessários para obter os valores de resistência e tenacidade do material.

Figura 18- máquina universal de ensaio de tração marca ARMS-FIND modelo WDW-B100



Fonte: ARMS-FIND (2022).

O aço para o ensaio é adquirido na forma de barras redondas laminadas, dessa forma os corpos de prova são cilíndricos com dimensões de 10,5 mm de altura e 25,5 mm de diâmetro, essa geometria apresenta resultados satisfatórios pois reduz a propagação de trincas.

O ensaio de dureza a ser realizado em microdurômetro DIGIMESS - HV-1000, Figura 19, utilizando carga de 1kgf durante 10 segundos.

Figura 19- Microdurômetro utilizado para ensaio de dureza vickers.



Fonte: A autora (2022).

Cinco (05) medidas de dureza devem ser realizadas em superfície polida e lixada de cada amostra e um valor médio calculado.

3.2 Pesquisa bibliográfica, coleta de resultados obtidos por análise experimental e comparação dos resultados obtidos por diferentes metodologias

Nesta etapa, foi realizada uma pesquisa bibliográfica, que se estendeu por toda a execução do trabalho, e que teve por objetivo a coleta de resultados experimentais obtidos por diferentes autores em trabalhos científicos que utilizaram metodologia semelhante à proposta pela autora.

Para isso foram utilizados materiais como teses, dissertações, trabalhos finais de curso e artigos científicos.

Inicialmente foram catalogadas as mais recentes publicações científicas com foco na avaliação das propriedades mecânicas do aço SAE 8620 sob diferentes condições de tratamentos de cementação sólida, seguido por têmpera.

Desse modo, utilizando os resultados dos trabalhos listados na Tabela 5, foram analisadas a resistência mecânica, os valores de dureza e a microestrutura do aço. Por fim, a viabilidade de aplicação para fabricação de peças de máquinas da indústria agrícola com o aço SAE 8620 sob efeitos dos tratamentos de cementação e/ou têmpera foi discutida.

Tabela 5- Detalhamento dos trabalhos científicos estudados

CASO	TRABALHO	AUTOR	ANO DE PUBLICAÇÃO	PROPRIEDADES ESTUDADAS
1 - Artigo	CEMENTAÇÃO SÓLIDA NO AÇO SAE 8620	Guilherme Pellat dos Santos Vítor Garlet Caetano	2017	Microdureza Rockwell Resistência Mecânica Microestrutura - Profundidade efetiva de cementação
2 - Tese de Mestrado	ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO TAMNHO DE GRÃO DOS AÇOS BAIXO CARBONO, BAIXA LIGA E MICROLIGADO CEMENTADOS EM ELEVADAS TEMPERATURAS	Leandro Pinheiro Birck	2019	Microdureza Vickers Resistência Mecânica Microestrutura - Análise do tamanho do grão - Microestrutura na camada cementada Composição química
3 - Trabalho de conclusão de curso	ESTUDO EXPERIMENTAL DA CEMENTAÇÃO SÓLIDA EM ENGRENAGENS CILÍNDRICAS DE DENTES RETOS (MÓDULO 2) DE AÇO SAE 8620	Bruno Lessmann Fertig	2021	Microdureza Rockwell Resistência Mecânica Microestrutura - Profundidade efetiva de cementação

Fonte: Autora (2022).

As amostras analisadas neste trabalho estão listadas na Tabela 6, mostrada a seguir.

Tabela 6- Descrição das amostras analisadas

Amostra	Fonte	Parâmetros do tratamento				
		Cementação		Têmpera	Revenido	
		Temperatura (°C)	Tempo (h)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Tempo (h)
1	Santos e Caetano	925	3	845	235	Não informado
2	Santos E Caetano	925	6h e 30min	850	190	Não informado
3	Birck	980	3	Não informado	180	1
4	Birck	980	6	Não informado	180	1
5	Birck	980	9	Não informado	180	1
6	Fertig	900	2h e 51min	Direta após cementação	180	1
7	Fertig	900	3h e 29min	Direta após cementação	180	1

Fonte: Autora (2022).

As amostras 1, 2, 3, 4 e 5 são corpos de prova de aço SAE 8620 confeccionadas em barras redondas para realização da cementação sólida. E as amostras 6 e 7 são engrenagens fabricadas a partir do aço SAE 8620. As engrenagens foram selecionadas como amostras porque demanda elevada dureza e resistência ao desgaste nos seus dentes, porém deve manter a tenacidade no seu interior, sendo uma peça ideal para avaliar os efeitos da cementação.

As amostras escolhidas para análise apresentam tempos e temperaturas diferentes de cementação e têmpera, cujo objetivo é analisar o comportamento do aço SAE 8620 sob diferentes condições de tratamento. O tempo e a temperatura são fatores relevantes e devem ser controlados para que haja uma completa dissolução do carbono e o tratamento tenha efeito positivo na microestrutura do aço.

O tempo de permanência no forno das amostras 6 e 7 para o processo de cementação foi calculado utilizando a equação da segunda lei de Fick:

$$J = \frac{M}{A \cdot t} = \frac{1}{A} \frac{dM}{dt} \quad (1)$$

Onde:

J é o fluxo difusional (Kg/m².s);

M é a massa (kg);

A área de ocorrência de difusão (m^2/s);

t tempo de difusão (s)

Neste cálculo, utilizou-se o valor fixo de 0,40 mm de profundidade de camada efetiva para obter uma estimativa do tempo de difusão do carbono no aço.

A têmpera foi realizada nas seguintes condições:

- Amostras 1 e 2 temperada em óleo após o resfriamento do forno até atingir a temperatura de 850°C;
- Amostras 3, 4 e 5 foram resfriadas de forma severa por polímeros sendo imersas nos fluidos de arrefecimento a temperatura ambiente. O tempo de duração do tratamento não foi informado.
- Amostras 6 e 7 foi realizado a têmpera direta em óleo, imediatamente após finalizar o tempo de cementação.

Após a têmpera, todas as amostras passaram pelo tratamento de revenido para aliviar as tensões geradas pela formação da martensita. As condições de revenido para as amostras estudadas foram:

- Amostras 1 e 2 foram tratadas à 235°C e 190°C, respectivamente. Não foram encontradas informações sobre o tempo de tratamento;
- Amostras 3, 4,5,6 e 7 foram aquecidas à 180°C por 1 hora e em seguida resfriadas ao forno.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos no presente estudo, onde estes são divididos da seguinte forma: Resistência mecânica, caracterização por meio de ensaio de dureza superficial, avaliação da microestrutura e análise da viabilidade de utilização do aço SAE 8620 para construção de componentes de máquinas agrícolas.

A metodologia desenvolvida neste trabalho objetiva aumentar os valores de resistência mecânica e dureza superficial mantendo o núcleo tenaz. Para alcançar este objetivo amostras de aço SAE 8620 devem ser cementadas à temperatura de 960°C durante 6 horas. Em seguida, espera-se ocorrer o resfriamento do forno até atingir à temperatura de 870°C para realizar a têmpera em óleo, por 30 minutos. O resultado esperado é uma profundidade de camada cementada de 1,5 mm.

4.1 Resistência mecânica

De acordo com dados da literatura a resistência a tração do aço SAE 8620 é de 1157 MPa ou 168.000 psi, quando o material é temperado e revenido. Dessa forma, espera-se que com o tratamento os valores de resistência mecânica se aproximem do esperado.

A Tabela 7 apresenta os valores de resistência mecânica para 7 amostras obtidos após a realização dos tratamentos.

Tabela 7- Valores de resistência mecânica e tempo de cementação

Amostra	1	2	3	4	5	6	7
Resistência mecânica MPa	1167 MPa	1656 MPa	2200 MPa	2250 MPa	2300 MPa	Não realizado	Não realizado
Tempo de Cementação (h)	3	6h e 30 min	3	6	9	--	--

Fonte: Autora (2022).

A amostra 1 apresentou uma resistência de 1167 MPa para um tempo de tratamento de 3 horas. O Aumento do tempo para 6 horas e 30 minutos, propiciou aumento no valor de resistência mecânica atingindo 1656 MPa. O mesmo é observado nas amostras 3,4 e 5 que foram submetidas ao tratamento por 3, 6 e 9 horas,

respectivamente. Onde foi observado que a resistência passou de 2200 MPa para 2300 MPa. Observa-se o aumento gradual da resistência mecânica conforme aumenta o tempo de tratamento.

Os testes de resistência mecânica não foram realizados nas amostras 6 e 7.

4.2 Dureza

As amostras 1 e 2 apresentam inicialmente uma dureza de 20 HRc antes de ser submetidas ao processo de tratamento. Confere-se que após o tratamento a amostra 1 obteve valor de dureza Rockwell de 25 HRc e a amostra 2, obteve o valor 49 HRc. O resultado obtido do processo de cementação sólida no aço SAE 8620 comprovou a eficiência deste processo por meio do ensaio de dureza Rockwell demonstrando o efetivo endurecimento das extremidades das amostras mantendo um núcleo dúctil e tenaz.

As amostras 3, 4 e 5 foram analisadas com relação ao perfil de microdureza Vickers. O objetivo foi determinar a profundidade da camada cementada efetiva e a magnitude da microdureza. Para isso, o experimento foi realizado com uma carga de 300 gramas com o tempo de 1 segundo de endentação, mantendo uma distância de 0,1mm entre as endentações. Foram realizadas 10 endentações com um intervalo de 1 segundo entre cada, totalizando 10 segundos de experimento. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 8 a seguir:

Tabela 8-Microdureza Vickers para aço SAE 8620 após realização de cementação por três tempos distintos

Quantidade de endentações	Amostra 3 Após 3 horas	Amostra 4 Após 6 horas	Amostra 5 Após 9 horas
1	704	685	768
2	698	688	760
3	686	686	760
4	680	681	656
5	570	585	630
6	479	571	650
7	488	404	625
8	380	301	555
9	289	308	328
10	291	303	328

VALOR MÉDIO	533	528	620
-------------	-----	-----	-----

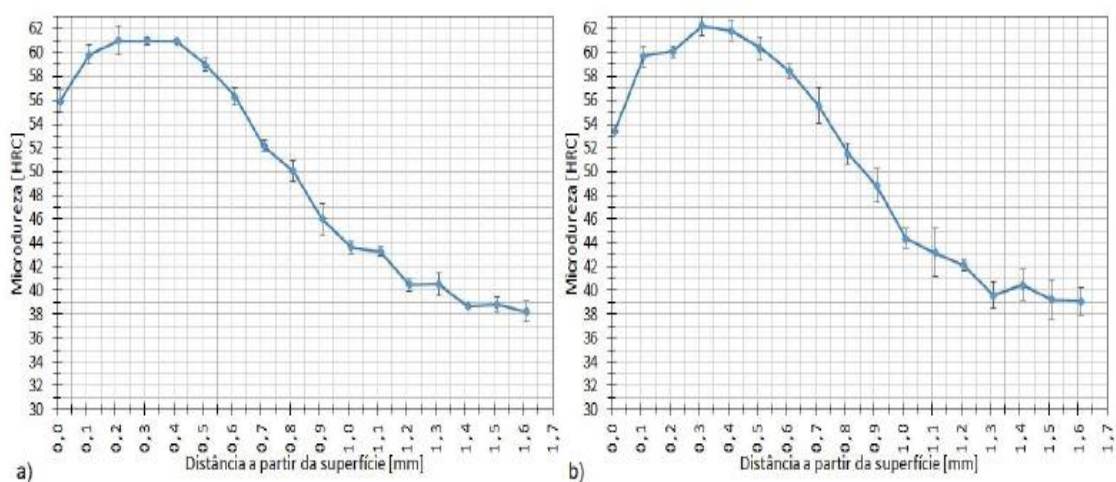
Fonte: Autora (2022)

À medida que aumenta o tempo de cementação, observa-se o aumento da microdureza Vickers. Após tratamento de cementação em caixa, seguido de tempera em óleo, houve um aumento acentuado da microdureza na borda das amostras 3, 4 e 5.

Os perfis de microdureza para as condições da variável Cx igual a 0,40%C e 0,45%C foram satisfatórios, pois ambos os testes resultaram valores de dureza acima de 50 HRC para profundidade de camada efetiva entre 0,40-0,60 mm.

Para as amostras 6 e 7 foram verificados que a dureza na camada cementada após tratamento nas engrenagens alcançou o valor de 56-60 HRc.

Figura 20-Perfil de Microdureza Rockwell para amostras 6 e 7



Fonte: Fertig (2021)

O perfil de microdureza apresentado acima amostra que os valores obtidos para a dureza na região próxima a superfície dos dentes e na região do núcleo da engrenagem estão dentro do esperado pela literatura, para o aço SAE 8620 submetido ao tratamento.

Estes resultados apresentados são satisfatórios, o que indica a utilização do aço SAE 8620 de forma eficiente contra o desgaste abrasivo quando submetido a cementação. Dessa forma, pode ser destinado para composição das peças que mais são afetadas pelo desgaste no setor agrícola, pois uma camada superficial mais dura tem forte relação com o aumento da resistência do material ao desgaste abrasivo.

Uma consideração importante com relação ao tratamento de cementação é sobre o tempo de permanência do material no forno. O tempo de tratamento deve ser controlado para evitar efeitos indesejados nos corpos de prova. A permanência do aço exposto a um período longo no forno pode promover a descarbonetação superficial da amostra devido a quantidade insuficiente de carbono na atmosfera do forno, o que levaria a redução da dureza superficial da amostra.

De acordo com seus resultados observou-se um crescimento significativo da resistência mecânica devido a formação de uma microestrutura bastante fina, com uma vasta matriz ferrítica e pequenas ilhas de martensita. Dessa forma, o tempo de 6 horas foi suficiente para formar o microconstituente desejado e elevar a dureza do material estudado.

4.3 Microestrutura

As amostras analisadas serviram para avaliar o efeito da temperatura e tempo distintos deste tratamento sobre a microestrutura e tenacidade do aço SAE 8620. A temperatura de 960°C foi proposta pela autora como uma forma de otimizar o processo, tornando-o mais rápido, dado que quanto maior a temperatura, mais rápida ocorre a difusão do carbono na superfície.

Temperaturas superiores a 950°C são utilizadas quando se deseja obter camadas mais espessas, como por exemplo 1,25 mm (LIMA e FRAGA, 2017). Assim sendo, como o foco da metodologia proposta pela autora é obter uma camada superficial de 1,5 mm, na condição proposta espera-se que o resultado seja alcançado.

A profundidade de camada cementada obtida por meio dos tratamentos realizados nas condições apresentadas na Tabela 6 é apresentada na Tabela 9.

Tabela 9-Valores de profundidade efetiva de camada cementada

Amostra	1	2	3	4	5	6	7
Profundidade de camada	0,3 mm	1,3 mm	--	--	--	0,1-0,3 mm	0,4-0,6 mm

Fonte: Autora (2022)

O experimento realizado nas amostras 3, 6 e com o tempo de aproximadamente 6 horas de cementação promoveu a formação de camada com espessura próxima a 1,5 mm.

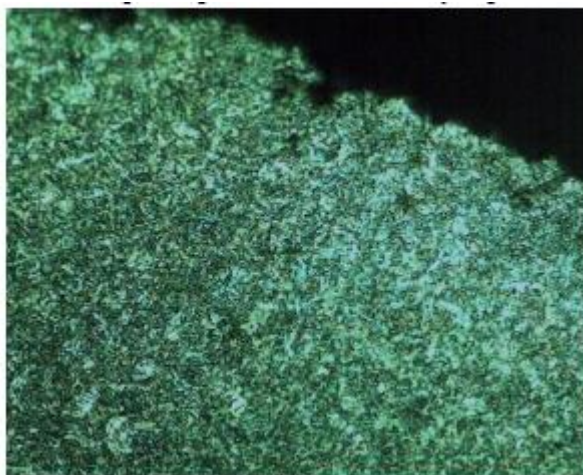
De acordo com a literatura o aumento do tempo de cementação proporciona aumento da camada efetiva cementada do material. Com uma espessura de camada superficial maior, o material que foi cementado apresenta uma maior resistência ao desgaste abrasivo. Isso justifica a escolha do tratamento de cementação no aço SAE 8620 para aplicação no setor de máquinas agrícolas.

Uma característica desfavorável do processo de cementação consiste na dificuldade de controle da temperatura, que influencia no aumento do tamanho do grão austenítico. Grãos austeníticos muito grandes reduzem a tenacidade do material, o que implica em efeito indesejado para o setor de máquinas agrícolas, visto que a tenacidade é a capacidade de um material de absorver energia até sua fratura, justificando a escolha do tratamento de cementação por produzir peças com camadas superficiais mais duras e resistentes ao desgaste abrasivo e o núcleo tenaz para absorção de impactos e choques gerados pelo setor.

O primeiro estágio do tratamento térmico é garantir o revenimento adequado da martensita formada durante o ciclo de resfriamento por meio da têmpera em óleo. Porém, parte da martensita formada, se transforma em austenita retida. A austenita retida é um microconstituente que possui uma resistência mecânica inferior a martensita, dessa forma sua quantidade deve ser mínima para evitar que sejam geradas tensões internas na peça fabricada.

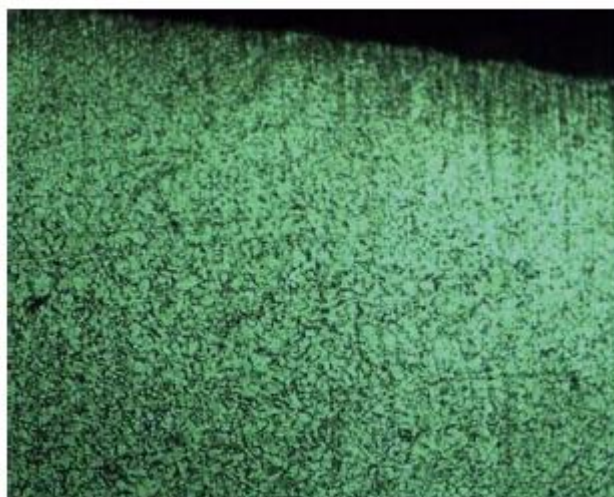
A microestrutura da camada cementada das amostras 1 e 2 foi constituída por Martensita.

Figura 21-Análise micrográfica da amostra 1.



Fonte: Santos e Caetano (2017).

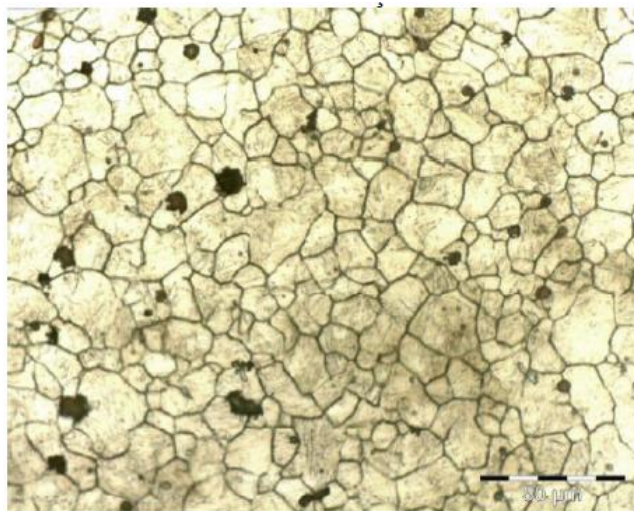
Figura 22-Análise micrográfica da amostra 2.



Fonte: Santos e Caetano (2017).

O aço SAE 8620 apresenta um tamanho de grão austenítico variável entre 5 e 8 antes da cementação. Após realização de ataque químico, a microestrutura é apresentada na figura 22.

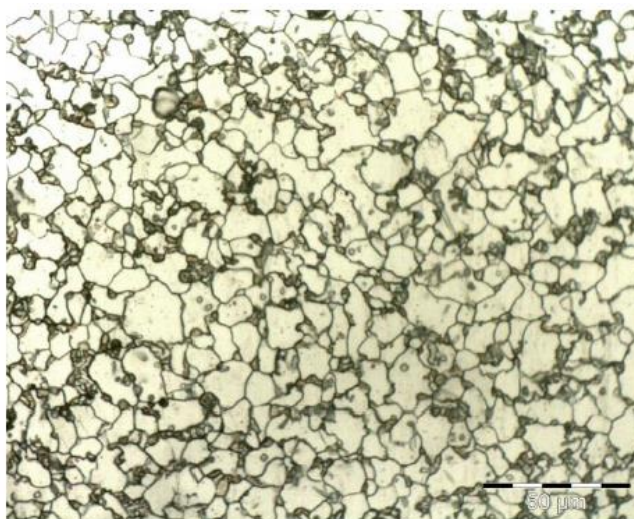
Figura 23-Grão austenítico aço SAE 8620



Fonte: Birck (2019).

A amostra 3 apresentou um tamanho de grão de 5,15 após 3 horas de cementação. Neste caso, é possível observar um leve crescimento do grão austenítico.

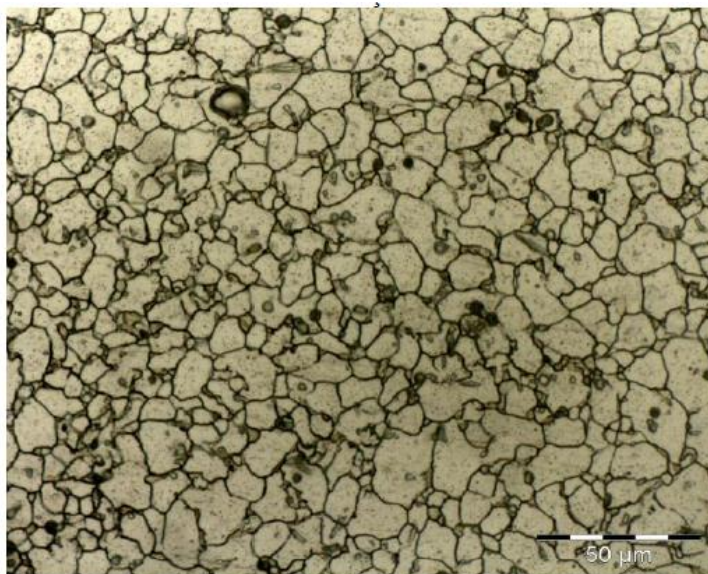
Figura 24-Grão austenítico da amostra 3



Fonte: Birck (2019).

Na amostra 4, após 6 horas de cementação, foi observado um crescimento do tamanho do grão para 5,5. Ainda considerado dentro do tamanho satisfatório.

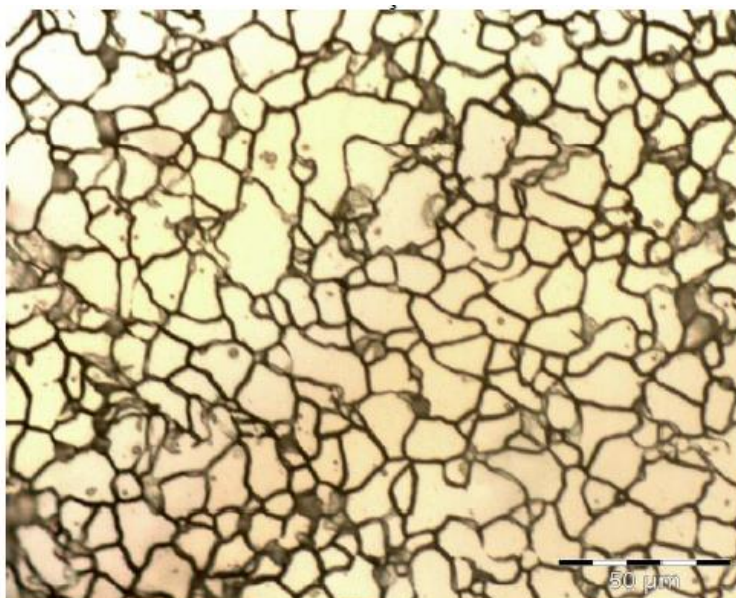
Figura 25-Gão austenítico da amostra 4.



Fonte: Birck (2019).

A amostra 5 apresentou grãos estourados e um crescimento de grão anormal, com tamanho de grão grosseiro devido a presença de Nióbio e Molibdênio na composição do aço estudado.

Figura 26-Grão austenítico aço 8620 da amostra 5.



Fonte: Birck (2019).

A cementação é um tratamento térmico que apresenta como característica a formação de austenita retida nas ligas metálicas após o término do processo. A

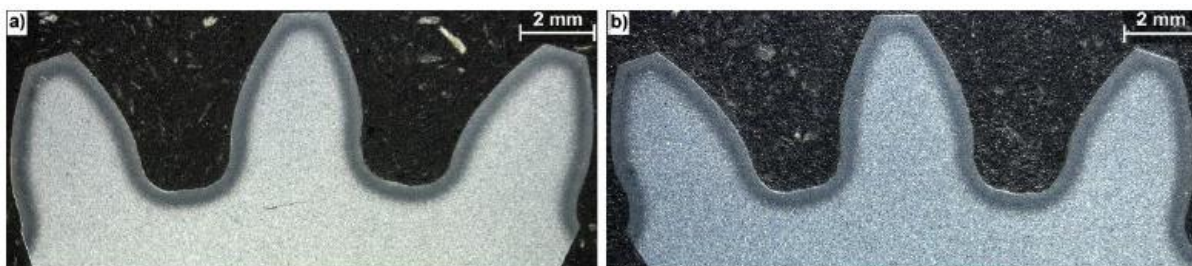
quantidade de austenita retida pode ser maior ou menor, o que determina o seu percentual formado é a taxa de resfriamento e quantidade de carbono inserida na amostra cementada.

Para o tempo de cementação de 3 horas não foram encontrados indícios da presença de austenita retida. Isso significa que o menor tempo de cementação promoveu uma menor taxa de difusão de carbono que reduziu o efeito da temperatura no processo de transformação da martensita.

Para o tempo de 6 horas de cementação, foi observado uma leve presença de austenita retida, porém em menor proporção não influenciando no desenvolvimento da martensita. Isso se deve ao revenimento, pois após o revenimento, a austenita permanece não transformada e sabe-se que esta é responsável pela alta tenacidade do aço estudado mediante a cementação.

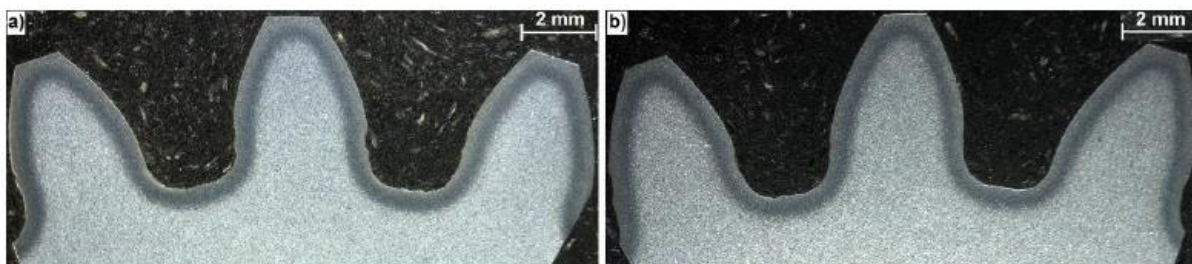
A amostra 6 tratada por 2 h e 51 min e a amostra 7 tratada por 3 h e 29min, correspondem a engrenagens fabricadas no material estudado. A macrografia apresentada nas figuras 23 e 24 mostra a homogeneidade da camada cementada que se formou abaixo da superfície e ao longo do contorno dos dentes, que favorece o aumento da vida útil da engrenagem, evitando a ocorrência de falhas prematuras.

Figura 27-Macroráfia da amostra 6.



Fonte: Fertig (2021).

Figura 28-Macroráfia da amostra 7.



Fonte: Fertig (2021).

4.4 Análise da viabilidade do uso do aço 8620

A indústria de máquinas agrícolas necessita de materiais com alta resistência superficial e um núcleo tenaz para resistir a esforços, desgastes e altas temperaturas e evitar as falhas decorrentes de quebras pela perda de material na superfície provocado por desgaste abrasivo.

O aço SAE 8620 apresenta características mecânicas boas para aplicação neste setor, pelo fato de ter suas propriedades melhoradas a partir do processo de cementação sólida seguido de têmpera. A têmpera é um tratamento térmico que tem como principal objetivo a elevação de dureza e resistência mecânica dos aços por meio da sua transformação microestrutural. E como pode ser observado as amostras que passaram por tal tratamento obtiveram um aumento considerável na dureza e resistência mecânica.

A composição química do aço SAE 8620 também é bastante favorável para o setor, uma vez que ele contém em sua composição o níquel que é responsável por aumentar a tenacidade e a presença de molibdênio que faz a relação de equilíbrio entre dureza e tenacidade. E o manganês e cromo que são responsáveis pelo aumento da dureza.

A aplicação de cementação seguida de têmpera e revenido influencia na dureza e resistência a tração das amostras de aço SAE 8620. Com base nas amostras analisadas pode-se assegurar que é viável a aplicação da cementação sólida para a fabricação dos componentes das máquinas da indústria agrícola pelo fato de se obter as propriedades mecânicas exigidas pelo setor a partir de um tratamento superficial de simples execução.

Neste caso, o objetivo é alcançado porque a cementação sólida produz sua própria atmosfera cementante, podendo ser realizada através de uma enorme variedade de fornos. E pelo fato de necessitar de resfriamento lento, é um tratamento termoquímico ideal para peças que serão usinadas antes de ser temperadas.

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho de pesquisa foi proposta uma metodologia de análise do aço SAE 8620, objetivando estudar sua aplicação na construção de componentes de máquinas agrícolas na qual necessitam de um material resistente ao desgaste abrasivo.

Analisando as amostras estudadas, observou-se que o tratamento termoquímico de cementação é eficiente e aumenta consideravelmente a quantidade de carbono superficial nas amostras que foram testadas, assim como melhora a temperabilidade e a capacidade de endurecimento.

Para obter resultados satisfatórios foi observado que o fator tempo é primordial para o processo de transformação da austenita em martensita. Sendo que, deve-se ter um controle da relação tempo-temperatura afim de evitar a austenita retida, e proporcionar os estímulos termodinâmicos para que ocorra o aumento da dureza do material.

A partir das amostras escolhidas foi possível notar que as amostras de aço SAE 8620 apresentaram maior dureza e resistência mecânica após o tratamento de cementação seguido de têmpera. E observou-se também a necessidade de realizar o revenimento pós têmpera para aliviar as tensões internas geradas após a transformação martensítica.

Diante de todas as informações e comparações levantadas no presente estudo, foi concluído que o aço SAE 8620 apresenta todas as características para a utilização na redução do efeito do desgaste abrasivo em componentes de máquinas agrícolas, por se destacar positivamente quanto a propriedades mecânicas, composição química, dureza superficial, desgaste por abrasão e processamento.

6 TRABALHOS FUTUROS

Com objetivo de incentivar a continuidade da pesquisa em relação ao desenvolvimento de uma liga metálica destinada a redução do desgaste abrasivo de componentes de máquinas agrícolas, são deixadas a seguir algumas sugestões:

- Determinar percentuais de austenita retida e verificar a reprodutibilidade dos resultados satisfatórios com aço SAE 8620;
- Analisar o tamanho do grão após a cementação no aço SAE 8620 e sua influência na resistência mecânica do aço.
- Utilizar outros aços de composição química diferente para estudar o comportamento do mesmo perante a cementação e determinar a relação custo-benefício.

7 REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NB-66: **Conceituação e Normalização das Máquinas Agrícolas**. Rio de Janeiro: ABNT, 1978.
- ASHBY, M. F. **Seleção de materiais no projeto mecânico**. 4ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.
- ASM HANDBOOK. **Friction, lubrication and wear technology**. v.18. Tribology International. Materials Park: ASM International (American Society for Metals), 1995.
- BIRCK, L. P. **Análise do comportamento do tamanho do grão dos aços baixo carbono, baixa liga e microligado cementados em elevadas temperaturas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2019.
- CALLISTER, W. D., **Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução**. John Wiley & Sons, Inc., 2006.
- CHAGAS, G. S. ALONÇO, A. S. FRANCETTO, T.R. CARPES, D. Processo de fabricação de máquinas agrícolas. **Revista Cultivar**. [S.l.] ed. 159, maio, 2020. Disponível em < <https://revistacultivar.com.br/artigos/processo-de-fabricacao-de-maquinas-agricolas> > Acesso em: 06 jun 2022.
- CHIAVERINI, V. **Aços e Ferros Fundidos**. 7. ed. São Paulo: ABM, 2008a.
- CHIAVERINI, V. **Tratamento Térmico das Ligas Metálicas**. São Paulo: AMB, 2008b.
- FERTIG, B. L. **Estudo experimental da cementação sólida em engrenagens cilíndricas de dentes reto (módulo 2) de aço SAE 8620**. Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Federal de Santa Catarina, Jaraguá, 2021.
- GOV. **Valor da produção agrícola nacional tem recorde em 2020**. Brasília, 2021. Disponível em < <https://www.gov.br/pt-br/noticias/agricultura-e-pecuaria/2021/09/valor-da-producao-agricola-nacional-tem-recorde-em-2020-com-r-470-5-bilhoes> > Acesso em 06 mai.2022.
- IBGE. Instituto de Geografia e Estatística. **A produção agrícola municipal: culturas temporárias**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-epermanentes.html?=&t=destaques> >. Acesso em: 07 mai.2022.

IBGE. Instituto de Geografia e Estatística. **Formosa do Rio Preto**. Disponível em < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/formosa-do-rio-preto/pesquisa/24/76693> > Acesso em 06 mai. 2022.

IKEDA. Implementos. Disponível em: <<https://ikedaimplementos.com.br/>> Acesso em 11 nov. 2022

JOHN DEERE. Máquinas e Equipamentos agrícolas. Disponível em < <https://www.deere.com.br/pt/equipamentos/> > Acesso em: 05 dez. 2022.

LAMPMAN, S. Introduction to Surface Hardening of Steels. **ASM Handbook Heat Treating**, v. 4, ASM International, p. 607-625, 1991.

LIMA, L. S. P. de; FRAGA, F. E. N. **Estudo teórico da influência do tempo de tratamento na cementação sólida e do uso do carbonato de cálcio como ativador em aços**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência e tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2017.

MAGRO, T.; CAVICHIOLI, F. A. **Uso de implementos agrícolas**. SIMTEC - Simpósio de Tecnologia da Fatec. Taquaritinga, v. 4, n. 1, p. 13 -14, maio, 2018.

ONDEI, Vera. Nem a pandemia de Covid-19 para o agronegócio brasileiro. **FORBES**, ed.80, setembro, 2020. Disponível em: < <https://forbes.com.br/negocios/2020/12/nem-a-pandemia-de-covid-19-para-o-agronegocio-brasileiro/> >. Acesso em: 06 mai. 2022.

ONU. Organização das Nações Unidas no Brasil. **População mundial deve chegar a 9,7 bilhões de pessoas em 2050, diz relatório da ONU**. Brasília, 2019. Disponível em: < <https://brasil.un.org/pt-br/83427-populacao-mundial-deve-chegar-97-bilhoes-de-pessoas-em-2050-diz-relatorio-da-onu> />. Acesso em: 06 mai. 2022.

PINEDO, Carlos E. **Tratamentos térmicos superficiais de aços**. São Paulo: Editora Blucher, 2021. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786555062212/>>. Acesso em: 01 abr. 2022.

Quimis, **Forno mufla microprocessado**. Disponível em < <https://www.quimis.com.br/produtos/detalhes/forno-mufla-microprocessado> > Acesso 11 nov. 2022.

SANTOS, Givanildo Alves. **Tecnologia dos Materiais Metálicos**: propriedades, estruturas e processos de obtenção. São Paulo. Editora Saraiva, 2015. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536532523/>>. Acesso em: 01 jun. 2022.

SANTOS, G. P.; CAETANO, V.G.; KIECKOW. F. **Cementação sólida no aço SAE 8620**. In: XXVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia, 28., 2017, Ijuí. Disponível em: < <https://publicacoeseventos.unijui.edu.br> > Acesso em: 11 nov. 2022.

SEI. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. **Safra baiana de grãos baiana pode alcançar 11,1 milhões de toneladas em 2022**. Salvador, 2021. Disponível em < <https://www.sei.ba.gov.br/> >. Acesso em: 21 abr. 2022.

SEI. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. **PIB do agronegócio baiano cresce 5,1% no terceiro trimestre de 2021**. Salvador, 2017. Disponível em < <https://www.sei.ba.gov.br/> >. Acesso em: 03 mai. 2022.

SENAR. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. **Mecanização**: operação de tratores agrícolas. Brasília: SENAR, 2017. Disponível em: <<https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/177-OPERA%C3%87%C3%83O-DE-TRATORES.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2021.

SILVA FILHO, L. P. Análise Preditiva do óleo lubrificante usado em sistemas automotivos de equipamentos e maquinário pesado. **Revista Gestão Industrial**, Ponta Grossa, v. 16, n. 1, p. 40-63, 2020. Disponível em: <<http://periodicos.utfpr.edu.br/revistagi>>. Acesso em: 06 mai. 2022.

SILVA, Rui Correia da. **Máquinas e Equipamentos Agrícolas**. São Paulo: Editora Saraiva, 2014. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536530994/>>. Acesso em: 21 mai. 2022

SOBENKO, Luiz R. *et al.* **Máquinas e Mecanização Agrícola**. Porto Alegre: SAGAH, 2021. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786556902968/>>. Acesso em: 27 mai. 2022.

SOUZA, Sérgio Augusto D. **Composição química dos aços**. São Paulo: Editora Blucher, 1989. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521216490/>>. Acesso em: 22 mai. 2022.