



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALAGOAS**

CAMPUS PENEDO

CURSO TÉCNICO DE NÍVEL MÉDIO INTEGRADO EM AÇÚCAR E ÁLCOOL

NAELY PAULA SANTOS FERNANDES

**ESTUDO SOBRE A POSSÍVEL UTILIZAÇÃO DO AÇO MICROLIGADO HARDOX
NA CONSTRUÇÃO DE MOENDAS**

PENEDO, AL

2023

NAELY PAULA SANTOS FERNANDES

ESTUDO SOBRE A POSSÍVEL UTILIZAÇÃO DO AÇO MICROLIGADO HARDOX NA
CONSTRUÇÃO DE MOENDAS

Artigo científico apresentado ao Curso Técnico de Nível Médio Integrado em Açúcar e Alcool do Instituto Federal de Alagoas, *campus* Penedo, como requisito parcial para a obtenção do grau de Técnico em Açúcar e Alcool.

Orientadora: Martha Suzana Rodrigues dos Santos Rocha

Coorientadora: Vanessa Daiany Vieira Medeiros

PENEDO, AL

2023



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal de Alagoas
Campus Penedo
Biblioteca

F363e

Fernandes, Naely Paula Santos.

Estudo sobre a possível utilização do aço microligado hardox na construção de moendas / Naely Paula Santos Fernandes. – 2023.
17f.: il.

Orientação: Prof.^a Martha Suzana Rodrigues dos Santos Rocha.

Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico de Nível Médio Integrado em Açúcar e Alcool) – Instituto Federal de Alagoas, Campus Penedo, Penedo, 2023.

Trabalho acadêmico em versão digital.

1. Moendas – Usinas. 2. Aço hardox. 3. Cana-de-açúcar. I. Rocha, Martha Suzana Rodrigues dos Santos. II. Título.

CDD: 664.1

Maria Luzia Alexandre de Oliveira
Bibliotecária/Documentalista
CRB-4/2159

NAELY PAULA SANTOS FERNANDES

ESTUDO SOBRE A POSSÍVEL UTILIZAÇÃO DO AÇO MICROLIGADO
HARDOX NA CONSTRUÇÃO DE MOENDAS

Artigo científico apresentado ao Curso Técnico de Nível Médio Integrado em Açúcar e Álcool do Instituto Federal de Alagoas, *campus* Penedo, como requisito parcial para a obtenção do grau de Técnico em Açúcar e Álcool.

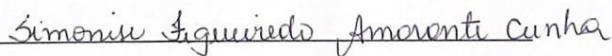
APROVADA EM: 17/03/2022.

BANCA EXAMINADORA



Profª Martha Suzana Rodrigues dos Santos Rocha

Instituto Federal de Alagoas - IFAL



Profª Simonise Figueiredo Amarante Cunha

Instituto Federal de Alagoas - IFAL



Profª Taciana do Nascimento Santos

Instituto Federal de Alagoas - IFAL

ESTUDO SOBRE A POSSÍVEL UTILIZAÇÃO DO AÇO MICROLIGADO HARDOX NA CONSTRUÇÃO DE MOENDAS

Naely Paula Santos Fernandes¹; Martha Suzana Rodrigues dos Santos Rocha²; Vanessa Daiany Vieira Medeiros³

RESUMO

No Brasil a indústria sucroenergética tem um papel importante para a economia, pois é responsável por 2% do PIB brasileiro. Dentre os produtos disponibilizados por esta indústria estão o açúcar e o etanol. Para se obter tais produtos, faz-se necessário a extração do caldo da cana-de-açúcar (principal matéria-prima), que ocorre na etapa da moagem. Os materiais de que são fabricados os componentes das moendas precisam ter algumas características para tornar o processo da moagem eficiente. Estudos sobre materiais alternativos estão sendo realizados com o intuito de diminuir custos nas etapas de manutenção. Um dos materiais analisados é o Aço-Hardox, que dispõem de um custo-benefício positivo, pois tem como característica um prolongamento no tempo de vida útil. O presente artigo tem como objetivo estudar e apresentar os benefícios atribuídos a aplicação do aço Hardox na construção de moendas onde o uso do aço Hardox demonstra que possui potencial para ocasionar uma redução de paradas para manutenção, contribuindo para uma relação positiva de custo benefício, já que com menos paradas tem-se uma redução com os custos de produção.

Palavras-chave: Moenda; Desgaste abrasivo; Aço Hardox.

ABSTRACT

In Brazil, the sugar-energy industry plays an important role in the economy, as it is responsible for 2% of the Brazilian GDP. Among the products made available by this industry are sugar and ethanol. To obtain these products, it is necessary to extract the juice from sugarcane (the main raw material), which takes place in the milling stage. The materials from which the mill components are made must have some characteristics to make the milling process efficient. Studies on alternative materials are being carried out in order to reduce costs in the maintenance stages. One of the materials analyzed is Steel-Hardox, which has a positive cost-benefit ratio, as it has the characteristic of extending its useful life. This article aims to study and present the benefits attributed to the application of Hardox steel in the construction of mills where the use of Hardox steel demonstrates that it has the potential to cause a reduction in downtime for maintenance, contributing to a positive cost-benefit relationship, since that with fewer stops there is a reduction in production costs.

Keywords: Milling; Abrasive wear; Hardox steel.

¹ Naely Paula Santos Fernandes - Aluna do Curso de Técnico em Açúcar e Álcool/IFAL

² Martha Suzana Rodrigues dos Santos Rocha - Professora Orientadora do Curso de Açúcar e Álcool /IFAL

³ Vanessa Daiany Vieira Medeiros - Professora Coorientadora

1. INTRODUÇÃO

Dentro da indústria sucroenergética existem diversos equipamentos necessários para a fabricação de seus produtos (açúcar, álcool etc.), uma das etapas principais é a etapa de extração do caldo, matéria-prima essencial para produção. Nessa etapa a moenda é o equipamento mais importante.

Um terno de moenda é composto por rolos inferiores, rolo superior e rolo de pressão. Caltarosso (2008), afirma que a moagem assume um importante papel para o processamento industrial da cana-de-açúcar e tem por objetivo retirar a maior quantidade de caldo da camada de cana preparada durante os processamentos anteriores, que é uma operação onde ocorrem sucessivos esmagamentos.

Segundo o que é apresentado por Caltarosso (2008), grande parte dos materiais que compõem o terno de uma moenda são fabricados em materiais como aço fundido, ferro fundido, bronze, entre outros.

Segundo Busso (2016), os aços que possuem uma alta resistência e baixa liga (ARBL), como Hardox, dispõem de propriedades mecânicas consideradas superiores. Estes apresentam uma elevada resistência mecânica fixada a fatores como: composição química, controle do processo termomecânico de fabricação e microestrutura final.

Dentro da composição desses aços além da existência do Mn (manganês) e do Si (silício) que são responsáveis por produzir um reforço mecânico, existem também pequenas quantidades de elementos de liga como, Nb (nióbio), Mo (molibdênio), V (vanádio) e o Ti (titânio), que são aços conhecidos por possuir alta resistência e tenacidade, sendo importantes para reduzir o tempo de processo de fabricação e custos com energia. Estes motivos são responsáveis por introduzir a indústria brasileira dentro da tendência mundial, que é a utilização de ¹aços microligados em substituição dos aços convencionais, sem prejuízos com relação à soldagem (BUSSO, 2016).

Com as características atribuídas à composição química do aço Hardox, diretamente ligada à sua resistência abrasiva e da necessidade da indústria sucroalcooleira de materiais

¹Aços microligados – refere-se a um grupo de produtos de liga de aço, melhorados por meio da adição de pequenas quantidades de ligas, que servem para melhorar as características físicas e de trabalho do aço.

resistentes aos processos operacionais, entende-se como uma alternativa eficaz a aplicação do recobrimento duro em moendas, visando aumentar seu tempo de vida útil dentro dos processos industriais através da redução dos impactos causados pelo desgaste abrasivo. Pois, a moagem é uma das principais operações unitárias que contribuem para a excelência de qualidade dos produtos (BUSSO 2016).

O objetivo deste trabalho encontra-se em realizar um estudo literário sobre a possível utilização do aço microligado Hardox na construção de moendas.

2. METODOLOGIA

Esse trabalho foi construído a partir de uma revisão bibliográfica fundamentada em uma base de dados confiáveis, dispondo de artigos científicos encontrados nos Periódicos Capes, sites, dissertações da Universidade Federal de São Paulo, Universidade Federal de Minas Gerais e livros. Com o intuito de agregar conhecimento para o leitor sobre o tema em questão.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. IMPORTÂNCIA DA MOAGEM DA CANA-DE-AÇÚCAR

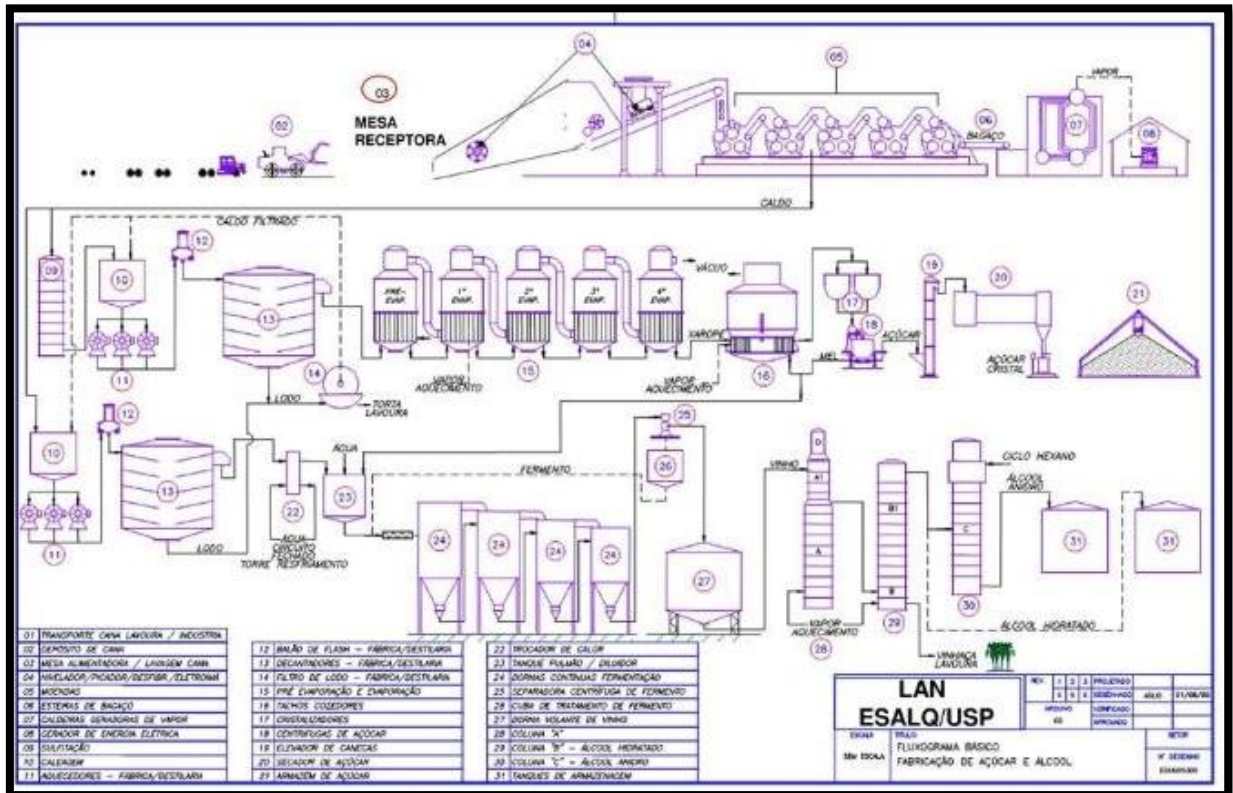
A moagem é uma operação unitária de extrema importância e tem contribuição na procedência das demais operações realizadas durante o processo de tratamento do caldo. Sendo assim, o monitoramento e a manutenção para o bom funcionamento dos equipamentos envolvidos nestes processos são de suma importância, de forma a obter resultados satisfatórios nas características apresentadas no caldo final, que refletem diretamente nos valores agregados ao produto final (SCAGNOLATTO 2019).

Segundo Scagnolatto (2019), o pré-processamento da cana é uma operação responsável por desfibrá-la, fazendo com que se apresente em partículas menores para prensar com mais eficiência o caldo contido no tecido das células vegetais, sendo essencial por tornar a extração da sacarose da cana-de-açúcar mais eficaz.

Dessa maneira, outros fatores funcionais como uma boa alimentação de cana, quantidade e temperatura de embebição, assim como a atenção na realização dessa operação são determinantes na eficácia dessa etapa que antecede a produção de açúcar e álcool (SCAGNOLATTO, 2019).

A moagem constitui a quinta etapa dentro do processo realizado em uma indústria sucroalcooleira, como mostra a Figura 1.

Figura 1: Fluxograma da indústria sucroalcooleira.



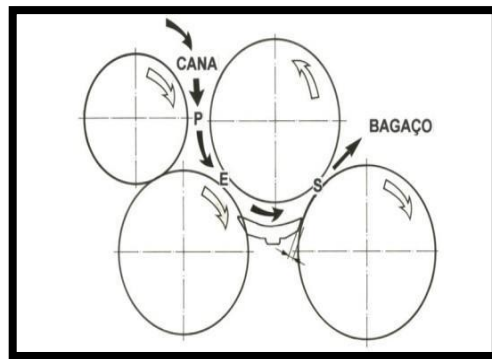
Fonte: SCAGNOLATTO (2019).

3.2. MOENDA

Segundo Caltarosso (2008), o terno da moenda é responsável por realizar a extração de todo o caldo presente em um volume de cana preparada. Sendo assim, entende-se que a capacidade de moagem se torna diretamente dependente dos padrões de qualidade exercidos durante a preparação da cana para a moagem, tendo como finalidade extrair o caldo da cana-de-açúcar através do esmagamento sequenciado por meio da passagem da cana por vãos entre cilindros com ranhuras.

O terno da moenda é constituído por 4 cilindros, dos quais 3, são responsáveis pela extração, posicionados de forma propícia para a existência de aberturas entre eles. Existe também o sistema que se encarrega da condução do bagaço encaminhado do primeiro esmagamento, localizado entre os cilindros inferiores. A Figura 2 mostra a disposição dos rolos de um terno (CALTAROSSO, 2008).

Figura 2: Esquema do posicionamento dos rolos e seus sentidos giratórios.

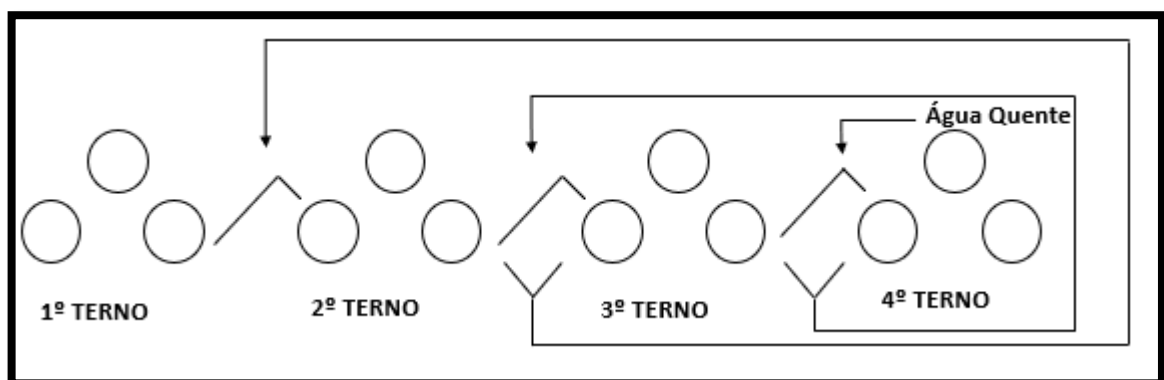


Fonte: DEDINI (2007).

Castro (2013), afirma que pode ser compreendida como moenda todo conjunto que inclui 3, 6, 9 ou 12 rolos (ou cilindros) agrupados e organizados de forma sequenciada na unidade de moagem, compreendendo um funcionamento simultâneo.

Através de pulverizadores posicionados entre os ternos da moenda é adicionada água ao bagaço, com o intuito prioritário de aumentar o rendimento industrial. Este procedimento pode ser classificado como embebição simples ou composta dependendo da quantidade de aplicações conforme o que também é mostrado na Figura 3 (CASTRO, 2013).

Figura 3: Sistema de moagem com embebição composta.



Fonte: COSTA, 2013.

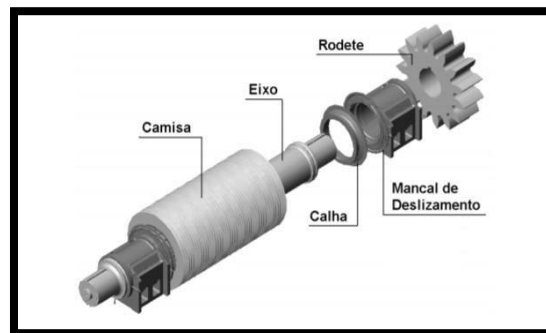
3.2.1. Componentes do Terno de Moenda

- ROLOS INFERIORES

Zocca (2007), afirma que em uma moenda existem dois rolos inferiores, sendo um de entrada, que é responsável por fazer uma pequena extração de caldo, e outro de saída que conduz a cana para a abertura de saída.

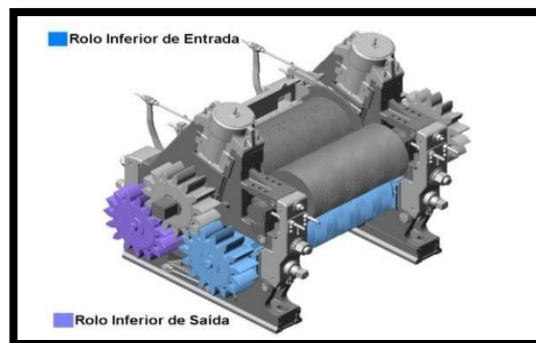
Segundo Caltarosso (2008), os rolos inferiores são constituídos como mostra a Figura 4. A Figura 5 apresenta o posicionamento dos rolos inferiores no terno da moenda.

Figura 4: Componentes de um rolo inferior.



Fonte: DEDINI (2007).

Figura 5: Localização dos rolos inferiores no terno da moenda.

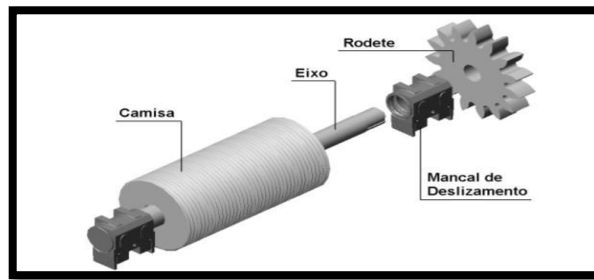


Fonte: DEDINI (2007).

- ROLO DE PRESSÃO

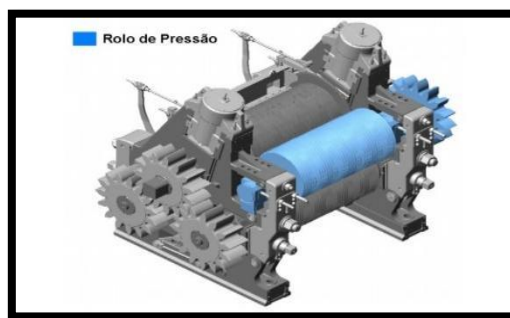
De acordo com Caltarosso (2008), os rolos de pressão ficam localizados na parte superior e se posicionam ao lado do rolo superior, que tem como função compactar a cana que entra e que se insere no início do processo de moagem. A Figura 6 mostra os componentes do rolo de pressão e a Figura 7 mostra a localização desse rolo no terno da moenda.

Figura 6: Componentes do rolo de pressão.



Fonte: DEDINI (2007).

Figura 7: Localização do rolo de pressão no terno da moenda.

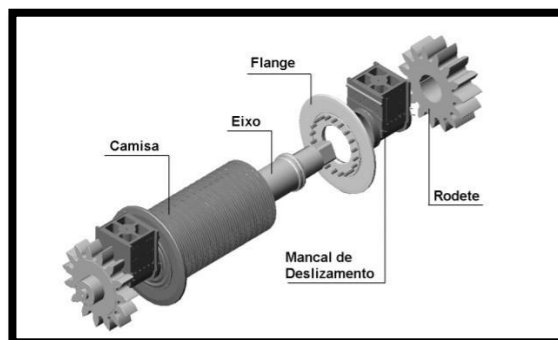


Fonte: DEDINI (2007).

- ROLO SUPERIOR

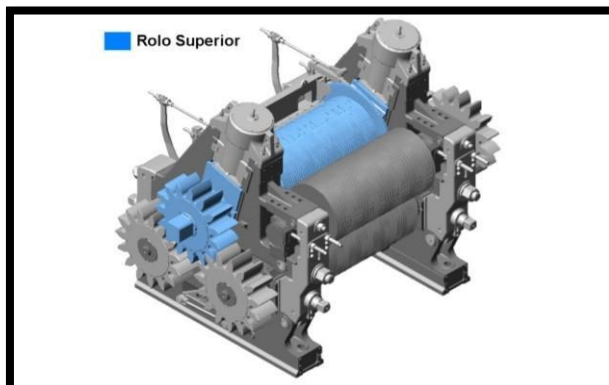
Caltarosso (2008) informa que o rolo superior assume um importante papel, pois, este mantém seus níveis constantes de pressão sobre o colchão de cana, evitando sobrecargas indesejadas nos equipamentos. Além disso, é responsável pela condução da cana para os demais rolos, dessa forma é o rolo que mantém um maior contato com o bagaço. A Figura 8 mostra os componentes do rolo superior e a Figura 9 mostra a sua localização no terno da moenda.

Figura 8: Componentes do rolo superior.



Fonte: DEDINI (2007).

Figura 9: Localização do rolo superior.



Fonte: DEDINI (2007).

3.3. DESGASTE DA MOENDA

- DESGASTE ABRASIVO

Cardines (2017) afirma que se pode entender e definir abrasão como um termo utilizado para se referir a danos ocasionados a um determinado material, em que normalmente envolve uma perda significativa de sua massa constituinte.

É muito comum detectar a presença do desgaste por abrasão em equipamentos responsáveis por processar a cana em usinas de açúcar e destilarias de álcool. Desta maneira, se torna um fator agravante e muito relevante ao funcionamento saudável das moendas (CARDINES 2017).

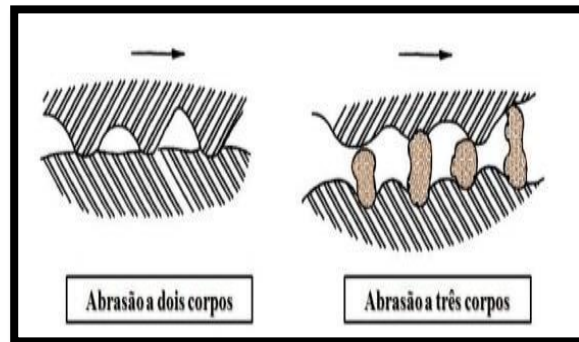
Segundo Cardines (2017), a deterioração destes equipamentos requer um custo significativo, economicamente falando, destinado à manutenção necessária para o bom funcionamento do maquinário utilizado para realizar a operação.

Segundo Lima e Ferraresi (2009), existem equipamentos que ficam mais expostos ao desgaste abrasivo e entre esses encontram-se as moendas.

Santos e Oliveira (2018), afirmam que, para a obtenção de um resultado eficiente na diminuição do desgaste, devem ser levados em consideração diversos fatores, como: a composição química do material, as variáveis metalúrgicas, as condições de serviços, meio ambiente, formas de desgaste, entre outros.

Lima e Ferraresi (2009) concluem que o desgaste abrasivo pode ser classificado de acordo com os fatores atuantes no conjunto em desgaste por abrasão de dois ou três corpos como mostra a Figura 10.

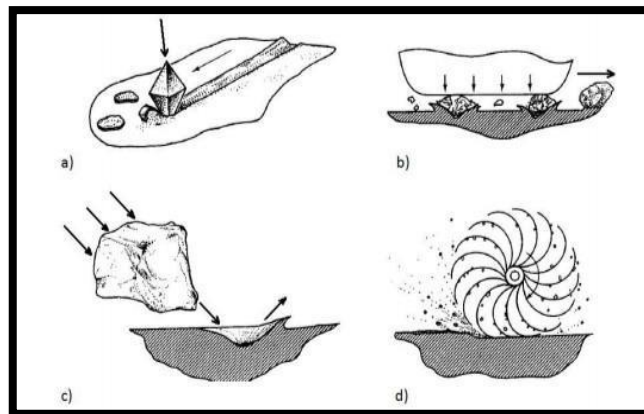
Figura 10: Situações de desgaste abrasivo.



Fonte: Mendes apud BAYER (2004).

Este tipo de desgaste pode ser classificado como: abrasão a baixa tensão, abrasão a alta tensão, abrasão por arranque e por polimento, como exemplifica a Figura 11, respectivamente.

Figura 11: Esquema dos quatro tipos de desgaste - a) abrasão de baixa tensão, b) abrasão a alta tensão, c) abrasão por arranque e d) polimento.

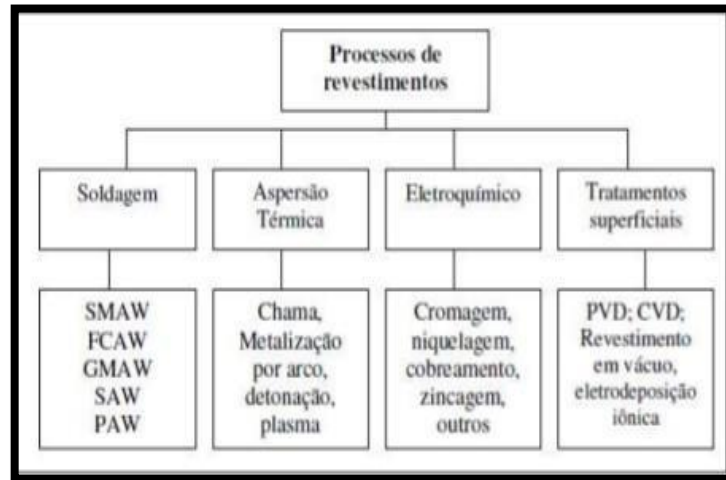


Fonte: Garcia (2011) apud BUDINSKI (1988).

Segundo Macedo e Gallego (2008), para que ocorra a diminuição dos impactos causados pelo desgaste abrasivo nas usinas sucroalcooleiras, e conseqüentemente a pausa para manutenções, é normalmente utilizada a aplicação de um recobrimento duro.

A Figura 12 mostra uma adaptação de Cunha (2018) da classificação de Henderson (1991), dos possíveis meios que podem ser utilizados para a devida aplicação de recobrimentos.

Figura 12: Classificação detalhada dos processos de recobrimento.



Fonte: CUNHA (2018).

3.4. MATERIAIS UTILIZADOS ATUALMENTE NA FABRICAÇÃO DE MOENDAS

As moendas podem ser fabricadas de vários tipos de materiais, sendo assim, existem também diversas relações quanto a necessidade e eficácia do material que constitui uma moenda.

Segundo o que é apresentado por Caltarosso (2008), grande parte dos materiais que compõem o terno de uma moenda são fabricados em materiais como aço fundido, ferro fundido, bronze, entre outros. A seguir serão apresentadas algumas propriedades mecânicas desses materiais:

- AÇOS-CARBONO

Trata-se basicamente de ligas de ferro junto com carbono. A percentagem de carbono presente é de até 2%, isto adicionado ao silício, cobre e manganês limitados a determinadas porcentagens.

- FERRO FUNDIDO

Pode-se definir o ferro fundido como uma liga constituída por ferro e carbono, onde o teor de carbono ultrapassa os 2%.

- BRONZE

É classificado como uma liga composta por cobre e estanho. Dentro dos parâmetros analisados, quando esta é oferecida comercialmente, o teor de estanho se encontra entre 2% e 10%.

Além dos apresentados, podem ser aplicados outros materiais em moendas como forma alternativa. Cardinis (2017) apresenta materiais alternativos para o recobrimento dos equipamentos visando a diminuição dos impactos danosos causados durante a realização das operações como, por exemplo, ASTM A36, AISI 304, AISI 439, AISI 410D, Hardox, entre outros.

3.5. AÇO MICROLIGADO HARDOX

Cunha (2018) apresenta os constituintes que compõem os aços de alta resistência Hardox, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1: Análise da composição química dos aços Hardox de alta resistência a abrasão.

Composição (% em peso)

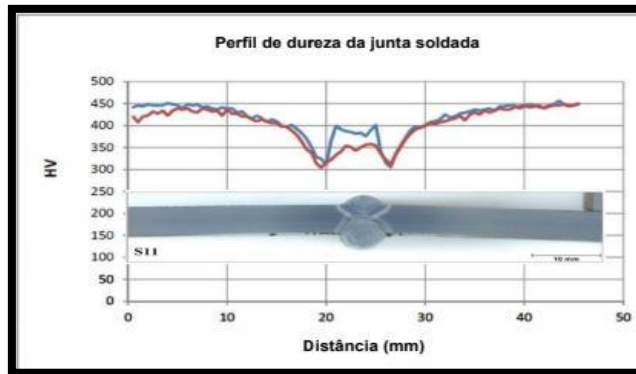
Elemento	Hardox ⁴⁵⁰	Hardox ⁵⁰⁰	Hardox ⁵⁵⁰	Hardox ⁶⁰⁰
C	0,20%	0,24%	0,34%	0,41%
SI	0,26%	0,25%	0,21%	0,15%
Mn	1,38%	0,70%	0,62%	0,51%
P	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%
S	<0,001%	0,002%	0,001%	0,001%
Cr	0,15%	0,60%	1,05%	0,28%
Ni	0,09%	0,05%	0,50%	1,97%
Mo	0,02%	0,05%	0,07	0,14%
V	0,01%	X	X	0,01%
Cu	0,16%	X	X	0,01%
Al	0,06%	X	X	X
Ti	0,01%	X	X	X
Nb	0,01%	X	X	X
Sn	0,01%	X	X	X
B	0,0015%	0,001%	0,001%	0,001%
N	0,0037%	X	X	X
Ca	0,0012%	X	X	X

Fonte: CUNHA (2018).

Segundo Busso (2016), os aços que possuem uma alta resistência e baixa liga (ARBL), como Hardox, dispõem de propriedades mecânicas consideradas superiores. Estes apresentam uma elevada resistência mecânica fixada a fatores como por exemplo, composição química, controle do processo termomecânico de fabricação e microestrutura final.

Os dados apresentados por Viegas (2016), apontam que o aço Hardox quando submetido ao aquecimento apresenta uma perda significativa quanto a disfunção da sua dureza, como mostra o Gráfico 1.

Gráfico 1: Perfil de microdureza em junta soldada.



Fonte: AKBARNEJAD (2012) apud Viegas (2016).

Desta maneira, entende-se que aços com dureza de 450 HB² que possuam espessuras entre 8,0 mm e 9,5 mm não necessitam de pré-aquecimento, sendo assim, conclui-se que a temperatura máxima de interpasse (temperatura entre os passes de solda) recomendada para o aço Hardox 450 é de 225°C. A Figura 13 apresenta os distintos aspectos exercidos por um aporte de calor na produtividade da soldagem.

Figura 13: Efeito do aporte de calor em junta soldada.



Fonte: Adaptação de VIEGAS (2016).

² HB- Variável de dureza Brinell (escala de variação da dureza)

3.5.1. Aspecto Econômico

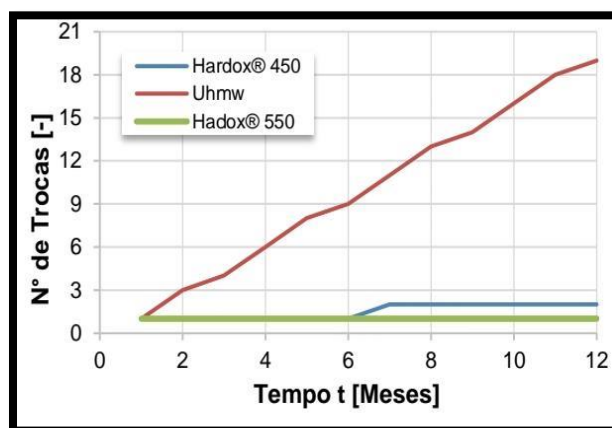
Viegas (2016), afirma que o aço microligado Hardox possui um longo período de vida útil, ou seja, tem seu período de utilização prolongado devido a alta resistência e dureza que lhe são atribuídas.

As chapas de aço Hardox dispõem de uma boa soldabilidade e usinabilidade³ agregadas a uma alta resistência a impactos, mesmo em baixas temperaturas (VIEGAS, 2016).

Dispondo destes fatores apresentados, devido a sua boa desenvoltura dentro do processo de utilização juntamente a sua resistência e dureza, o aço microligado Hardox possui um alto valor de custo benefício agregado a sua utilização e aplicação, de modo que seja considerada uma opção viável para a redução de paradas para manutenção e conseqüentemente o valor econômico aplicado na realização desta operação.

Com base nos dados obtidos por Medeiros et. al. (2017), sobre o estudo de perda de material, o Gráfico 2 mostra a comparação da resistência dos aços Hardox com outro tipo de aço, relacionada à quantidade de paradas para troca de material em 1 ano de uso.

Gráfico 2: Gráfico de n° de trocas X meses.



Fonte: MEDEIROS et. al. (2017).

³ Soldabilidade- facilidade com que duas superfícies se unem por meio da soldagem. Usinabilidade- facilidade com que um material pode ser cortado, torneado ou fresado.

Como mostra o gráfico 2, o aço Hardox 550 apresenta uma maior desenvoltura comparado aos outros, apresentando redução da necessidade de trocas. Destaca-se ainda que o aço Hardox 450 também apresenta bom desempenho, apesar de inferior ao Hardox 550.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com a análise dos dados utilizados como base para esta pesquisa é possível compreender que a moagem representa uma operação de suma importância dentro da indústria sucroalcooleira. Deste modo, a aplicação do aço microligado Hardox apresenta características como: alta resistência a abrasão e parâmetros físicos e químicos eficientes capazes de suprir as necessidades vitais das moendas. O uso do aço Hardox demonstrou potencial para ocasionar uma redução na quantidade de paradas para manutenção, contribuindo para uma relação positiva de custo benefício, já que com menos paradas tem-se uma redução com os custos de produção.

REFERÊNCIAS

BUSSO, Nicolangelo Del. **Caracterização microestrutural e mecânica em juntas soldadas por aço submerso em chapas de aço microligado API 5L X70 utilizadas em minerodutos**. São Paulo: Universidade Federal Mackenzie.

CALTAROSSO, Fábio. **Análise de tensões em equipamentos de moagem da cana-de-açúcar usando o método dos elementos finitos**. São Paulo: Escola de engenharia de São Carlos. 2008.

CARDINIS, André Luis Freitas. **Avaliação de resistência ao desgaste abrasivo de vários tipos de materiais instalados na lateral de esteira transportadora**. Ilha Solteira- SP: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2017.

CASTRO, Heizir F. De. **Processos químicos industriais II**, apostila I. São Paulo, 2013.

CUNHA, Mateus Cadagnotto. **Análise comparativa da resistência ao desgaste abrasivo utilizando abrasômetro de tambor de revestimentos duros depositados por soldagem e de aços Hardox**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2018.

LIMA, Aldemir Coelho; FERRARESI, Valtair Antonio. **Desgaste em equipamentos de processamento de cana-de-açúcar em destilaria de álcool**. Uberlândia.

MACEDO, Bruno Pereira Navarro; GALLEGO, Juno. **Simulação do processo de soldagem com arame tubular para deposição de revestimentos duros à base de diferentes carbonetos.** São Paulo: UNESP, 2008;

MEDEIROS, Eduardo C. de; CURI, Elvys M.; CASTRO, Richard M.; CAVALER, Luiz Carlos de C. **Comparação do desgaste abrasivo das chapas de aço hardox 450 e 550 e do polímero UHMW usados na superfície do sistema de transporte do minerador contínuo Joy 14CM09.** Santa Catarina: Faculdade SATC, 2017.

SANTOS, Vinicius Henrique dos; OLIVEIRA, Anderson Luís de. **Influência da microestrutura de um aço SAE 1095 na resistência ao desgaste abrasivo.** São Paulo: Faculdade de Tecnologia, 2018;

VIEGAS, Daniel Bicalho. **Avaliação da resistência ao desgaste de um aço hardox 450 submetido a solda de revestimento duro, com arame tubular DIN 8555 MF-10-GF-60-GR utilizando o processo FCAW.** Minas Gerais: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2016.