



Michel Willian Busanello

**ESTUDO DE DESGASTE NA SUPERFÍCIE DE HELICÓIDES
TRATADOS POR TÊMPERA POR INDUÇÃO E CROMAGEM**

Horizontina

2012

Michel Wíllian Busanello

**ESTUDO DE DESGASTE NA SUPERFÍCIE DE HELICÓIDES
TRATADOS POR TÊMPERA POR INDUÇÃO E CROMAGEM**

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 Horizontina.

ORIENTADOR: Richard Thomas Lermen, Doutor.

Horizontina

2012

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

**“Estudo de desgaste na superfície de helicóides tratados têmpera por indução
e cromagem”**

Elaborada por:

Michel Willian Busanello

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Mecânica

**Aprovado em: 30/11/2012
Pela Comissão Examinadora**

**Prof. Dr. Richard Thomas Lermen
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

**Prof. Esp. Vilmar Bueno Silva
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Prof. Esp. Valmir Vilson Beck
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Prof. Me. Anderson Dal Molin
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica - FAHOR**

**Horizontina
2012**

DEDICATÓRIA.

Dedico esta conquista a todos meus familiares e amigos, que de muitas formas me incentivaram à realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS.

À Deus pelas oportunidades.

À minha família pela força e carinho.

Ao meu orientador Richard Thomas Lermen, pelo esforço, paciência e sabedoria nas orientações durante o desenvolvimento deste trabalho.

E por fim, a todos os colegas, amigos e professores que me incentivaram ao longo deste período.

"A vida é aquilo que acontece enquanto fizemos planos para o futuro." (John Lennon)

RESUMO

O estudo em pauta descreve uma análise comparativa entre helicóides que tem fabricação de sua espira com dois diferentes materiais e dois diferentes processos de tratamento de superfície. Ao todo, foram comparadas 3 amostras, a primeira sendo caracterizada pela utilização do Aço comum NBR8300, a segunda pelo Aço SAE 15B30 com processo de aplicação de têmpera superficial por Indução Eletromagnética e a terceira, pelo mesmo material NBR8300 com aplicação de processo de galvanização de cromagem. Para a realização deste comparativo, as amostras dos corpos de prova foram submetidos a ensaio de desgaste, a fim de se verificar sua resistência mecânica ao atrito. Posteriormente, para maior embasamento e conhecimento das características apresentadas pelos materiais com seus respectivos processos de tratamento de superfície, foram realizados ensaios metalográficos e de dureza, com o intuito de verificar de forma mais específica a qualidade dos tratamentos de superfície aplicados, para conseqüentemente analisar a possibilidade e viabilidade da homologação do novo material. Através dos ensaios de desgaste, foi possível a análise e comparação das resistências ao desgaste por atrito. Os resultados obtidos nos ensaios permitem afirmar que o aço SAE 15B30 com processo de aplicação de têmpera por indução pode substituir o aço NBR 8300 cromado atualmente utilizado em helicóides de colheitadeiras, uma vez que obteve resultados superiores nos ensaios realizados, de forma principal no ensaio de desgaste.

Palavras-chave:

Indução Eletromagnética - Cromagem - Ensaio de Desgaste.

ABSTRACT

The study in question describes a comparative analysis between manufacturing loop helices in two different materials and two different surface treatment processes. At all, three specimens were compared, the first being characterized by the use of common steel NBR8300, the second SAE15B30 being surface hardening applied by electromagnetic induction and the third, same material NBR8300 applying the electroplating process for chroming. To perform this comparison, the specimens were subjected to wear test to check their to friction mechanical resistance. After these processes, for greater foundation and knowledge of characteristics presented by the processes of surface treatment on materials, tests were performed metallographic and hardness, in purpose to ascertain more specifically the quality of the surface treatments applied, to then examine the possibility and feasibility of approval of the new material. Through the wear tests, it was possible to analyze and compare the resistance to wear by friction. The test results obtained allow analysis that the steel SAE15B30 with proceeding of induction hardening can replace NBR8300 chromed steel, currently used in helicoids of combines, once superior results were obtained in the tests, mainly on the wear test.

Keywords:

Electromagnetic Induction – Chrome – Wear Tests.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Helicóides e sentido de fluxo dos cereais.	15
Figura 2 - Representação esquemática do processo de eletrodeposição.	17
Figura 3 - Distribuição de corrente no processo de eletrodeposição.	18
Figura 4 - Fluxograma do processo de galvanoplastia.	19
Figura 5 -Exemplos de campos magnéticos e correntes induzidas por bobinas de indução.	21
Figura 6 - Desenho esquemático representando a técnica de têmpera por indução.	22
Figura 7 - Formas típicas de bobinas para indução de alta freqüência.	23
Figura 8 - Identificação dos pontos de medição da altura e espessura da espira.	28
Figura 9 -Projeção da bancada para ensaios de desgaste.	29
Figura 10 - Gráfico de desgaste de espessura do material NBR 8300.	32
Figura 11 - Gráfico do desgaste de altura do material NBR 8300.	33
Figura 12 - Gráfico do desgaste de espessura do material SAE 15B30 temperado por indução.	34
Figura 13 - Gráfico do desgaste de altura do material SAE 15B30 temperado por indução.	35
Figura 14 - Gráfico do desgaste de espessura do material NBR 8300 cromado.	36
Figura 15 - Gráfico do desgaste de altura do material NBR 8300 cromado.	37
Figura 16 - Gráfico de dureza em relação a distância da borda da espira do caracol.	39
Figura 17 - Micrografia do material NBR 8300.	40
Figura 18 - Análise metalográfica do aço SAE 15B30.	41
Figura 19 - (a) Metal base. (b) Cromo duro.	42

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resultados do ensaio de desgaste de espessura do material NBR 8300.....	31
Quadro 2 - Resultados do ensaio de desgaste de altura do material NBR 8300.....	32
Quadro 3 - Resultados do ensaio de desgaste de espessura do material SAE 15B30 temperado por indução.	33
Quadro 4 - Resultados do ensaio de desgaste de altura do material SAE 15B30 temperado por indução.	34
Quadro 5 - Resultados do ensaio de desgaste de espessura do material NBR 8300 cromado.....	35
Quadro 6 - Resultados do ensaio de desgaste de altura do material NBR 8300 cromado. ...	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química do material NBR 8300.....	26
Tabela 2 - Composição química do material SAE 15B30.....	26
Tabela 3 - Identificação dos corpos de prova e sequência para ensaios.....	27
Tabela 4 - Resultado do ensaio de dureza do material SAE 15B30 Temperado Indução	38

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. OBJETIVOS	13
1.1.1. Objetivo Geral.....	13
1.1.2. Objetivos Específicos	13
2. REVISÃO DALITERATURA	14
2.1. TRANSPORTADORES HELICOIDAIS PARA CEREAIS	14
2.1.1. Helicóide	14
2.2. TRATAMENTO SUPERFICIAL DE CROMAGEM	16
2.2.1. Descrição do Processo.....	16
2.2.2. Características do Processo	17
2.2.3. Vantagens do Processo.....	18
2.2.4. Desvantagens do Processo	19
2.3. TRATAMENTO SUPERFICIAL DE TÊMPERA POR INDUÇÃO	20
2.3.1. Descrição do Processo.....	20
2.3.2. Características do Processo	23
2.3.3. Exemplos de Aplicação	24
2.3.4. Vantagens do Processo.....	24
3. MATERIAIS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS	26
3.1. MATERIAIS	26
3.1.1. Materiais dos Corpos de Prova	26
3.1.2. Dimensões dos Corpos de Prova	26
3.1.3. Identificação dos Corpos de Prova	27
3.1.4. Medição dos Ensaios de Desgaste	27
3.2. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NOS ENSAIOS	28
3.2.1. Ensaios de Desgaste	28
3.2.2. Ensaios Metalográficos e de Dureza	29
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	31
4.1. ENSAIOS DE DESGASTE.....	31
4.1.1. Ensaio do Material NBR 8300.....	31
4.1.2. Ensaio do Material SAE 15B30 Temperado por Indução	33
4.1.3. Ensaio do Material NBR 8300 Cromado	35
4.1.4. Análise dos Ensaios de Desgaste	37
4.2. ENSAIO DE DUREZA SUPERFICIAL	37
4.3. ENSAIO METALGRÁFICO.....	39
5. CONCLUSÕES	43
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
APÊNDICE A – CARACÓIS UTILIZADOS NO ENSAIO DE DESGASTE	46
ANEXO A – DIMENSÕES DOS CORPOS DE PROVA	48

1. INTRODUÇÃO

Localizados na estrutura funcional da colheitadeira, os helicóides em estudo realizam o transporte dos grãos oriundos das peneiras de separação. Ao serem liberados do conjunto de limpeza, os grãos concentram-se em uma espécie de calha para que se torne possível que o helicóide exerça sua função, o transporte de forma horizontal e retilínea dos grãos até o ponto de descarregamento, liberando os grãos em sua extremidade oposta na base do elevador, que realiza o transporte vertical para armazenagem no tanque graneleiro (DE PARIS, 2004).

O trabalho de movimentação é realizado pela rotação do helicóide que em um fluxo contínuo, conduz os grãos ao longo da espira por meio do atrito, conforme Milman (2002). Desta forma, o atrito existente no movimento relativo entre o material em transporte e as faces da espira do helicóide faz com que haja um desgaste da superfície do material por abrasão.

No contexto de aceleração no processo de desgaste da superfície no material, é passível de destaque de forma impactante e negativa a cultura do arroz, cereal com alto poder de abrasão e que tem influência decisiva na resistência ao desgaste do material a ser utilizado na fabricação da espira.

Neste aspecto, a espira dos helicóides objetos da análise tem sua espira constituída de Aço NBR8300 com aplicação de tratamento superficial de cromatização, os quais atualmente resistem às solicitações impostas pelos cereais na etapa de transporte, sendo considerado um ponto negativo do atual conjunto a característica idealizada de elevado custo final do helicóide.

Para os benefícios ligados ao setor industrial, o presente trabalho justifica-se pela necessidade de redução nos custos despojados na fabricação das soluções de tecnologia desenvolvidas pelas empresas do ramo do agronegócio para auxiliar e facilitar o trabalho do homem do campo, visando à viabilização da produção, inserindo a empresa de forma competitiva no mercado, melhorando a margem de lucro ou diminuindo o preço de comércio dos mesmos, incentivo às vendas e a produção.

Neste contexto, o estudo detalhado de um processo, desde seus primórdios, bem como as suas características, benefícios e aplicações, é de suma importância para o desenvolvimento do setor de máquinas agrícolas, sempre no intuito de melhorar as características mecânicas, vida útil do equipamento e menores custos,

por conseqüência visando maior viabilidade de produção e diminuição dos impactos causados ao meio ambiente desde a fabricação, passando pelo ciclo de vida até o descarte do produto.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Desenvolver um estudo de viabilidade da homologação de transportadores helicoidais com fabricação em Aço SAE15B30 com processo de têmpera por indução.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Analisar o material e processo atual da empresa, bem como suas vantagens e desvantagens;
- Avaliar o processo de têmpera por indução, suas características, vantagens e desvantagens;
- Elaborar testes comparativos de resistência, por meio de ensaios de desgaste em corpos de prova dos materiais NBR 8300 e SAE 15B30;
- Elaborar testes metalográficos para análise qualitativa das propriedades dos materiais;
- Elaborar testes de dureza;
- Demonstrar qualitativamente a viabilidade de uso de novo material e processo de tratamento do material, com base nos dados da análise de resistência, microestrutura e dureza.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura apresenta a fundamentação teórica do processo de tratamento superficial por recobrimento de material (galvanização) e do processo de alteração de microestrutura (indução), bem como os fundamentos de ensaios para comparação dos processos, e análise de micrografia.

2.1. TRANSPORTADORES HELICOIDAIS PARA CEREAIS

São transportadores equipados de rosca ou helicóide são utilizados para o transporte nos planos horizontal e inclinados, cujo sentido do transporte é consequência do sentido de rotação e do tipo de helicóide, passo esquerdo ou direito, sendo que a movimentação dos grãos em transporte é realizada por arraste, devido ao giro do helicóide (MILMAN, 2002).

Estes tipos de transportadores são adaptações dos antigos sistemas de transportar água, atribuídos a Arquimedes. Constituem-se de uma rosca helicoidal construída de chapa metálica, e de um eixo que pode ser de material maciço ou tubular. Esta helicóide se aloja em uma caixa circular, ou com pelo menos o fundo em forma semicircular e se apoiam em mancais nas extremidades da caixa ou tubo, ou em sistemas com maiores dimensões, com a utilização de mancais intermediários (DE PARIS, 2004).

2.1.1. Helicóide

Também denominados de rosca sem-fim, são transportadores fixos ou portáteis que basicamente, são compostos por uma espira montada em um eixo, que ao girar, realizam o transporte de produtos (PUZZI, 2000).

Milman (2002) descreve que o eixo utilizado na construção do conjunto helicóide refere-se à utilização de tubos mecânicos com diâmetro externo total compatível, ou seja, diâmetro ligeiramente inferior ao diâmetro interno da espira, permitindo a alocação do eixo no interior da espira.

Ainda para o mesmo autor, as espiras são fitas geralmente fabricadas em chapas de aço conformadas por um processo de perfilação, com passo igual ao diâmetro externo para a utilização no transporte de grãos, respeitando uma folga máxima de 5 a 10 mm entre o helicóide e a calha, com o intuito de não causar danos mecânicos aos grãos em transporte. A Figura 1 apresenta algumas características

funcionais dos helicóides, considerando o sentido de giro, o passo e o sentido de fluxo dos cereais resultantes.

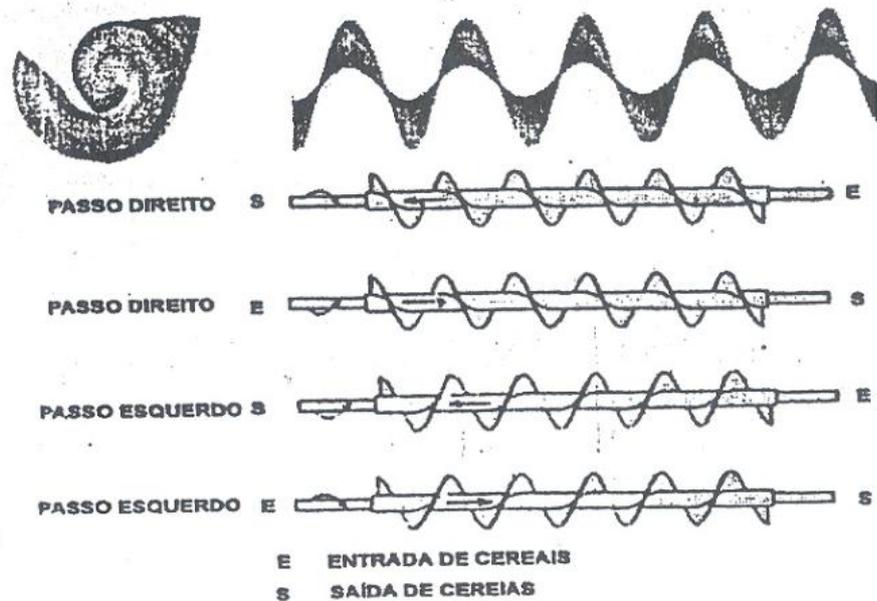


Figura 1 - Helicóides e sentido de fluxo dos cereais.

Fonte: Adaptado de Milman, 2002 p. 106.

Em suas características funcionais e de projeto, os eixos utilizados na construção de conjuntos helicoidais são dimensionados de forma a levarem em consideração apenas os esforços gerados por torção, porque quando em regime de trabalho o helicóide flutua sobre o grão, não provocando solicitação de flexão (MILMAN, 2002).

No quesito diâmetro externo da helicóide, De Paris (2004), define que este depende da dimensão dos pedaços da carga a transportar. Este diâmetro deve ser no mínimo doze vezes maior que o tamanho dos pedaços a transportar se o material é homogêneo ou quatro vezes maior que a dimensão máxima dos pedaços no caso de material não classificado.

Para a rosca, normalmente o passo é igual ao seu diâmetro, sendo esta a configuração considerada como padrão, por ser útil e eficiente para uma ampla gama de materiais, na maioria das aplicações convencionais, porém podendo variar conforme as utilizações, indo de passo menor para planos inclinados a passo variável para cargas e descargas mais uniformes (DE PARIS, 2004).

2.2. TRATAMENTO SUPERFICIAL DE CROMAGEM

Caracterizado por um processo de revestimento metálico de forma uniforme e livre de poros, a eletrodeposição ou galvanoplastia forma camadas superficiais de espessura fina pela deposição de metais como o cromo na superfície do material base. A princípio, a eletrodeposição é um fenômeno inverso ao da corrosão, devido ao fato que na corrosão um metal é dissolvido na solução, enquanto na eletrodeposição um metal é depositado na peça a partir da solução (CHIAVERINI, 1986).

2.2.1. Descrição do Processo

Juvenois apud Siviero (2007), afirma que a eletrodeposição deve fornecer a um substrato a aderência de depósitos metálicos de forma ideal, de modo a apresentar neste uma série de propriedades físicas, químicas ou mecânicas pré-determinadas. Estes revestimentos são obtidos a partir da redução dos correspondentes íons metálicos, a qual é realizada com o auxílio de energia elétrica. Trata-se, portanto, de um sistema experimental, denominado sistema eletroquímico, no qual se transforma de forma controlada, energia elétrica em energia química. Sendo assim, são listados os componentes básicos deste sistema:

- a) Banho eletrolítico (eletrólito): solução que atua como condutor iônico, contendo um sal condutor, o metal a ser depositado em forma solúvel, reguladores de PH, aditivos, entre outros componentes. É importante que o banho eletrolítico seja estável em um amplo período de tempo para assegurar a reprodutibilidade do depósito, mesmo em substratos de geometria mais complexa.
- b) Cátodo: condutor elétrico a ser recoberto, também caracterizado como substrato. Geralmente, pode-se trabalhar com uma grande variedade de substratos, em condições que serão escolhidas em função das propriedades e características que previamente foram fixadas para o revestimento;
- c) Ânodo: também condutor elétrico, que pode ser solúvel (ânodo de sacrifício) ou insolúvel (ânodo inerte);
- d) Tanque: recipiente inerte que contém os elementos descritos anteriormente;
- e) Retificador/transformador: fonte de corrente contínua.

A Figura 2 traz uma representação esquemática do processo de eletrodeposição.

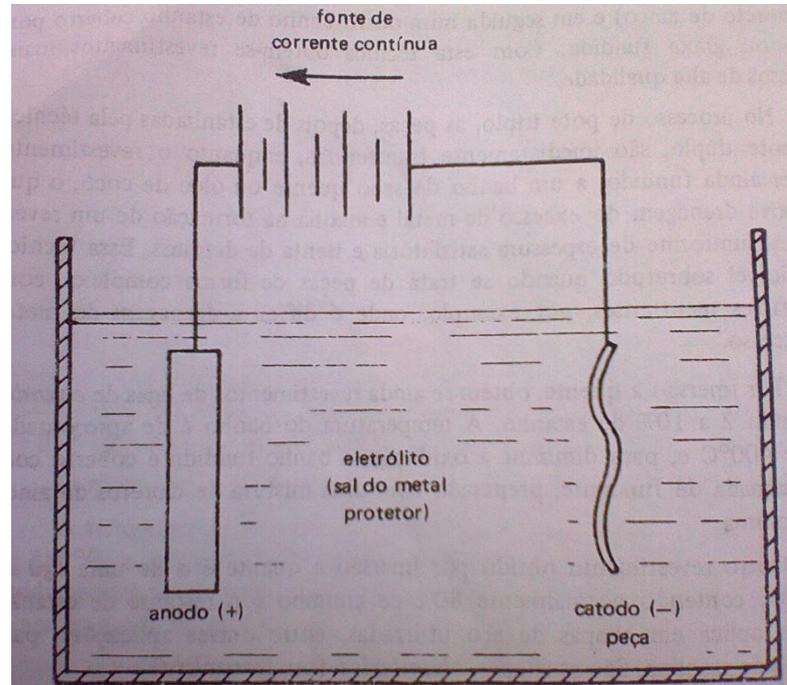


Figura 2 - Representação esquemática do processo de eletrodeposição.

Fonte: Adaptado de Chiaverini, 1986 p. 274.

2.2.2. Características do Processo

A utilização da tecnologia da galvanização tem base em uma série de processos semelhantes para todos os metais base, diferindo somente em detalhes de operações. Em todos os tratamentos de superfície metálica, a superfície a ser recoberta deve estar limpa, isto é, isenta de qualquer substância estranha, tornando-se esta condição fundamental para que se consiga um revestimento de boa aderência, aplicação uniforme e boa aparência. O processo de preparação da superfície consiste, basicamente, das seguintes etapas (CPRH apud COLARES et al, 2010):

- Acabamento mecânico;
- Remoção de óleos e graxas (desengraxe);
- Remoção de camada de óxido (decapagem).

Siviero (2007), descreve que ao realizar o processo de eletrodeposição, deseja-se aplicar camadas uniformes de cromo sobre toda superfície significativa da

peça com o intuito de alcançar um bom desempenho de vida em serviço previsível e suprir as especificações que definem espessuras mínimas em determinados pontos da superfície. Como a quantidade de metal depositado sobre qualquer objeto submetido à eletrodeposição é proporcional à corrente que alcança a superfície deste, conseqüentemente as áreas rebaixadas recebem menos corrente, resultando em uma taxa de deposição inferior nas áreas rebaixadas em relação aos pontos do plano da superfície da peça. A Figura 3 traz a distribuição da corrente no processo de eletrodeposição.

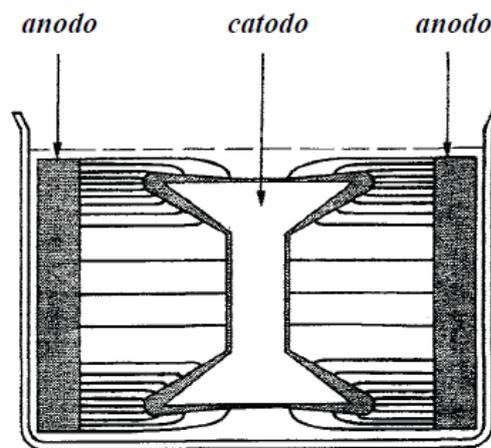


Figura 3 - Distribuição de corrente no processo de eletrodeposição.

Fonte: Adaptado de Siviero, 2007 p. 23.

Em contrapartida, a espessura e a distribuição do depósito no cátodo podem ser controladas através da forma com que as peças são dispostas no eletrólito, pelo uso de dispersores de corrente, blindagem e anodos auxiliares. Em um projeto, deve-se atentar para o tratamento superficial pelo qual a peça será submetida, pois a geometria da mesma irá influenciar o cumprimento dos requisitos mínimos de espessura de camada para um determinado artigo (DI BARI apud SIVIERO, 2007).

2.2.3. Vantagens do Processo

Pasqualini apud Colares et al. (2010), afirma que os objetivos da utilização do tratamento de superfície em substratos base, são a proteção à corrosão, acabamentos decorativos e acabamentos para fins funcionais. Como principais razões para a utilização da eletrodeposição galvânica sobre peças metálicas, são

passíveis de destaque a prevenção da corrosão do material base, promoção de resistência ao desgaste e a incidência de mancha, mudança do coeficiente de atrito e das propriedades elétricas superficiais, previne a carbonização e melhora a aparência.

2.2.4. Desvantagens do Processo

A galvanoplastia ou eletrodeposição é caracterizado como um processo químico que consiste no depósito de finas camadas de um metal sobre superfícies de corpos metálicos ou não, por meios químicos ou eletroquímicos, a partir de soluções aquosas que contêm metais, tais como o cromo, envolvendo basicamente uma sequência de banhos nas etapas de pré-tratamento, revestimento e de conversão da superfície (COSTA apud COLARES et al., 2010).

Colares et al (2010), complementa que a indústria de galvanização é caracterizada pelo excessivo consumo de água e energia, pela geração de efluentes, de ordem líquida ou emissões gasosas, que contém uma concentração de metais pesados, geralmente oriundas de perdas por evaporação dos banhos aquecidos nos tanques, além dos resíduos sólidos gerados no preparo dos materiais a serem galvanizados.

A Figura 4 mostra algumas etapas do processo de galvanoplastia com potencial de geração de efluentes.

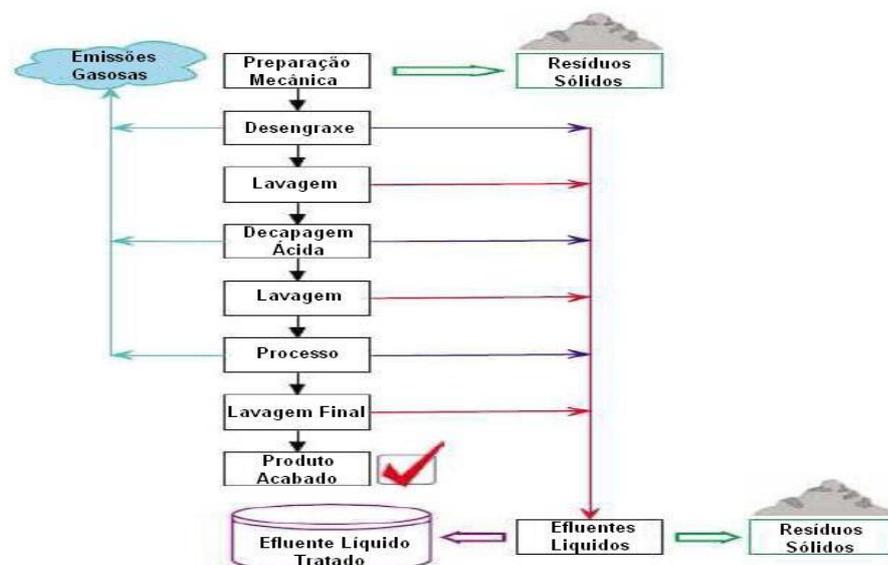


Figura 4 - Fluxograma do processo de galvanoplastia.

Fonte: Adaptado de Colares et al., 2010 p. 3.

Conforme Pacheco apud Colares et al. (2010), os efluentes líquidos oriundos da galvanoplastia são resultantes das operações de limpeza de peças brutas, das soluções perdidas ou arrastadas durante o processo, do eventual descarte das soluções dos tanques de banho, das águas de lavagem do piso e, principalmente, do descarte das águas de enxágue das peças retiradas dos banhos eletroquímicos. A elevada carga tóxica dos efluentes líquidos gerados é composta, principalmente, por sais de cianeto e metais pesados que possam estar presentes na forma solúvel e insolúvel.

2.3. TRATAMENTO SUPERFICIAL DE TÊMPERA POR INDUÇÃO

O tratamento térmico por indução eletromagnética é, sem dúvida, um dos mais efetivos processos de tratamentos térmicos em prática na atualidade para uma variedade de aplicações, incluindo têmpera total, têmpera superficial, revenimento, alívio de tensões, recozimento, normalização e sinterização de metais pulverizados, entre outros (RUDNEV et al. apud FERREIRA, 2004).

Na maioria dessas aplicações, o tratamento térmico por indução eletromagnética é usado somente em locais selecionados da peça a ser tratada. Além de reduzir o desgaste, pode afetar a resistência natural do material, tornando-o quebradiço. Esse processo é executado em um tempo muito curto e com alta eficiência porque a energia é somente aplicada na região requerida para tratamento térmico, o que promove alta produtividade, menos distorções na geometria da peça, permite o uso de menos espaço físico para instalação de equipamentos, impactando de forma positiva em benefícios ergonômicos e ambientais (LOVELESS et al. apud FERREIRA, 2004).

2.3.1. Descrição do Processo

Para Chiaverini (2002), o calor necessário para aquecer uma peça pode ser gerado na própria peça por meio da indução eletromagnética, onde, se uma corrente alternada flui através de um indutor ou bobina, estabelecendo um campo magnético fortemente concentrado, induzindo na peça envolvida pela bobina um potencial elétrico que gera um fluxo de corrente. O campo magnético gerado é exemplificado na Figura 5.

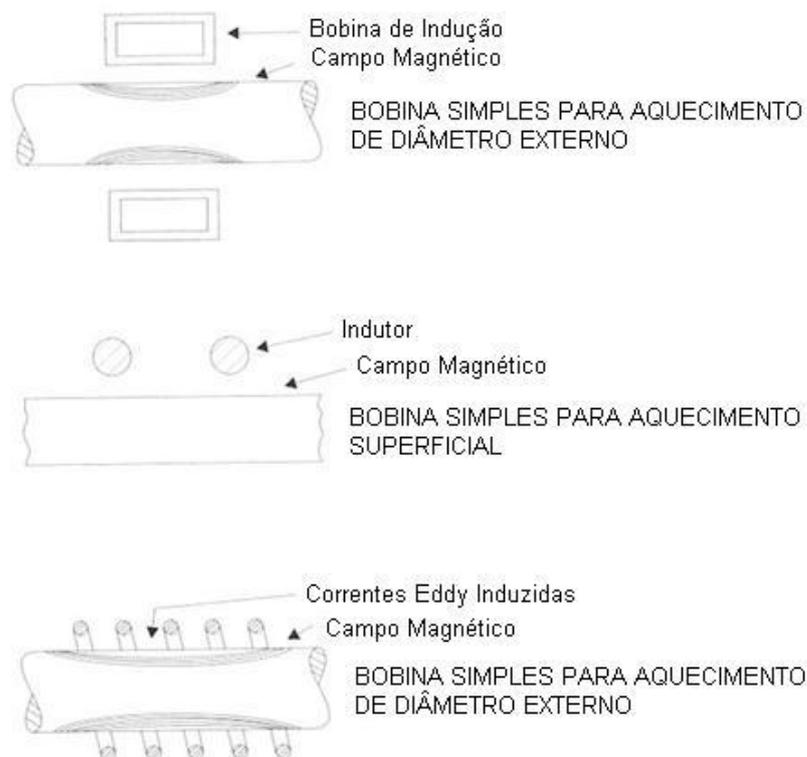


Figura 5 -Exemplos de campos magnéticos e correntes induzidas por bobinas de indução.

Fonte: Adaptado de Chiaverini, 2002 p. 123

Segundo Martins apud Macedo (2007), uma corrente elétrica alternada circulando através de um condutor produz sempre um campo magnético em volta deste condutor. Se a corrente circula em um condutor em forma de espiral e introduz-se um corpo metálico no campo magnético no interior do espiral, este campo gera no metal uma força eletromotriz induzida que produz uma corrente elétrica, injetando energia no sistema na forma do campo magnético, que em grande parte, será transformado em calor.

O aquecimento por indução é um processo utilizado para materiais condutores de eletricidade pela aplicação da variação de um campo magnético cujas linhas de força penetram a peça a ser aquecida. A variação do campo magnético induz uma diferença de potencial elétrico que gera uma corrente elétrica, que depende da forma e características elétricas da peça a ser aquecida (DAVIES apud BASTOS, 2009).

Chiaverini (2002), enfatiza que a velocidade do aquecimento gerado pelas bobinas de indução é variável da intensidade do campo magnético ao qual a peça é

exposta, ficando a velocidade do aquecimento diretamente relacionado às correntes induzidas e da resistência ao seu fluxo. Na Figura 6, mostra-se esquematicamente a técnica de aquecimento por indução, onde caracteriza-se por (a) o aquecimento da peça, e em (B), o resfriamento subsequente.

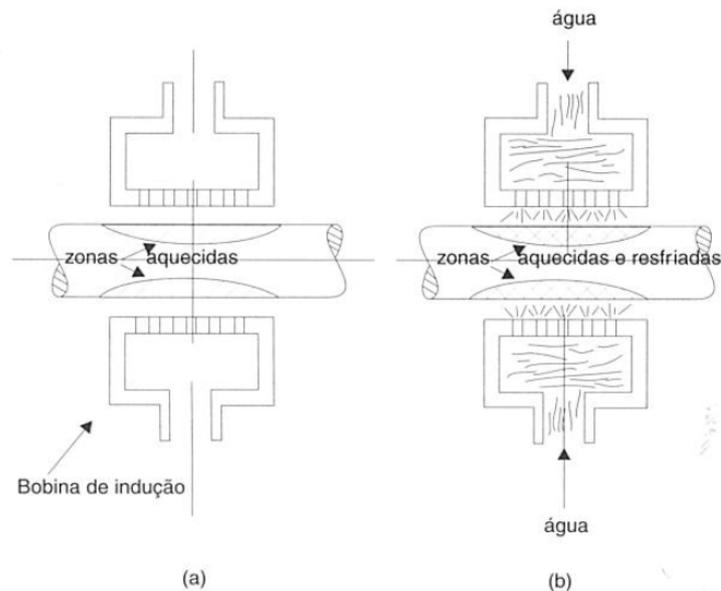


Figura 6 - Desenho esquemático representando a técnica de têmpera por indução.

Fonte: Adaptado de Chiaverini, 2002 p.124.

Conforme Bastos (2009), os componentes básicos de um sistema de aquecimento por indução são a bobina de indução, uma fonte de fornecimento de corrente alternada (AC) e a peça que receberá o aquecimento. A magnitude da corrente depende da resistência eletromagnética, da corrente aplicada e do número de espiras da bobina.

Chiaverini (2002), cita dois principais processos de aplicação do aquecimento superficial por indução:

- f) Têmpera simultânea: neste processo, a peça a ser temperada gira no interior da bobina até atingir a temperatura de aquecimento, então a corrente é desligada e a peça imediatamente resfriada por um jato de água.;
- g) Têmpera contínua: a peça realiza giro no interior da bobina ao mesmo tempo em que se move ao longo de seu eixo, de modo a se ter uma aplicação progressiva de calor. Neste modelo, o resfriamento ocorre a certa distância da bobina.

Conforme o mesmo autor, a Figura 7 mostra algumas formas típicas de bobinas para indução. O tipo (a) consiste em um solenóide para aquecimento externo; o tipo (b) representa bobina para aquecimento interno; o tipo (c) faz referência para utilização de elevada densidade numa estreita faixa da peça; o tipo (d) consiste numa bobina de uma única volta para aplicação em superfície giratória e o tipo (e) tem indicação para aquecimento localizado de superfícies planas.

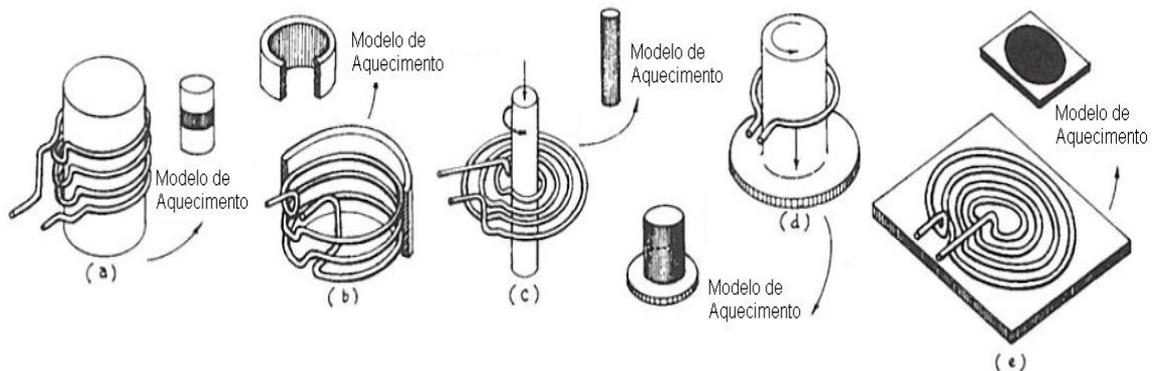


Figura 7 - Formas típicas de bobinas para indução de alta frequência.

Fonte: Adaptado de Chiaverini, 2002 p.124.

2.3.2. Características do Processo

De acordo com Chiaverini (1986), o objetivo principal da têmpera superficial é produzir um endurecimento superficial pela obtenção de martensita apenas na camada externa da peça. Este processo tem sua principal aplicação na têmpera de peças que necessitam de alta resistência ao desgaste superficial, aliadas a boa ductilidade e tenacidade no núcleo que não é atingido pelo aquecimento rápido da camada superficial da peça, devido ao controle da profundidade de aquecimento relacionando-se variáveis de forma de bobina, espaço entre a bobina de indução e a peça, taxa de alimentação da força elétrica, frequência e tempo de aquecimento.

Pode-se também para um maior controle da camada superficial a ser temperada, utilizar-se da variação no formato das bobinas, visto que estas podem ser facilmente construídas ou adaptadas ao formato das peças a serem tratadas. Posteriormente a este processo, o mesmo equipamento pode ser aproveitado para o revenimento de forma rápida e precisa a temperatura menor, com o objetivo principal de alívio das tensões geradas na têmpera inicial (CHIAVERINI, 1986).

Segundo ASM Metal Hand Book apud Ferreira (2004), a velocidade de aquecimento depende da intensidade do campo magnético bem como da resistência da peça ao fluxo de corrente induzida. A espessura da camada aquecida é tanto menor quanto maior a frequência aplicada à bobina, usualmente da ordem de 01 kHz a 01 MHz. Existem outros fatores que influenciam na espessura desta camada que são, por exemplo, a forma da bobina, a distância entre a bobina e a peça, o tempo de aquecimento e a condutividade térmica do material.

2.3.3. Exemplos de Aplicação

O processo de têmpera superficial por indução tem suas aplicações principais em aços endurecíveis, entre os quais podem ser destacados os seguintes (HASSEL apud CHIAVERINI, 2002):

- Aços de médio teor de carbono, como os aços 1030 e 1045, utilizados na indústria automobilística;
- Aços de alto teor de carbono, como o aço 1070, empregado na construção de ferramentas;
- Aços-liga empregados em mancais, válvulas e componentes de máquinas operatrizes.

2.3.4. Vantagens do Processo

Em uma análise referente ao ponto de vista de vantagens do processo de têmpera superficial por indução sobre a têmpera convencional, Hemer apud Pascoali (2008), faz a relação dos principais fatores impactantes:

- O aquecimento é tão rápido (alguns segundos na maioria dos casos), que a superfície praticamente não oxida, notando-se aspectos de certa modificação na cor;
- O aquecimento é perfeitamente uniforme e reproduzível de peça para peça, se houver um rigoroso controle de tempo de aquecimento;
- O aquecimento pode ser localizado, isto é, limitado com grande exatidão a determinadas áreas;
- A estrutura cristalográfica do aço se mantém inalterada (dureza de forja, fundição ou laminação), pois a têmpera atinge só a superfície;

- O calor é gerado na própria peça, objeto de tratamento. Isto ocorre sem qualquer contato com o indutor (bobina);
- A peça não fica deformada devido as forças produzidas na superfície não chegam a alterar a forma do núcleo, que permanece na temperatura inicial;
- O aquecimento indutivo proporciona a possibilidade de usar aços carbono comum na fabricação de diversas peças que, com o emprego de processos de tratamentos térmicos convencionais, deveriam ser feitos de aços especiais de alto teor de liga. Resulta disso uma grande economia na produção de certas peças;
- A área de aquecimento é limitada a superfície coberta pelo indutor;
- Pela variação de frequência, é possível controlar com absoluta precisão a penetração do aquecimento, sendo possível limitar o processo a uma fina camada superficial;
- A variação da frequência somada a do tempo de aquecimento permite obter infinitas combinações de tratamento térmico;
- Distorção mínima: a ausência quase absoluta de distorção durante a têmpera elimina operações posteriores de endireitamento e retífica;
- O processo garante alta dureza superficial, e tenacidade do núcleo, ideal para peças sujeitas a impacto;
- Além da têmpera é possível realizar revenimentos através de equipamentos para indução eletromagnética.

Bastos (2009), em uma análise comparativa com as técnicas de aquecimento em fornos, argumenta que o aquecimento por indução pode economizar energia e possibilitar maiores taxas de aquecimento do que as obtidas por convecção, radiação, condução, ou qualquer processo de aquecimento por chama, citando também outras vantagens do tratamento térmico por indução:

- Fácil automação e controle;
- Espaço reduzido de chão de fábrica;
- Condições de trabalho silencioso e limpo;
- Conveniência para integração na linha produção ou área de trabalho em geral para eliminar calor radiado.

3. MATERIAIS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS

A apresentação dos materiais e métodos pode ser dividida em três etapas: a realização prática dos testes de ensaio de desgaste em bancada de testes, seguida de análise metalográfica e ensaio de dureza. Foram ensaiados, pelo método de desgaste corpos de prova dos Aços NBR 8300 (comum e recoberto por cromagem) e o aço SAE 15B30 com tratamento térmico de indução. Ao total nove corpos de prova foram ensaiados, os quais foram divididos em quantidades iguais de três unidades de cada material.

3.1. MATERIAIS

3.1.1. Materiais dos Corpos de Prova

Os materiais utilizados na fabricação dos caracóis para corpos de prova foram chapas de aço NBR 8300 e aço SAE 15B30, os quais tem a composição química do material mostrado respectivamente na Tabela 1 e Tabela 2.

Tabela 1 - Composição química do material NBR 8300

NBR 8300			
Elementos	Carbono	Fósforo	Enxofre
Teor Máx. (%)	0,350	0,040	0,050

Fonte: Adaptado de NBR 8300, 1983, p. 2.

Tabela 2 - Composição química do material SAE 15B30

SAE 15B30												
Elementos	Carbono		Manganês		Silício		Fósforo		Enxofre		Boro	
	Mín	Máx.	Mín	Máx.	Mín	Máx.	Mín	Máx.	Mín	Máx.	Mín	Máx.
Teores (%)	0,27	0,35	0,70	1,20	0,15	0,35	-	0,03	-	0,05	0,0005	0,003

Fonte: Adaptado de SAE J1268, 1995, p. 3.

3.1.2. Dimensões dos Corpos de Prova

As dimensões dos caracóis de corpos de prova, bem como suas especificações de materiais estão representadas no Anexo A (Figuras 1A, 2A e 3A).

Os corpos de provas foram fabricados com formas geométricas que buscam atender as características da bancada de ensaios, ficando definido o padrão de diâmetro externo da espira em 157 mm, diâmetro interno da espira em 42,2 mm e passo de 160 mm. A dimensão total de comprimento da espira é de 3 passos, ou seja, 480 mm.

3.1.3. Identificação dos Corpos de Prova

Para pontos de identificação dos corpos de prova no momento dos ensaios, foi definida a numeração como ordem crescente, ficando a numeração zero para o caracol 6260700M91, um para o caracol 6260701M91 e dois para o caracol 6260702M91. Para assegurar a identificação dos corpos de prova em ensaio, os mesmos receberam sufixos com letras em sequência. Sua denominação e a sequência de ensaios é visualizada na Tabela 3.

Tabela 3 - Identificação dos corpos de prova e sequência para ensaios

Nº	Código Caracol	Identificação	Sequência Ensaio
0	6260700M91	0A	1
0	6260700M91	0B	2
0	6260700M91	0C	3
1	6260701M91	1A	4
1	6260701M91	1B	5
1	6260701M91	1C	6
2	6260702M91	2A	7
2	6260702M91	2B	8
2	6260702M91	2C	9

3.1.4. Medição dos Ensaios de Desgaste

A medição das folgas de altura e espessura ocorreram em intervalos de 8 minutos. Foi definido o ponto inicial, marcado por 0°, e sucessivamente os ângulos de 45°, 90°, 135° e 180°.

Partindo da medição de verificação inicial (0 minutos), nos pontos formados pelos ângulos foram verificadas as medidas de altura e espessuras nos períodos

seguintes, nos tempos de 8, 16, 24, 32 e 40 minutos para todos os ângulos, resultando em 6 momentos de medições em cada corpo de prova em um intervalo total de ensaio de 40 minutos.

Para padronização do método de medição, ficou definida para medição da altura da espira a utilização da borda das duas espiras adjacentes para apoio de régua, possibilitando a medição das variações da dimensão por meio da utilização de um calibrador de lâminas, com divisões de 0,05 mm. Na medição da espessura, a padronização foi definida pela realização das medições a uma distância de 5 mm da borda da espira nos ângulos, desta forma eliminando possíveis distorções das medições por ocorrência de chanfros na borda da espira. Na Figura 8, pode-se identificar a forma definida dos pontos de medição, bem como a representação do apoio da régua para auxílio na medição da altura da espira.

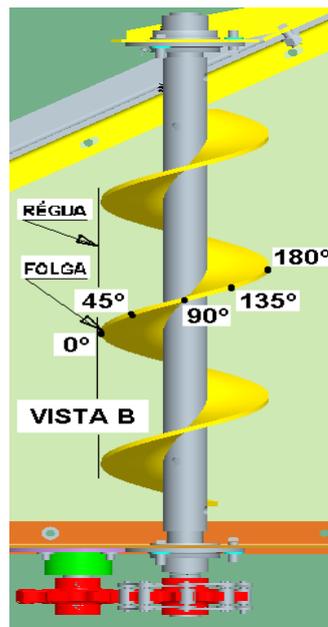


Figura 8 - Identificação dos pontos de medição da altura e espessura da espira.

3.2. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NOS ENSAIOS

Para a efetiva realização dos ensaios e o posterior encontro de resultados de confiabilidade ao objetivo proposto, foi utilizado bancada de testes para ensaios de desgaste, laboratório de materiais para análise de metalografia e de dureza.

3.2.1. Ensaio de Desgaste

Os ensaios de desgaste foram realizados no laboratório de protótipos da AGCO América do Sul, da planta de Canoas - RS. Os caracóis foram testados individualmente na bancada de ensaios específica para ensaios de caracóis, com aplicação de processo de aceleração de desgaste por jato dirigido de granalha angular da classificação S25B Temperada Angular para aceleração do processo de desgaste. O jato de granalha foi fixado a estrutura da bancada de ensaios, mantendo-se o mesmo padrão de distância e posição para todos os corpos de prova. Na Figura 9 pode-se identificar a representação da bancada de ensaios e o local de alocação do jato de granalha em relação ao caracol.

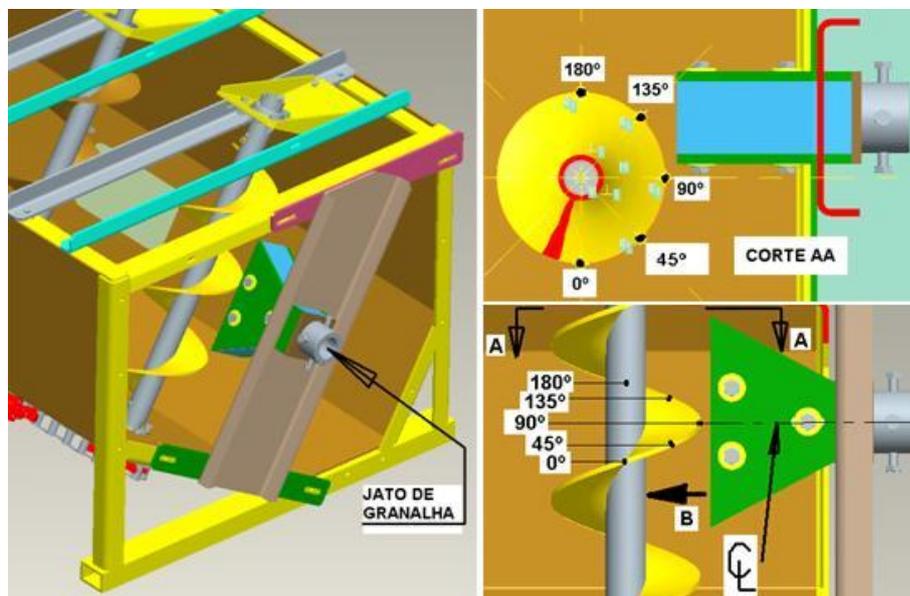


Figura 9 -Projeção da bancada para ensaios de desgaste.

Durante o período de ensaio, o caracol teve sua rotação controlada em 350 rpm, com uma variação permissível de (+/- 20 rpm).

3.2.2. Ensaios Metalográficos e de Dureza

Os ensaios de metalografia foram realizados junto ao laboratório de materiais e ensaios mecânicos da Faculdade Horizontina (FAHOR), localizada no município de Horizontina - RS.

A preparação das amostras para os ensaios foram da seguinte forma: os materiais foram cortados em poliacorte fixo, com disco abrasivo e intensamente refrigerado. Posteriormente, as amostras foram embutidas com baquelite em

Embutidora por um tempo de 10 minutos a uma pressão de 100 kgf/cm² para facilitar o manuseio e a análise das amostras.

Posteriormente ao embutimento das amostras, estas foram submetidas a lixamento com lixas de grana 150, 320, 420, 600 e 1200 e em seguida a polimento. Este processo iniciou com a lixa de menor grana e terminou com a de maior grana e em seguida polimento, para garantir um bom acabamento na superfície a ser analisada.

Na sequência, após a limpeza e secagem das amostras, aplicou-se um ataque químico na face lixada com Nital 1%, sendo o tempo de ataque químico das amostras de aproximadamente 10 segundos. Em seguida, as amostras foram lavadas com álcool e secadas novamente. O ataque químico realçou os contornos e grãos do material, permitindo assim a visualização das características estruturais dos materiais, bem como as variações provenientes do processo de têmpera.

Para a realização do ensaio de dureza, foi utilizado um corpo de prova do aço SAE 15B30 com processo de aplicação de têmpera por indução. O corpo de prova foi submetido ao ensaio de dureza HRC.

Neste ensaio, foi verificada a variação de dureza existente ao longo do perfil da espira, de forma a analisar a discrepância existente entre a dureza medida no material base da espira aço SAE 15B30 e a dureza encontrada nos pontos submetidos ao processo de têmpera por indução, uma vez que a partir da borda da espira, a altura da zona atingida pela têmpera é de 25 a 30 mm.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados são apresentados em três etapas, isto é, primeiramente são apresentados os resultados obtidos para os ensaios de desgaste, seguido pela análise do ensaio de dureza e posteriormente do ensaio metalográfico.

4.1. ENSAIOS DE DESGASTE

4.1.1. Ensaio do Material NBR 8300

Os resultados da variação média de espessura dos corpos de prova fabricados em aço NBR 8300 (corpos de prova 0A, 0B e 0C) são apresentados no Quadro 1.

Ensaio do Caracol 0 - Espessura											
Caracol 0	Código caracol 6260700M91			Maior Espessura (mm)				Material do Caracol NBR8300			
				Posição	45°	Medida	2,95				
Medição	Tempo	0°	Desgaste	45°	Desgaste	90°	Desgaste	135°	Desgaste	180°	Desgaste
Inicial	0 min.	2,73	0,00	2,95	0,00	2,74	0,00	2,61	0,00	2,74	0,00
1ª (mm)	8 min.	2,65	-0,08	2,49	-0,46	2,28	-0,46	2,58	-0,03	2,61	-0,13
2ª (mm)	16 min.	2,60	-0,13	2,26	-0,69	2,08	-0,66	2,49	-0,12	2,59	-0,15
3ª (mm)	24min.	2,50	-0,23	2,05	-0,90	1,89	-0,85	2,45	-0,16	2,56	-0,18
4ª (mm)	32 min.	2,47	-0,26	1,93	-1,02	1,65	-1,09	2,37	-0,24	2,52	-0,22
5ª (mm)	40 min.	2,47	-0,26	1,78	-1,17	1,51	-1,23	2,32	-0,29	2,39	-0,35

Quadro 1 - Resultados do ensaio de desgaste de espessura do material NBR 8300.

A Figura 10 apresenta a análise das variações médias de espessura dos corpos de prova do material NBR 8300, verificando-se resultados que demonstram a variação média da espessura dos corpos de prova no ensaio de desgaste. Sendo assim, ficou evidenciado o ponto de maior desgaste de espessura na posição de 90°, sendo registrado uma redução de espessura de 1,23 mm.

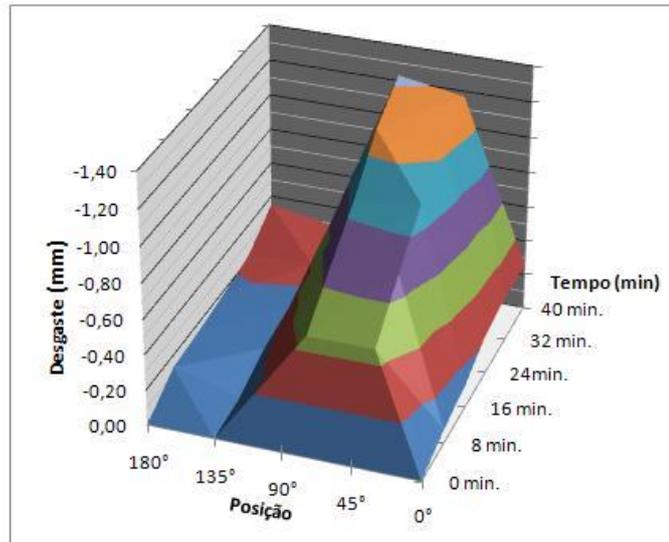


Figura 10 - Gráfico de desgaste de espessura do material NBR 8300.

No Quadro 2 são apresentados os resultados médios dos ensaios de desgaste de altura para os corpos de prova fabricados em aço NBR 8300.

Ensaio do Caracol 0 - Altura						
Caracol 0		Código Caracol 6260700M91		Material do Caracol NBR8300		
Medição		0°	45°	90°	135°	180°
Inicial	0 min.	-0,10	0,00	0,00	0,00	0,00
1ª Med. (mm)	8 min.	-0,05	0,00	-0,75	0,00	0,00
2ª Med. (mm)	16 min.	-0,10	0,00	-1,35	0,00	0,00
3ª Med. (mm)	24 min.	0,00	-0,35	-2,05	0,00	0,00
4ª Med. (mm)	32 min.	-0,20	-1,00	-2,80	0,00	0,00
5ª Med. (mm)	40 min.	-0,20	-1,10	-3,50	0,00	0,00

Quadro 2 - Resultados do ensaio de desgaste de altura do material NBR 8300.

A Figura 11 apresenta a análise das variações médias de altura dos corpos de prova do material NBR 8300, verificando-se resultados que demonstram a variação média da altura dos corpos de prova no ensaio de desgaste. Sendo assim, ficou evidenciado o ponto de maior desgaste de altura na posição de 90°, sendo registrada uma redução de altura de 3,5 mm.

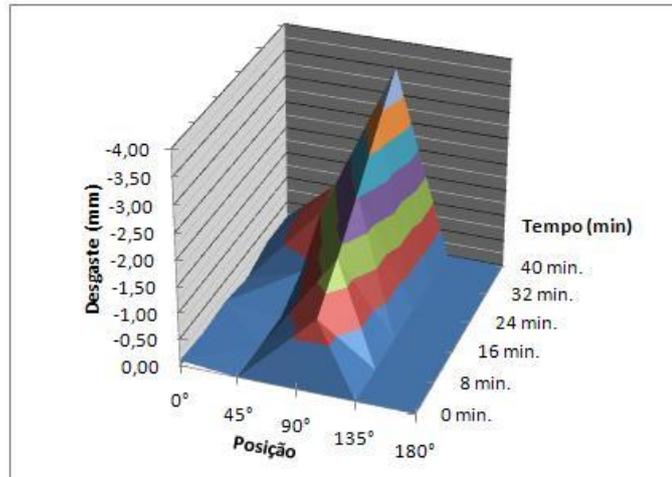


Figura 11 - Gráfico do desgaste de altura do material NBR 8300.

4.1.2. Ensaio do Material SAE 15B30 Temperado por Indução

Os resultados da variação média de espessura dos corpos de prova fabricados em aço SAE 15B30 com processo de têmpera por indução (corpos de prova 1A, 1B e 1C) são apresentados no Quadro 3.

Ensaio do Caracol 1 - Espessura											
Caracol 1	Código caracol 6260701M91		Maior Espessura (mm)					Material do Caracol SAE15B30 - Indução			
	Medição	Tempo	0°	Desgaste	45°	Desgaste	90°	Desgaste	135°	Desgaste	180°
Inicial	0 min.	3,13	0,00	3,10	0,00	3,07	0,00	3,00	0,00	3,01	0,00
1ª (mm)	8 min.	2,97	-0,16	3,08	-0,02	2,96	-0,11	2,93	-0,07	2,98	-0,03
2ª (mm)	16 min.	2,96	-0,17	2,94	-0,16	2,86	-0,21	2,92	-0,08	2,94	-0,07
3ª (mm)	24min.	2,87	-0,26	2,83	-0,27	2,82	-0,25	2,83	-0,17	2,90	-0,11
4ª (mm)	32 min.	2,83	-0,30	2,83	-0,27	2,78	-0,29	2,79	-0,21	2,86	-0,15
5ª (mm)	40 min.	2,79	-0,34	2,74	-0,36	2,71	-0,36	2,76	-0,24	2,82	-0,19

Quadro 3 - Resultados do ensaio de desgaste de espessura do material SAE 15B30 temperado por indução.

A Figura 12 apresenta a análise das variações médias de espessura dos corpos de prova do material SAE 15B30 com processo de têmpera por indução, verificando-se resultados que demonstram a variação média da espessura dos corpos de prova no ensaio de desgaste. Sendo assim, ficou evidenciado o ponto de maior desgaste de espessura nas posições de 45° e 90°, sendo registrado uma redução de espessura nesses pontos de 0,36 mm.

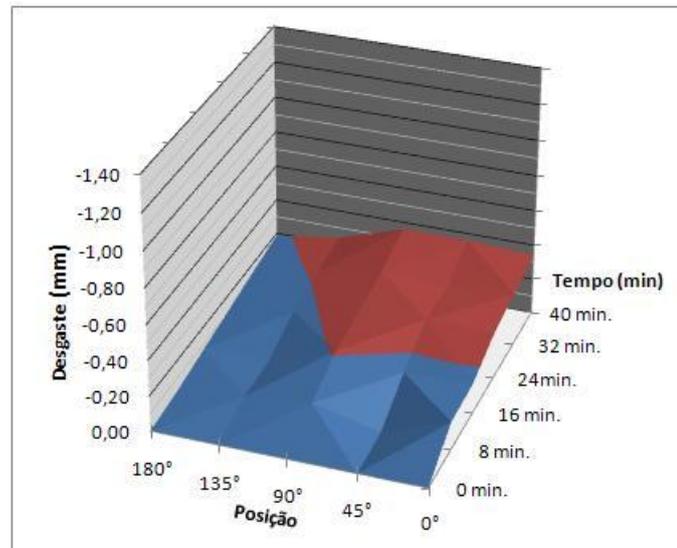


Figura 12 - Gráfico do desgaste de espessura do material SAE 15B30 temperado por indução.

No Quadro 4 são visualizados os resultados médios dos ensaios de desgaste de altura do material SAE 15B30 com processo de têmpera por indução.

Ensaio do Caracol 1 - Altura						
Caracol 1		Código Caracol 6260701M91		Material do Caracol SAE 15B30 - Tempêra Indução		
Medição		0°	45°	90°	135°	180°
Inicial	0 min.	0,00	0,00	0,00	-0,25	-0,25
1ª Med. (mm)	8 min.	0,00	0,00	-0,10	-0,25	-0,25
2ª Med. (mm)	16 min.	0,00	-0,10	-0,25	-0,25	-0,25
3ª Med. (mm)	24 min.	0,00	-0,10	-0,30	-0,25	-0,25
4ª Med. (mm)	32 min.	0,00	-0,10	-0,30	-0,25	-0,25
5ª Med. (mm)	40 min.	0,00	-0,15	-0,35	-0,25	-0,25

Quadro 4 - Resultados do ensaio de desgaste de altura do material SAE 15B30 temperado por indução.

A Figura 13 apresenta a análise das variações médias de altura dos corpos de prova do material SAE 15B30, verificando-se resultados que demonstram a variação média da espessura dos corpos de prova no ensaio de desgaste. Sendo assim, ficou evidenciado o ponto de maior desgaste de altura na posição de 90°, sendo registrado uma redução de altura de 0,35 mm.

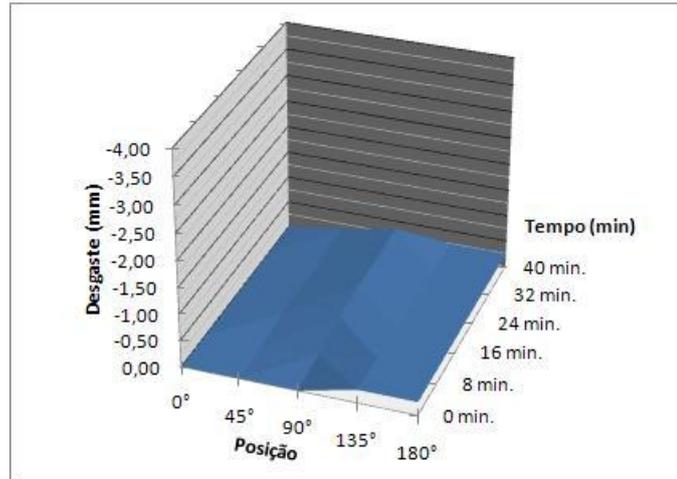


Figura 13 - Gráfico do desgaste de altura do material SAE 15B30 temperado por indução.

4.1.3. Ensaio do Material NBR 8300 Cromado

Os resultados da variação média de espessura dos corpos de prova fabricados em aço NBR 8300 com processo de cromagem (corpos de prova 2A, 2B e 2C) são apresentados no Quadro 5.

Ensaio do Caracol 2 - Espessura											
Caracol 2	Código caracol 6260702M91			Maior Espessura (mm)				Material do Caracol NBR 8300 Cromado			
	Medição	Tempo	0°	Desgaste	45°	Desgaste	90°	Desgaste	135°	Desgaste	180°
Inicial	0 min.	2,27	0,00	2,21	0,00	2,20	0,00	2,29	0,00	2,19	0,00
1ª (mm)	8 min.	2,18	-0,09	2,17	-0,04	2,20	0,00	2,23	-0,06	2,12	-0,07
2ª (mm)	16 min.	2,18	-0,09	2,16	-0,05	2,04	-0,16	2,22	-0,07	2,08	-0,11
3ª (mm)	24 min.	2,16	-0,11	2,10	-0,11	1,88	-0,32	2,20	-0,09	2,03	-0,16
4ª (mm)	32 min.	2,16	-0,11	1,93	-0,28	1,51	-0,69	2,16	-0,13	2,03	-0,16
5ª (mm)	40 min.	2,16	-0,11	1,77	-0,44	1,28	-0,92	2,12	-0,17	2,03	-0,16

Quadro 5 - Resultados do ensaio de desgaste de espessura do material NBR 8300 cromado.

A Figura 14 apresenta a análise das variações médias de espessura dos corpos de prova do material NBR 8300 com processo de cromagem, verificando-se resultados que demonstram a variação média da espessura dos corpos de prova no ensaio de desgaste. Sendo assim, ficou evidenciado o ponto de maior desgaste de espessura na posição de 90°, sendo registrado uma redução de espessura de 0,92 mm.

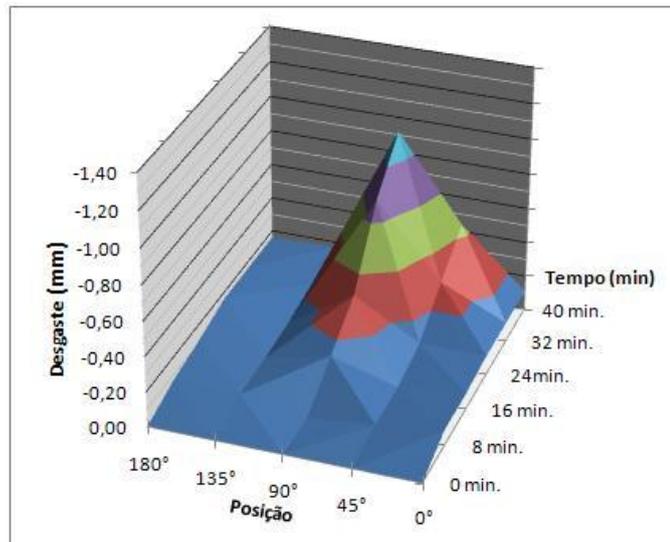


Figura 14 - Gráfico do desgaste de espessura do material NBR 8300 cromado.

No Quadro 6 são visualizados os resultados médios dos ensaios de desgaste de altura do material NBR 8300 com processo de cromagem.

Ensaio do Caracol 2 - Altura						
Caracol 2		Código Caracol 6260702M91		Material do Caracol NBR 8300 - Cromado		
Medição		0°	45°	90°	135°	180°
Inicial	0 min.	0,00	-0,10	0,00	0,00	0,00
1ª Med. (mm)	8 min.	0,00	-0,20	0,00	0,00	0,00
2ª Med. (mm)	16 min.	-0,15	-0,20	-0,50	-0,15	0,00
3ª Med. (mm)	24 min.	-0,15	-0,25	-1,30	-0,15	0,00
4ª Med. (mm)	32 min.	-0,15	-0,35	-2,05	-0,15	-0,15
5ª Med. (mm)	40 min.	-0,15	-0,65	-2,70	-0,15	-0,15

Quadro 6 - Resultados do ensaio de desgaste de altura do material NBR 8300 cromado.

A Figura 15 apresenta a análise das variações médias de altura dos corpos de prova do material NBR 8300 com processo de cromagem, verificando-se resultados que demonstram a variação média da altura dos corpos de prova no ensaio de desgaste. Sendo assim, ficou evidenciado o ponto de maior desgaste de altura na posição de 90°, sendo registrado uma redução de altura de 2,70 mm.

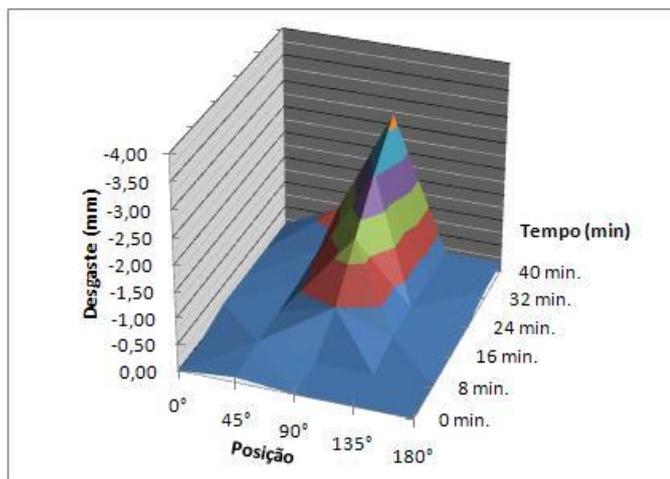


Figura 15 - Gráfico do desgaste de altura do material NBR 8300 cromado.

4.1.4. Análise dos Ensaios de Desgaste

Posterior a etapa de realização dos ensaios e análise dos dados obtidos, pode-se verificar as características dos diferentes materiais em resposta as solicitações geradas pelo teste.

Neste momento, tornou-se perceptível a característica de elevada resistência superficial do material SAE 15B30 endurecido através do processo de têmpera superficial por indução eletromagnética quando comparado ao demais materiais que apresentaram resultados de desgastes finais de espessura e altura de espira consideravelmente inferiores.

Pode-se identificar também a característica de dureza superficial do caracol do material NBR 8300 cromado, sendo constatado no ensaio que sua maior propriedade de resistência ao desgaste é formada pelo cromo localizado na camada superficial, uma vez que é observado nos resultados dos ensaios que ao ser desgastada a película inicial de cromo, o material base, no caso o Aço NBR 8300 apresentada baixa resistência ao desgaste.

4.2. ENSAIO DE DUREZA SUPERFICIAL

Para os corpos de prova do material SAE 15B30 com processo de têmpera por indução, foi realizado o ensaio de dureza para verificar o comportamento da

dureza em relação ao perfil da espira submetida ao processo, de forma a verificar a variação existente.

A Tabela 4 apresenta os resultados do ensaio de dureza ao longo do perfil da espira.

Tabela 4 - Resultado do ensaio de dureza do material SAE 15B30 Temperado Indução

SAE 15B30			
Distância (mm)	1º Medição	2º Medição	3º Medição
2	62	52	58
4	56	57	59
6	53	61	56
8	48	51	58
10	56	52	49
12	51	53	58
14	56	53	56
16	55	56	54
18	56	59	53
20	51	56	54
22	48	53	53
24	51	50	56
26	47	52	46
28	44	46	43
30	46	46	44
32	38	40	40
34	34	39	35
36	31	33	24
38	30	25	26
40	23	27	30
42	23	21	24
44	24	21	24
46	23	20	21
48	23	17	22
50	21	18	20

A Figura 16 (a) apresenta o gráfico de dureza HRC em função da distância da borda da espira para o aço SAE 15B30 com processo de têmpera por indução.

A Figura 16 (b) apresenta uma secção do corpo de prova do material SAE 15B30 com processo de têmpera por indução onde foi realizado o ensaio de dureza, sendo a distância 0 mm a borda da espira.

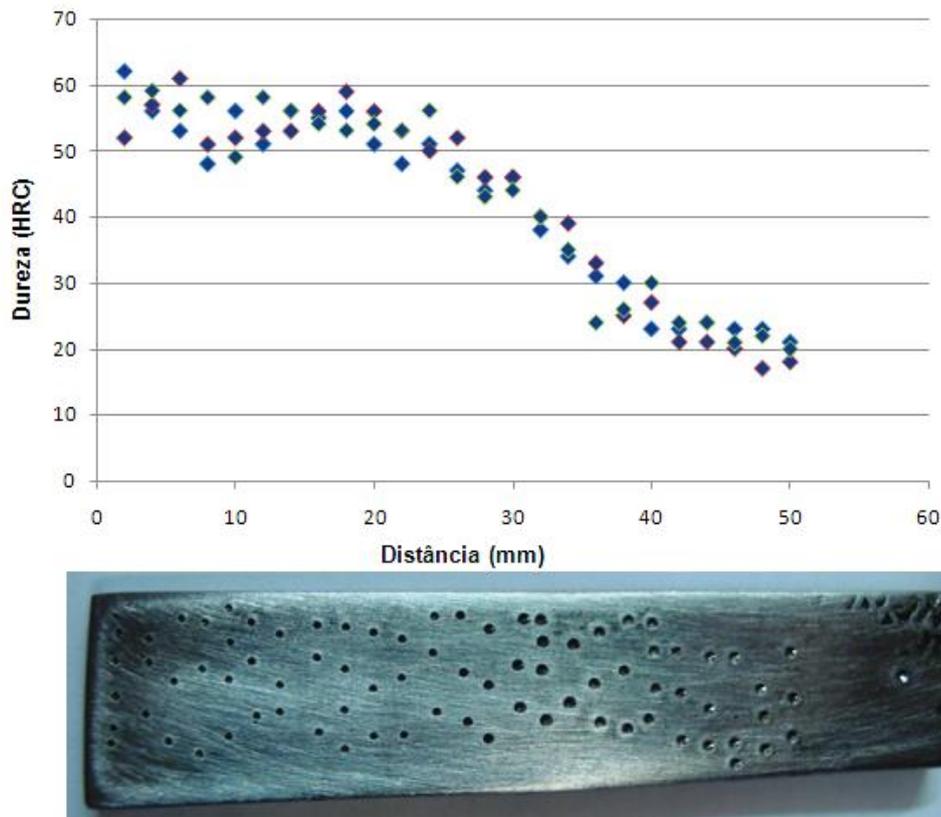


Figura 16 - Gráfico de dureza em relação a distância da borda da espira do caracol.

Desta forma, é possível identificar o incremento de dureza superficial estabelecido no material pelo processo de têmpera por indução, sendo caracterizada uma dureza média de 20 HRC para o material base livre de têmpera, chegando a uma dureza média de 52 HRC para a superfície condicionada à têmpera por indução.

4.3. ENSAIO METALOGRAFICO

A Figura 17 apresenta a micrografia do material NBR 8300, sendo caracterizado como uma estrutura formada por ferrita (partes brancas) e perlita (partes escuras). A microestrutura é semelhante a um aço SAE 1035.

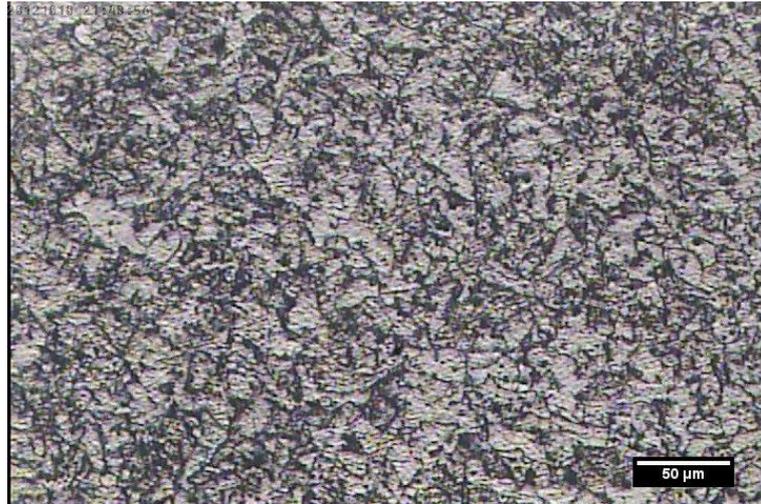


Figura 17 - Micrografia do material NBR 8300.

Na Figura 18 é possível identificar a variação da estrutura do material SAE 15B30 após o processo de têmpera por indução.

Na Figura 18 (a) é identificado o perfil da seção transversal da espira do caracol fabricado em aço SAE 15B30 com aplicação de têmpera por indução em uma região de 25 a 30 mm a partir da borda da espira. Na Figura 18 (b, c, d) pode-se observar um encruamento da estrutura do material, caracterizada pela têmpera total, sendo identificado o total recobrimento dos contornos dos grãos da perlita pela martensita, promovendo um aumento substancial da dureza da estrutura do material. Na Figura 18 (e, f), pode-se verificar a fase de transição do material, caracterizado por uma área afetada pelo calor do processo, porém, resultando em têmpera não total da região, resultando em um leve encruamento da região com menor aumento de dureza, devido ao início do contorno dos grãos de perlita pela martensita.

Na Figura 18 (g) pode-se identificar a estrutura base do material, região não afetada pelo calor proveniente de processo de têmpera, identificando-se uma estrutura base do material com concentração de perlita e elevada parte de ferrita, além dos pontos de boro, responsável por uma melhor característica de resistência ao desgaste.

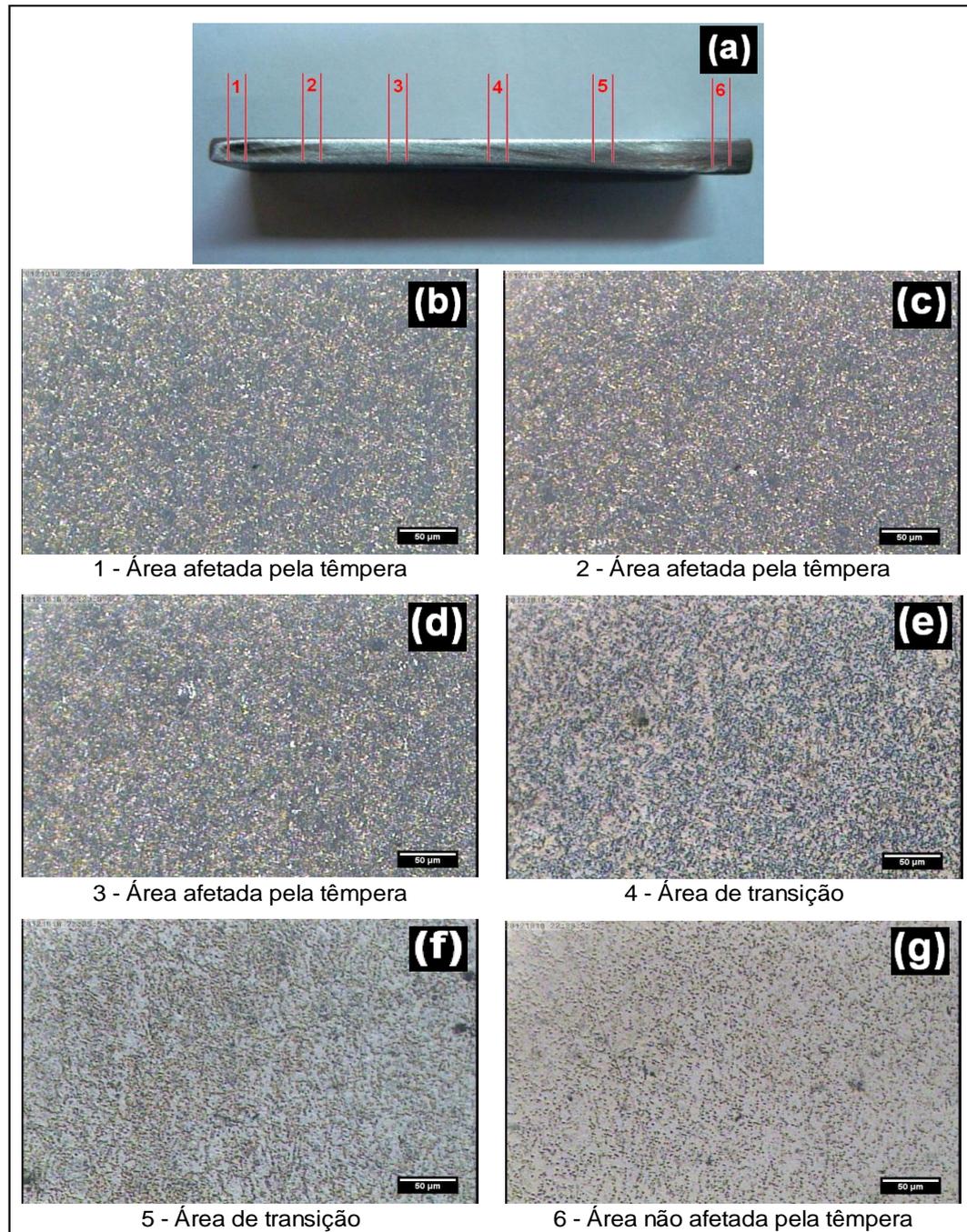


Figura 18 - Análise metalográfica do aço SAE 15B30.

A Figura 19 apresenta a micrografia para o corpo de prova do material NBR 8300 com aplicação de cromagem com ampliação de 10 vezes, sendo assim possível identificar os materiais constituintes, sendo (a) para o aço NBR 8300 e (b) para a camada de cromo duro aplicada na superfície do material base por meio da eletrodeposição.

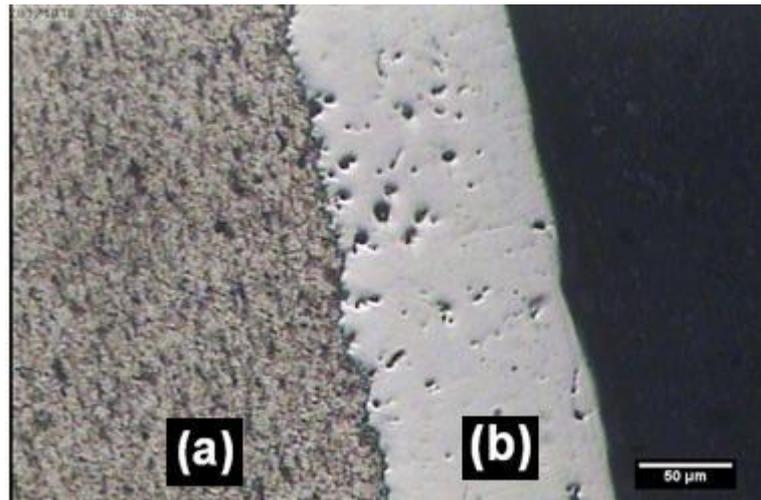


Figura 19 - (a) Metal base. (b) Cromo duro.

Desta forma, por meio da identificação dos constituintes da microestrutura dos materiais e as alterações impostas à estrutura do material SAE 15B30 pelo processo de tempera por indução, pode-se entender a melhor resistência ao desgaste do material SAE 15B30 com processo de tempera por indução é observada devido ao encruamento de sua estrutura e pela formação de martensita, responsável pela dureza elevada quando comparada ao aço NBR8300 e ao aço NBR 8300 com processo de cromagem.

5. CONCLUSÕES

Os caracóis fabricados em aço SAE 15B30 com processo de têmpera por indução obtiveram resultados de elevada resistência ao desgaste, ficando caracterizada uma melhor performance, quando submetido a comparativo com os demais materiais.

No ensaio de dureza, pode-se verificar a influência de forma positiva da têmpera total por indução na dureza superficial encontrada, sendo esta verificada por meio do ensaio de dureza, sendo discriminada pela dureza encontrada entre a zona afetada pela têmpera, a zona de transição e a zona de material base isenta de tratamento.

Para o ensaio metalográfico, foi possível a identificação da característica de encruamento da estrutura do material SAE 15B30 pelo processo de tempera por indução, responsável pelo aumento de dureza superficial do material.

Desta forma, com a análise geral dos dados encontrados nos três aspectos dos ensaios realizados, percebeu-se que há a possibilidade de aplicação do aço SAE 15B30 com processo de têmpera por indução eletromagnética nos caracóis utilizados para o transporte de grãos em colheitadeiras.

Para tal, faz-se a observação da necessidade da realização de testes posteriores por meio de protótipos a fim de validação de testes práticos para garantia de confiabilidade do novo material e processo de tratamento de superfície proposto.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base nos resultados obtidos e visando a continuidade de pesquisas, apresentam-se as seguintes propostas de trabalhos futuros:

- 1) Análise de novos materiais a serem utilizados na fabricação de caracóis;
- 2) Verificação das condições resistência de aços carbonitretados para utilização em helicóides de colheitadeiras;
- 3) Verificação de processos de tratamento de superfícies alternativos que promovam características de resistência ao desgaste.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASTOS, Silvio César. **Efeito do aquecimento por indução eletromagnética de tubos sem costura utilizados em motores diesel**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia mecânica**. Vol. I, II e III. 2ªed. São Paulo: Person Education do Brasil, 1986.

_____. **Aços e ferros fundidos**. 7ª ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Metais - ABM, 2002.

COLARES, Carla J; SANTANA, Eli José; Colares, Emileni C. G.; Costa, Orlene. **Estudo de caso do tratamento de efluentes líquidos gerados no processo de galvanoplastia**. Anais do VIII Seminário de Iniciação Científica e V Jornada de Pesquisa e Pós-Graduação – Universidade Estadual de Goiás, 10 a 12 de nov. de 2010. Disponível em: <http://www.prp.ueg.br/sic2010/apresentacao/trabalhos/pdf/exatas_terra/jornada/estudo_de_caso.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2012.

DE PARIS, Aleir. **Máquinas de Elevação e Transporte**. Caderno didático, UFSM, 2004.

FERREIRA, Carlos Roberto. **Tratamento térmico por indução eletromagnética de hastes de aço SAE1045 para sondagem geológica**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Rede Temática em Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2004.

MACEDO, Marciano Quites. **Efeito dos parâmetros de austenitização sobre a microestrutura e as propriedades do aço SAE4130 submetido a tratamentos térmicos por indução eletromagnética**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Rede Temática em Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.

MILMAN, Mário José. **Equipamentos para pré-processamentos de grãos**. Pelotas: Ed. Universitária/UFPel, 2002.

NBR 8300. Chapas grossas de aço-carbono para uso geral. ABNT, 1983.

NORMA SAE J 1268. **Hardenability Bands for Carbon and Alloy H Steels**. Revisão: 1995.

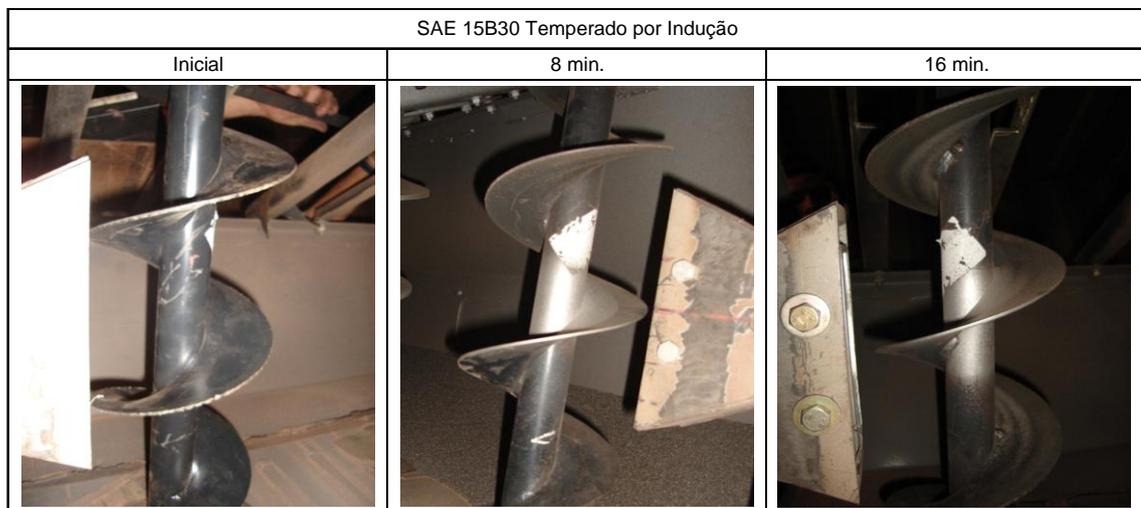
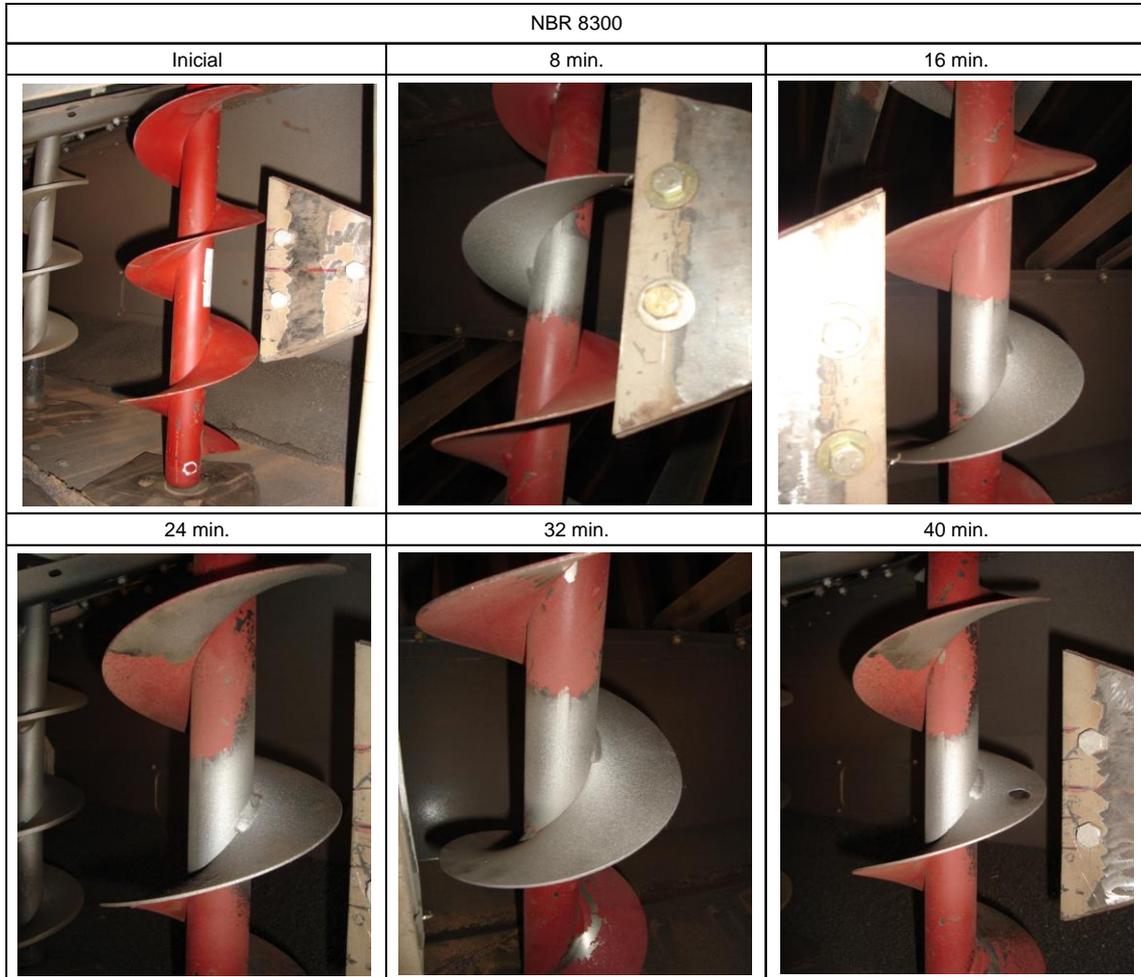
PASCOALI, Suzy. **Tecnologia dos materiais I**. Módulo II. Apostila Curso Técnico em Eletroeletrônica – Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, 2008. Disponível em: <http://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/images/a/a1/Aru_suzy_apostila_tecnologia_dos_materiais.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2012.

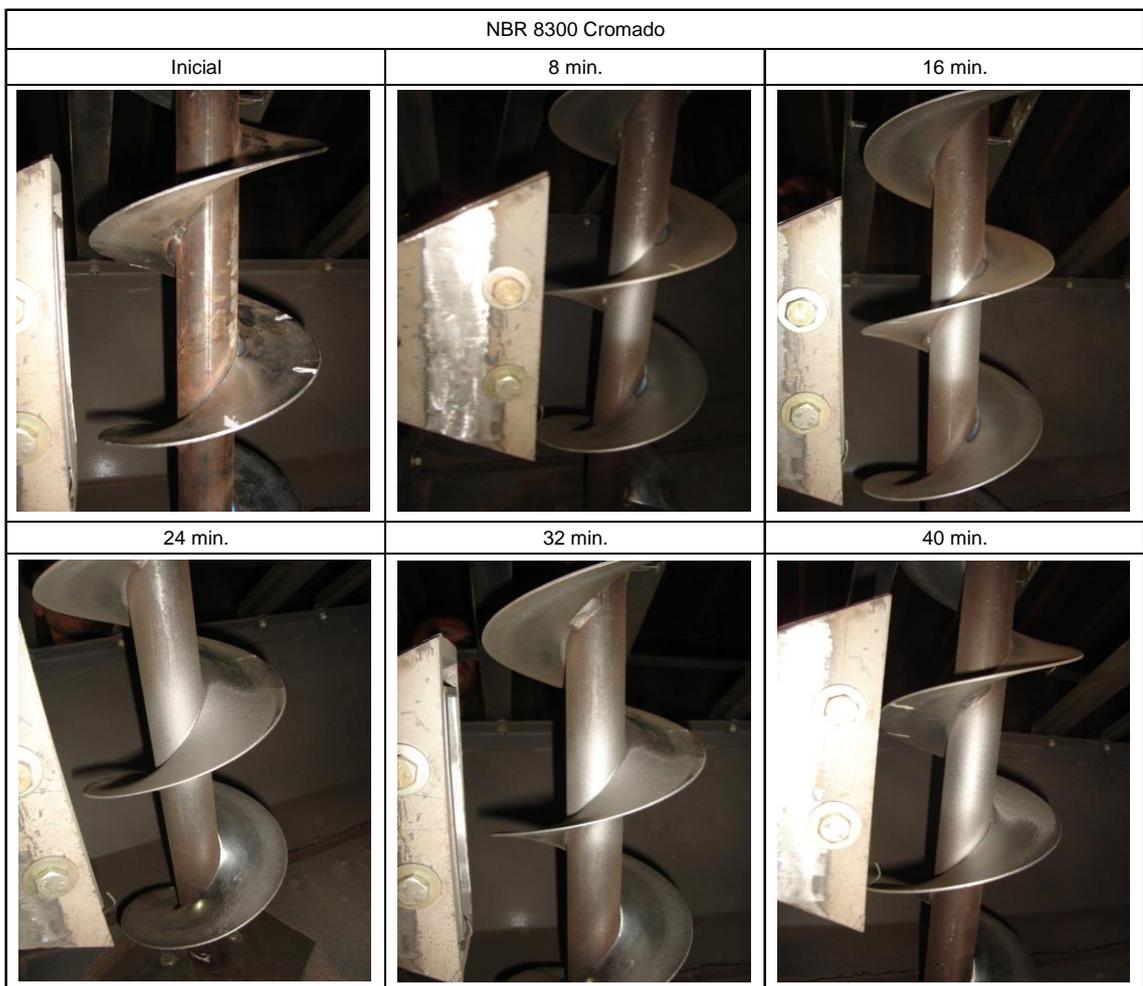
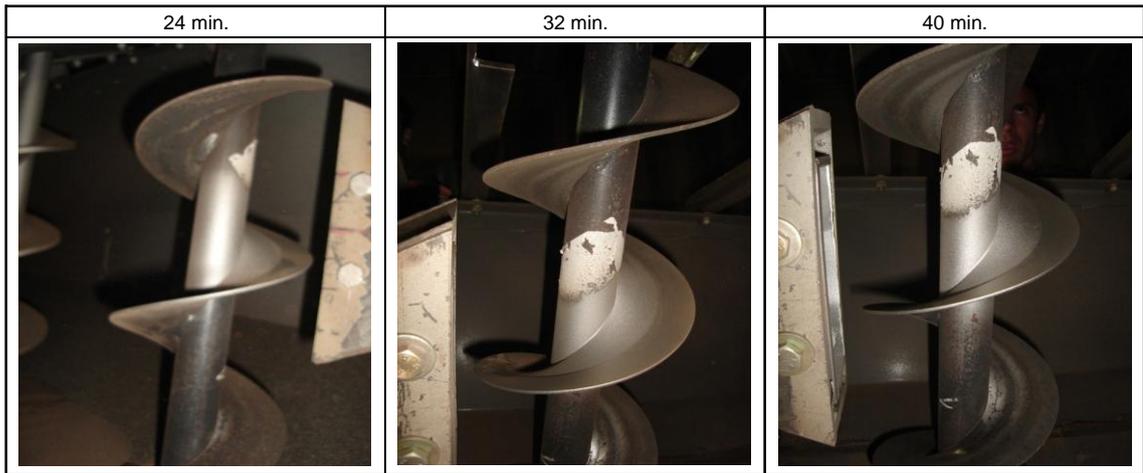
PUZZI, Domingos. **Abastecimento e armazenagem de grãos**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 2000.

SIVIERO FILHO, Carlos Alberto. **Tratamento superficial de peças estruturais sinterizadas à base de ferro**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

APÊNDICE A – CARACÓIS UTILIZADOS NO ENSAIO DE DESGASTE

Nas imagens contidas foi possível identificar visualmente o desgaste ocorrido nos corpos de prova no decorrer do ensaio. Caracteriza-se o período inicial, e após os registros foram realizados em intervalos de 8 minutos, conforme imagens.





Anexo A – Dimensões dos Corpos de Prova

Figura 1A - Dimensão dos Corpos de Prova do Material NBR 8300

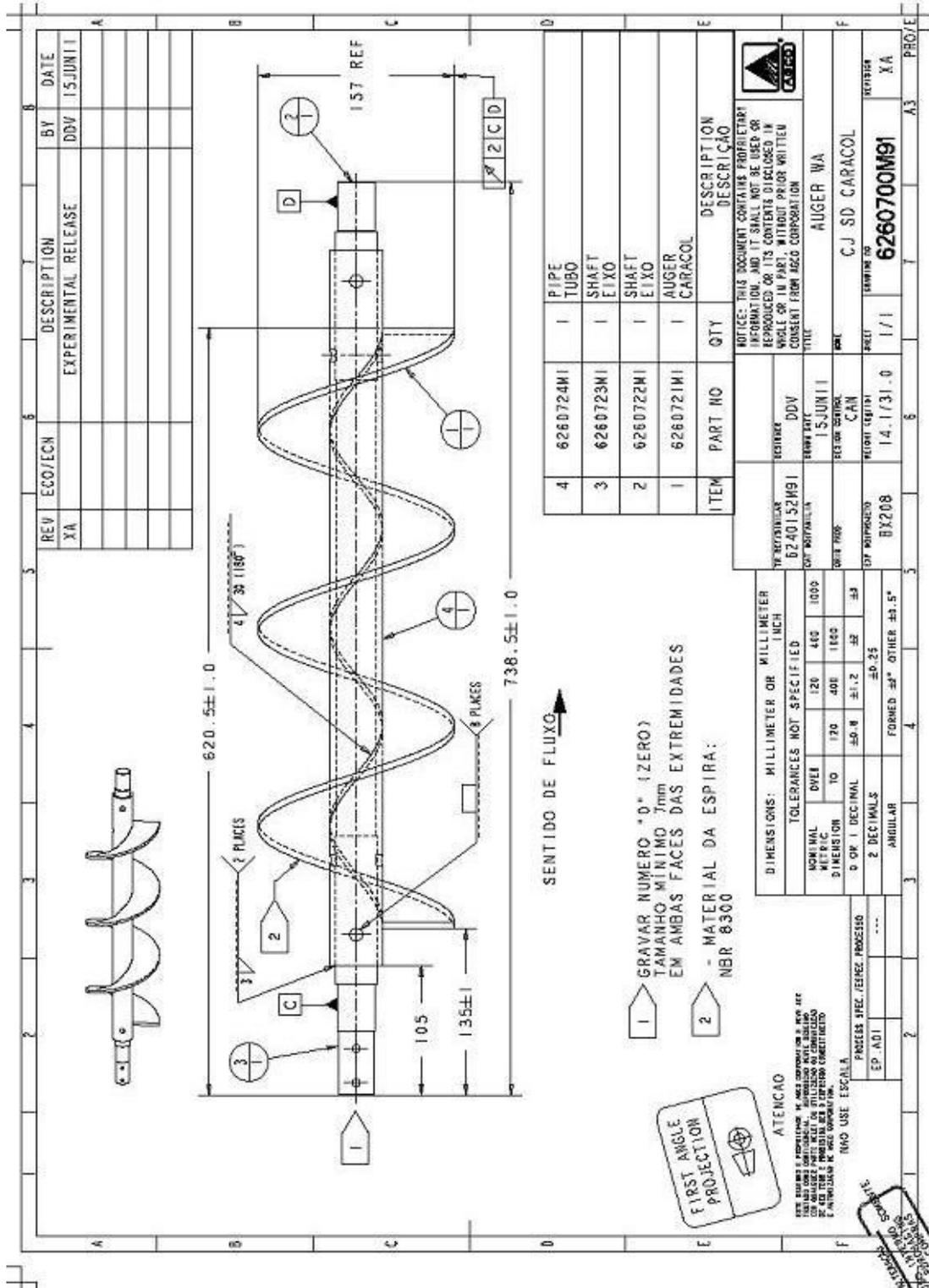


Figura 2A - Dimensão dos Corpos de Prova do Material SAE 15B30 Temperado

