



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP

ESCOLA DE MINAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



VÍTOR GUIMARÃES SOARES

**ESTUDO COMPARATIVO DA SOLDAGEM DE MANUTENÇÃO POR
ELETRODO REVESTIDO E POR ARAME TUBULAR NA REDUÇÃO
DO DESGASTE DE EQUIPAMENTOS NA USINA DE CANA DE
AÇÚCAR**

**OURO PRETO - MG
2019**

VÍTOR GUIMARÃES SOARES

vgsoares94@gmail.com

**ESTUDO COMPARATIVO DA SOLDAGEM DE MANUTENÇÃO POR
ELETRODO REVESTIDO E POR ARAME TUBULAR NA REDUÇÃO
DO DESGASTE DE EQUIPAMENTOS NA USINA DE CANA DE
AÇÚCAR**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Professor orientador: Msc. Savio Sade Tayer

**OURO PRETO – MG
2019**

S676e Soares, Vítor Guimarães.
Estudo comparativo da Soldagem de Manutenção por Eletrodo Revestido e Arame Tubular na redução do desgaste de equipamentos na Usina de Cana-de-açúcar [manuscrito] / Vítor Guimarães Soares. - 2019.

61f.: il.: color; grafs; tabs.

Orientador: Msc. Sávio Tayer.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Eletrodo Revestido. 2. Arame Tubular. 3. Facas Picadoras. I. Tayer, Sávio. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 621

Catálogo: ficha.sisbin@ufop.edu.br



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ATA DA DEFESA

Ao 13º dia do mês de junho do ano de dois mil e dezanove às 17 horas, na sala 1, localizada na Escola de Minas, Campus Morro do Cruzeiro, UFOP, foi realizada a defesa de monografia do aluno **Vitor Guimarães Soares**, sendo a comissão examinadora constituída pelos professores: Prof. DSc. Luis Antonio Bortolala, Prof. MSc. Sávio Sade Tayer e Prof. MSc. Caio Cesar de Souza Pereira. O candidato apresentou o trabalho intitulado "Estudo comparativo da soldagem de manutenção por eletrodo revestido e por arame tubular na redução do desgaste de equipamentos na usina de cana de açúcar", sob orientação do professor Sávio Sade Tayer. Após as observações dos avaliadores, em comum acordo os presentes consideram o aluno **APROVADO**.

Ouro Preto, 13 de junho de 2019.

Prof. MSc. Sávio Sade Tayer
Professor Orientador

Prof. DSc. Luis Antonio Bortolala
Professor Avaliador

Prof. MSc. Caio Cesar de Souza Pereira
Professor Avaliador

Vitor Guimarães Soares
Aluno

Dedico mais esta etapa vencida a meus pais, irmão, filho, família e amigos pelo apoio e sempre acreditarem em mim.

A Deus por me dar forças a todo momento.

AGRADECIMENTO

Ao meu orientador Sávio Tayer, pelo incentivo e orientação neste trabalho.

Aos professores do curso de engenharia mecânica por suas importantes contribuições para o aprimoramento do trabalho.

Aos professores Caio e Bortolaia em especial por constituir a banca de defesa.

Ao André Neto por me aconselhar neste trabalho.

Aos amigos da Engenharia Mecânica pelos anos de convivência.

Aos amigos, a família e companheiros de moradia em Ouro Preto.

À instituição de ensino, Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP

“Talvez não tenhamos conseguido fazer o melhor. Mas lutamos para que o melhor fosse feito. Não somos o que deveríamos ser, não somos o que iremos ser, mas graças a Deus não somos o que éramos”.

Martin Luther King

RESUMO

A soldagem de manutenção é utilizada nos mais diversos ramos da indústria, é aplicada na recuperação de peças e equipamentos; e quanto mais complexos são os processos, maior rigor e controle se deve ter na manutenção e conseqüentemente na soldagem. O tipo de soldagem mais utilizado na manutenção é a soldagem a arco elétrico. Na indústria sucroalcooleira em muitos equipamentos e peças são aplicadas a manutenção por meio da soldagem de revestimento para aumentar a resistência dos mesmos. Entre esses equipamentos e peças estão as facas picadoras de aço SAE 1020 que são peças do picador, equipamento na indústria sucroalcooleira que tem a função de picar as canas-de-açúcar em pequenos pedaços. Devido a essa função, as facas picadoras sofrem desgastes abrasivo por causa do contato direto com a cana-de-açúcar. O presente trabalho apresenta dois tipos de soldagem aplicados no revestimento das facas picadoras, a soldagem com eletrodo revestido e a soldagem com arame tubular devido a fácil aplicação, boa qualidade de solda e baixa taxa de deposição. Os parâmetros utilizados para o processo iniciaram-se com a determinação dos consumíveis, fonte de energia, construção e montagem das facas picadoras e aplicação do revestimento. Após a aplicação e o ciclo de trabalho de 6 meses na indústria, foi analisado os desgastes presentes nas facas e pode-se observar que o desgaste foi superior nas facas revestidas com arame tubular comparados com o desgaste nas facas revestidas com eletrodo revestido, a perda de metal da faca foi superior à quantidade de revestimento aplicado, demonstrando a ocorrência de perda de substrato, o desgaste das facas foi maior nas facas posicionadas à direita do picador, observando a vista frontal.

Palavras-chave: Eletrodo Revestido, Arame Tubular, Facas picadoras, Soldagem de manutenção, Desgaste.

ABSTRACT

The welding of maintenance is used in the most diverse branches of the industry, is applied in the recovery of parts and equipment; and the more complex the processes, the more rigor and control one must have in maintenance and consequently in welding. The type of welding most used in maintenance is the electric arc welding. In the sugar and alcohol industry in many equipment and parts maintenance is applied by means of welding coating to increase the resistance thereof. Among these equipment and parts are SAE 1020 steel chopping knives that are pieces of the chopper, equipment in the sugar-alcohol industry that has the function of chopping sugarcane in small pieces. Due to this function, the chopping knives undergo abrasive wear because of direct contact with the sugar cane. The present work presents two types of welding applied in the coating of the chopping knives, the welding with coated electrode and the welding with tubular wire due to easy application, good weld quality and low deposition rate. The parameters used for the process began with the determination of the consumables, energy source, construction and assembly of the chopping knives and coating application. After the application and the 6-month work cycle in the industry, the wear on the knives was analyzed and it can be observed that the wear was higher on the knives coated with tubular wire compared to the wear on the coated electrode coated knives, the loss of metal of the knife was higher than the amount of coating applied, demonstrating the occurrence of loss of substrate, the wear of the knives was greater in the knives positioned to the right of the picador, observing the frontal view.

Key-words: Coated Electrode, Tubular Wire, Chopping Knives, Maintenance Welding, Wear.

LISTA DE SIMBOLOS

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

MIG – Soldagem a arco metálico com gás inerte

MAG – Soldagem a arco elétrico com proteção de CO₂

AWS – American Welding Society

TiO₂ – Óxido de Titânio

CO₂ – Óxido de Carbono

TIG – Soldagem a arco elétrico de tungstênio e proteção de gás inerte

SAE – Society of Automotive Engineers

AT – Arame Tubular

ER – Eletrodo Revestido

Im – Corrente média

Um – Tensão média

A – Ampere

V – Volts

Desg – Desgaste sofrido

P_{apósrev} – Peso após o revestimento

P_{trab} – Peso após ciclo de trabalho

P_i – Peso inicial da faca

P_{rev} – Peso do revestimento

C – Carbono

Si – Silício

Mn – Manganês

Cr – Cromo

S – Enxofre

P – Fósforo

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Princípio de funcionamento da soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido...	12
Figura 2 - Região do arco na soldagem com eletrodos revestidos	14
Figura 3 - Equipamento para a soldagem com eletrodo revestido	15
Figura 4 - Esquema de classificação de eletrodos de aço carbono	16
Figura 5 - Processo de soldagem TIG	18
Figura 6 – Processo de soldagem MIG.....	20
Figura 7 - Equipamento para a soldagem MIG	20
Figura 8 - Processo de soldagem com arame tubular	22
Figura 9 - Esquemática do processo de soldagem a Arco Submerso	24
Figura 10 - Equipamento para soldagem ao Arco Submerso	25
Figura 11 - Representação esquemática dos equipamentos de preparo e extração do caldo....	27
Figura 12 - Mesa alimentadora.....	28
Figura 13 - Vista interna do picador.....	28
Figura 14 - Desfibrador e martelo	29
Figura 15 - Moenda em operação e em manutenção.....	30
Figura 16 - Fluxograma dos materiais e métodos	33
Figura 17 - Facas picadoras e Martelos desfibradores	36
Figura 18 - Facas picadoras com revestimento	38
Figura 19 - Faca picadora	40
Figura 20 - Faca picadora	41
Figura 21 - Desgaste das facas picadoras	43
Figura 22 - Valores das massas médias	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos e funções dos componentes de fluxo.....	13
Tabela 2 - Vantagens, limitações e aplicações da soldagem por eletrodo revestido.....	15
Tabela 3 - Vantagens, limitações e aplicações da soldagem TIG	19
Tabela 4 - Vantagens, limitações e aplicações da soldagem MIG	21
Tabela 5 - Vantagens, limitações e aplicações do processo de soldagem com arame tubular .	22
Tabela 6 - Vantagens, limitações e aplicações do processo de soldagem ao Arco Submerso .	26
Tabela 7 - Variáveis e indicadores	34
Tabela 8 - Composição química do aço SAE 1020	36
Tabela 9 - Consumíveis utilizados nos processos de soldagem	39
Tabela 10 - Parâmetros de soldagem utilizados	40
Tabela 11 - Dados de pesagens das facas	42
Tabela 12 - Valores médios do peso do revestimento e do desgaste.....	43

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Formulação do Problema.....	1
1.2	Justificativa.....	3
1.3	Objetivos.....	4
1.3.1	Geral	4
1.3.2	Específicos.....	4
1.4	Estrutura do Trabalho	4
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1	Manutenção	6
2.1.1	Manutenção Corretiva	7
2.1.2	Manutenção Preventiva	7
2.1.3	Manutenção Preditiva.....	8
2.2	Soldagem de manutenção	9
2.3	Soldagem	10
2.4	Soldagem à arco elétrico.....	11
2.4.1	Soldagem a Arco Elétrico com Eletrodos Revestidos.....	11
2.4.2	Soldagem a Arco Elétrico com Proteção Gasosa	17
2.4.2.1	Soldagem a arco elétrico, com eletrodo de tungstênio e proteção de gás inerte (Processo TIG).....	17
2.4.2.2	Soldagem a arco metálico com gás inerte (Processo MIG)	19
2.4.2.3	Soldagem de arco elétrico, com proteção de CO ₂ (Processo MAG).....	21
2.4.2.4	Soldagem com arame tubular.....	21
2.4.3	Soldagem a arco elétrico sem proteção gasosa (Processo Non-Gas)	23
2.4.4	Soldagem por Arco Submerso.....	23
2.5	Indústria sucroalcooleira.....	26
2.5.1	Mesa alimentadora.....	27
2.5.2	Picador	28
2.5.3	Desfibrador	29
2.5.4	Moendas	29
3	METODOLOGIA.....	31
3.1	Tipo de pesquisa	31
3.2	Materiais e Métodos	32

3.3	Variáveis e indicadores.....	33
3.4	Instrumentos e coleta de dados.....	34
3.5	Tabulação dos dados.....	34
3.6	Considerações finais.....	34
4	RESULTADOS.....	35
4.1	Características do setor.....	35
4.2	Desgaste dos equipamentos.....	35
4.3	Aplicações da soldagem de revestimento.....	38
4.4	Aplicação de revestimento duro em facas picadoras.....	38
4.4.1	Fonte de soldagem.....	39
4.4.2	Consumíveis utilizados.....	39
4.4.3	Construção e montagem das facas picadoras.....	39
4.4.4	Aplicação do revestimento duro.....	40
4.4.5	Avaliação do desgaste.....	40
4.5	Resultados e discussão.....	41
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	45
5.1	Conclusão.....	45
5.2	Recomendações.....	45
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46

1 INTRODUÇÃO

1.1 Formulação do Problema

A soldagem de manutenção é utilizada nos mais diversos ramos da indústria, desde uma simples fábrica até na indústria aeronáutica. A soldagem é utilizada na recuperação de peças. Quanto mais complexos são os processos e equipamentos, maior rigor e controle se deve ter na manutenção e conseqüentemente na soldagem aplicada neste processo.

Existem vários exemplos de peças ou componentes em que a soldagem é utilizada: fabricação de tubulações, recuperação de eixos, rotores, carcaças e componentes de bombas hidráulicas e compressores, reparos e fabricação de rolos cilíndricos de laminação em processos de lingotamento contínuo nas indústrias siderúrgicas, recuperação de lâminas e dentes de máquinas do tipo escavadeiras e terraplanagem, entre outros.

O presente trabalho apresenta a aplicação da soldagem na recuperação de equipamentos com desgaste em usina de açúcar e álcool. Pretende-se apresentar de forma objetiva o benefício da utilização da soldagem em processos de manutenção corretiva e preventiva.

Até a década de 1880 a soldagem era realizada apenas na forja do ferreiro. Desde então a marcha da industrialização e duas guerras mundiais influenciaram o rápido desenvolvimento da soldagem moderna. Os métodos de soldagem básicos como: soldagem por resistência, soldagem a gás e soldagem a arco, foram todos inventados antes da Primeira Guerra Mundial. Contudo, durante o início do século XX, a soldagem e corte a gás foram dominantes para a fabricação e trabalhos de reparo. Somente alguns anos depois, a soldagem elétrica ganhou semelhante aceitação (ESAB BRASIL, 2005).

De acordo com Modenesi & Marques (2000, p. 2):

Soldagem é considerada como um método de união, porém, muitos processos de soldagem ou variações destes são usados para a deposição de material sobre uma superfície, visando a recuperação de peças desgastadas ou para a formação de um revestimento com características especiais.

Para algumas falhas de equipamento, na verdade, pode ser economicamente mais viável consertar do que substituir; além disso, peças com grandes dimensões e custo elevado dificilmente são estocadas. Nestas situações, o processo de soldagem de manutenção tem

muita importância para que as condições iniciais de funcionamento dos equipamentos sejam restituídas (SENAI, 1997).

Segundo Okumura & Taniguchi (1982) mesmo não sendo um tipo específico de solda, o processo de soldagem de manutenção tem uma vasta aplicabilidade em reparo de peças desgastadas, recuperação de trilhos e ferramentas, soldagem de trincas ou outras aplicações na manutenção, onde recebe o nome de soldagem de manutenção.

Bessa (2018) relata que os principais campos de atuação dos processos de soldagem são de produção e de manutenção. O campo de produção apresenta maior difusão, não só pelo maior volume de suas aplicações como pela sua participação nas indústrias. Neste caso, os técnicos e soldadores que atuam na área seguem uma orientação segura e garantida com todos os parâmetros pré-determinados inclusive com sistemas automatizados. É durante a soldagem de produção que são preparados os corpos-de-prova soldados com parâmetros adequados. Em seguida esses corpos-de-prova são submetidos a testes destrutivos para confirmar as características mecânicas das juntas soldadas.

Ainda segundo Bessa (2018) o campo da manutenção e reparo, apresenta aspectos diferentes, sendo que seu principal objetivo é manter em funcionamento as linhas de produção, recuperar rápida e economicamente toda a peça ou equipamento cuja substituição tenha custo elevado e muitas vezes impossível. Este tipo de soldagem promove economia para as indústrias, isso porque reduz as paradas de máquinas e diminui a necessidade de se manter grandes estoques de reposição.

Segundo Xenos (1998), o trabalho de manutenção, além de manter as condições originais dos equipamentos, introduz melhorias com o intuito de aumentar a produtividade e confiabilidade dos equipamentos.

Ainda de acordo com Xenos (1998) a manutenção pode ser dividida em três grupos principais:

- Manutenção corretiva: realizada depois de ocorrer a falha e que virá reestabelecer as condições iniciais dos equipamentos;

- Manutenção preditiva: baseada no monitoramento do equipamento indicando a previsão da ocorrência da falha;

- Manutenção preventiva: realizada para reduzir a probabilidade de falha, uma manutenção programada.

No cenário da manutenção a soldagem é um processo primordial para manter os equipamentos em condições de operação. A soldagem tem vasta aplicação na manutenção, como em enchimento de peças desgastadas, recuperação de trilhos e ferramentas, além da soldagem de trincas em estruturas e equipamentos entre outras aplicações na manutenção (OKUMURA & TANIGUCHI, 1982).

A disponibilidade de equipamentos em estado adequado de operação, com confiabilidade e segurança também faz parte dos processos de soldagem. Um bom gerenciamento da soldagem de manutenção juntamente com os processos e procedimentos adequados, permite redução nos custos, reparos rápidos, extensão da vida dos equipamentos e conseqüentemente uma influência positiva nos resultados.

Diante da problemática surge a seguinte pergunta:

Qual tipo de soldagem de manutenção terá menor desgaste comparando soldagem por eletrodo revestido e por arame tubular nos equipamentos da usina de cana-de-açúcar?

1.2 Justificativa

O presente trabalho apresenta o estudo para a execução da soldagem de manutenção na indústria de cana de açúcar.

Segundo Okumura & Taniguchi (1982, p. 3):

Por volta de 1940, época em que a soldagem passou a ser utilizada de maneira mais intensiva, tiveram lugar os primeiros casos registrados de fratura frágil em juntas soldadas. Aliás, são bastante conhecidos os problemas que ocorrem em navios construídos durante a II Guerra Mundial, muitos deles desativados por catastróficas falhas estruturais, acarretadas principalmente pelas juntas soldadas. Outros casos relatados referem-se a falhas em pontes metálicas principalmente construídas com aços de alta resistência, em que os problemas de fragilização demonstraram ser bastantes críticos.

O desgaste de componentes tem grandes conseqüências econômicas para as empresas de cana de açúcar, não só pelos custos com reposição e manutenção, mas também pelos custos indiretos associados à parada de equipamentos e à parada de produtividade. Isso se manifesta numa série de operações, algumas realizadas em altas temperaturas, e que incluem moagem, perfuração, transporte, mistura e separação de materiais muitas vezes de alta abrasividade.

Diante disso, é necessário um controle de soldagem no setor de manutenção em equipamentos industriais, para que os possíveis reparos executados pela solda, não falhe em

curto período causando a indisponibilidade do equipamento, gerando perda na produção, custos elevados para o reparo e até mesmo uma possível perda dos equipamentos.

Assim, aplicação de medidas para a soldagem de manutenção nos equipamentos tende a diminuir os custos de manutenção e de produção, uma vez que, tende a reduzir o retrabalho, disponibilizam os equipamentos para a produção com maior qualidade, confiabilidade e em menor tempo de reparo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Mostrar a importância da aplicação da soldagem na manutenção industrial no setor sucroalcooleiro.

1.3.2 Específicos

Realizar um estudo teórico sobre o processo de soldagem a arco elétrico, bem como equipamentos, controle e variáveis envolvidas no processo para a soldagem de manutenção.

Aplicar a soldagem na manutenção por eletrodo revestido e por arame tubular.

Avaliar e comparar o desgaste das facas picadoras.

1.4 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho será apresentado em uma estrutura dividida em cinco capítulos, conforme apresentado a seguir.

O capítulo 1 relata a formulação e a justificativa para o estudo do problema, os objetivos gerais e específicos.

Em seguida o capítulo 2 apresenta um estudo teórico sobre o tema abordado, definindo os principais conceitos.

Assim, o capítulo 3 engloba a metodologia aplicada e as ferramentas utilizadas para a coleta de dados que são fundamentais para discutir os resultados.

Diante disso, o próximo capítulo demonstra os resultados alcançados na etapa de coleta de dados e fundamentos teóricos. Dessa forma, apresenta a contribuição da soldagem na manutenção.

Por fim, o último capítulo finaliza o trabalho com as considerações finais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem o objetivo de apresentar uma pesquisa bibliográfica sobre tópicos que poderá ajudar a demonstrar como a soldagem de manutenção por arco elétrico contribuirá em uma indústria sucroalcooleira.

2.1 Manutenção

A manutenção tem grande importância nos setores industriais hoje em dia e empresas que querem manter a competitividade do mercado não a deixa de lado.

De acordo com a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, através da NORMA BRASILEIRA REGULAMENTADORA - NBR 5462 (1994), manutenção é a sintonia entre as ações administrativas, técnicas e de supervisão que pretendem manter ou repor um determinado item em condições de desempenhar as funções que se esperam do mesmo.

Xenos (1998) enfatiza que manutenção é agir de forma a garantir que os equipamentos executem as funções estabelecidas em seus projetos, com uma eficiência exigida e por determinado tempo de vida útil. Isto significa que as atividades de manutenção têm a finalidade de prevenir a degradação dos equipamentos, causada pelo próprio desgaste natural e pelo uso.

Ainda segundo Xenos (1998), o conceito de manutenção pode ser aplicado a responsabilidade de implantar melhorias nos equipamentos para evitar a ocorrência da falha, reduzir custos e aumentar a confiabilidade e produtividade dos equipamentos.

Seguindo o mesmo raciocínio Pinto *et al.* (2001) destacam a importância estratégica da manutenção que não precisa ser apenas eficiente, mas também eficaz: não basta recolocar um item em suas condições originais, a manutenção tem que disponibilizar os equipamentos em condições de oferecer suas funções, levando em consideração a segurança, cuidado com meio ambiente, confiabilidade e com custos competitivos e adequados.

Para Tavares *et al.* (2005), a manutenção tem vários objetivos como: reduzir custos, evitar paradas inesperadas da produção, reduzir falhas, aumentar a segurança das atividades, prolongar a vida útil dos equipamentos e reduzir tempos de paradas dos equipamentos.

Para Xenos (1998) a manutenção pode ser dividida em três macro categorias:

- Manutenção Corretiva

- Manutenção Preventiva
- Manutenção Preditiva.

Assim, fica evidente o papel da manutenção dentro das organizações, que é de manter os equipamentos e instalações disponíveis para desempenhar sua função, sempre com qualidade e confiabilidade.

2.1.1 Manutenção Corretiva

A Norma NBR 5462 (1994) define a manutenção corretiva como correção da falha após a sua ocorrência sendo destinada a recuperar as funções requeridas dos equipamentos e instalações.

Xenos (1998) denomina que a manutenção corretiva é realizada após a ocorrência da falha e tem como finalidade o restabelecimento das condições iniciais de funcionamento. O autor destaca que a opção por manutenção corretiva deve levar em conta os custos e as perdas de produção acarretada.

Pinto *et al.* (2001) apresenta uma definição mais abrangente de manutenção corretiva. Segundo o autor, é uma manutenção atuada para corrigir a falha ou o mau desempenho, restaurando as condições de funcionamento do equipamento. Com isso, nem sempre a manutenção corretiva é uma manutenção de emergência.

Ainda de acordo com Pinto *et al.* (2001) a manutenção corretiva é definida em duas classes: a manutenção corretiva planejada e a não planejada, apresentadas seguir.

- 1) Manutenção corretiva planejada: é aplicada para corrigir a falha ou o mau desempenho, sendo uma decisão gerencial. Assim, com um planejamento da atividade faz dessa classe de manutenção corretiva mais barata, mais rápida, mais segura e com melhor qualidade que o trabalho não planejado.
- 2) Manutenção corretiva não planejada: é aplicada após a ocorrência da falha. Possui altos custos devido à quebra inesperada e parada de produção, perda na qualidade dos produtos e riscos relacionados à segurança dos equipamentos, instalações e pessoas.

2.1.2 Manutenção Preventiva

A Norma NBR 5462 (1994) define a manutenção preventiva como aquela realizada em intervalos de tempo predeterminados, ou com critérios definidos, destinada a reduzir falhas e minimizar a degradação do funcionamento de algum item.

Segundo Pinto *et al.* (2001), a manutenção preventiva nasceu após a Segunda Guerra Mundial, onde as organizações buscavam maior produtividade e para isso a necessidade de maior disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos. O autor ainda descreve a manutenção preventiva como a atuação, em um tempo predeterminado, de um plano previamente elaborado com a tarefa de reduzir ou evitar a ocorrência da falha ou uma queda no desempenho.

Xenos (1998) enfatiza que a manutenção preventiva deve ser a principal atividade de manutenção das organizações e após ser implantada deve possuir caráter obrigatório.

A manutenção preventiva procura evitar a ocorrência de falhas. Ela será tanto mais conveniente quanto maior for a simplicidade na reposição; quanto mais altos forem os custos de falhas; quanto mais as falhas prejudicarem a produção e quanto maiores forem as implicações das falhas na segurança pessoal e operacional (KARDEC & NASCIF, 2010).

Assim, evidencia-se a importância da manutenção preventiva e sua função estratégica, bem como ela contribui para o estabelecimento e evolução dos padrões. Além, de contribuir de forma significativa nos níveis de produção e na redução dos custos das organizações.

2.1.3 Manutenção Preditiva

A norma NBR5462-1994 define a manutenção preditiva como a que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão, para reduzir outras manutenções como a preventiva e a corretiva.

Para Xenos (1998) a manutenção preditiva é uma maneira de inspecionar equipamentos e suas tarefas fazem parte do planejamento da manutenção preventiva.

Kardec & Nascif (2010) definem manutenção preditiva como uma atuação realizada com base na mudança de padrão de desempenho ou condição, sendo acompanhada de uma forma ordenada.

Em acordo com Pinto *et al.* (2001) o objetivo da manutenção preditiva é aquilo de permitir a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível através a previsão das condições do sistema com base na medida de alguns parâmetros fundamentais.

A manutenção preditiva apresenta uma redução significativa dos acidentes causados por falhas em equipamentos significativa. Os custos envolvidos devem ser analisados de duas

formas, o acompanhamento periódico através de aparelhos de medição e análise com o custo não muito alto, e a instalação de sistemas de monitoramento contínuo online que apresenta um custo elevado. (KARDEC & NASCIF, 2010).

Assim, também a soldagem aparece no cenário da manutenção e o adequado gerenciamento da soldagem de manutenção permite redução nos custos, reparos rápidos, extensão da vida dos equipamentos e conseqüentemente uma influência positiva nos resultados.

2.2 Soldagem de manutenção

Bessa (2018) ressalta que a soldagem de manutenção tem o objetivo de manter em funcionamento as linhas de produção, recuperação rápida e de custos baixos toda a peça ou equipamento.

Neste sentido o processo de soldagem de manutenção vem ganhando importância de forma crescente no setor da manutenção para prolongar a vida útil dos componentes de equipamentos e máquinas (OKUMURA & TANIGUCHI, 1982).

Seguindo esta linha de raciocínio Veiga (2010) destaca que na manutenção a soldagem tem a função de aumentar a disponibilidade dos equipamentos, manter a qualidade dos produtos e reduzir custos. Tudo isso pode ser conseguido através do revestimento de áreas de peças sujeitas a altas taxas de desgaste com material de maior resistência, ou na recuperação de trincas ou fraturas, dessa forma pode-se retornar com as peças e equipamentos para a operação sem a necessidade da troca, reduzindo custos e tempo de manutenção.

A soldagem vem evoluindo tecnologicamente com o desenvolvimento de ligas especiais resistentes ao desgaste que são utilizadas no revestimento destas peças, pois possuem maior resistência ao desgaste em relação ao metal dos equipamentos, normalmente aço ou ferro fundido. De acordo com Paranhos (2010), a soldagem ganhou uma grande importância na evolução da vida útil dos equipamentos usados na indústria sucroalcooleira. Os equipamentos com peças revestidas aumentam sua vida útil em até 10 vezes quando se comparado ao mesmo sem revestimento. Hoje em dia várias peças são revestidas por soldagem antes de entrar em operação que, devido ao aumento da vida útil dos equipamentos, diminui paradas da linha de fabricação para substituição de peças, e aumenta a produtividade das usinas.

Conde (1986) destaca que os revestimentos duros são empregados com a finalidade de reduzir os desgastes nos equipamentos. Esses revestimentos são aplicados pelos processos de soldagem a arco elétrico com eletrodos revestidos, MIG/MAG, arames tubulares e arco submerso. O processo de soldagem por eletrodo revestido é muito utilizado para a aplicação de revestimentos pelo setor sucroalcooleiro. Isso ocorre devido a sua grande versatilidade, baixo custo, baixa energia de soldagem e baixa diluição.

SENAI (1997) apresenta as etapas para a soldagem de manutenção em trincas e fraturas são:

- Definir a localização do início e fim da trinca.
- Identificar o material.
- Preparar a região da solda, permitindo o acesso dos equipamentos.
- Limpar a região da solda, removendo óleo, graxa e outros contaminantes.
- Definir o processo de soldagem e o consumível, de modo a tentar manter as características mecânicas iniciais.
- Determinar os parâmetros de soldagem, como pré e pós-aquecimento, sequência de soldagem.
- Verificar a necessidade de sobremetal para acabamento da junta soldada.

Diante do destaque realizado por Conde (1986), o presente trabalho realiza um estudo da importância da soldagem na manutenção por arco elétrico.

2.3 Soldagem

Para Marques *et al.* (2000) a soldagem é um método de união baseado em forças mecânicas macroscópicas entre as partes a serem unidas e aqueles baseados em forças microscópicas.

A *American Welding Society – AWS* (2001) define soldagem como a operação que visa obter a união dos materiais produzida pelo aquecimento até uma determinada temperatura, com ou sem metal de adição ou aplicação de pressão.

Segundo Marques *et al.* (2000), o processo de soldagem apresenta uma definição mais abrangente, já que se pode aplicar a solda aos não metais e que é possível soldar sem que ocorra a fusão. Ainda, segundo o autor, muitos processos de soldagem são utilizados na deposição de material sobre uma superfície, objetivando a recuperação das peças em desgaste.

2.4 Soldagem à arco elétrico

A *American Welding Society* (2001) define o processo de soldagem por arco elétrico como o processo de união que através da energia fornecida pelo arco elétrico, com ou sem a aplicação de pressão, e com o sem o uso de metal de adição, produz a coalescência das peças.

Para Okumura *et al.* (1982) os processos de soldagem a arco elétrico são:

- 1) Soldagem a Arco Elétrico com Eletrodos Revestidos;
- 2) Soldagem a Arco Elétrico com Proteção Gasosa;
- 3) Soldagem a Arco Elétrico sem Proteção Gasosa;
- 4) Soldagem por Arco Submerso.

2.4.1 Soldagem a Arco Elétrico com Eletrodos Revestidos

O processo de soldagem a arco elétrico com eletrodos revestidos é o mais utilizado hoje em dia (OKUMURA & TANIGUCHI, 1982).

Para Marques *et al.* (2000) a soldagem a arco elétrico com eletrodos revestidos é um processo de união dos metais obtida pelo aquecimento destes com um arco estabelecido entre um eletrodo revestido e a peça.

Neste processo, o eletrodo consiste em um arame de material apropriado, coberto com um revestimento fundente, consumido através de um arco gerado entre suas extremidades livres e o metal que se deseja soldar, o arco representa a fonte de energia que é usada para promover a fusão das partes. O esquema básico de funcionamento desse processo é mostrado na Figura 1 (OKUMURA & TANIGUCHI, 1982).

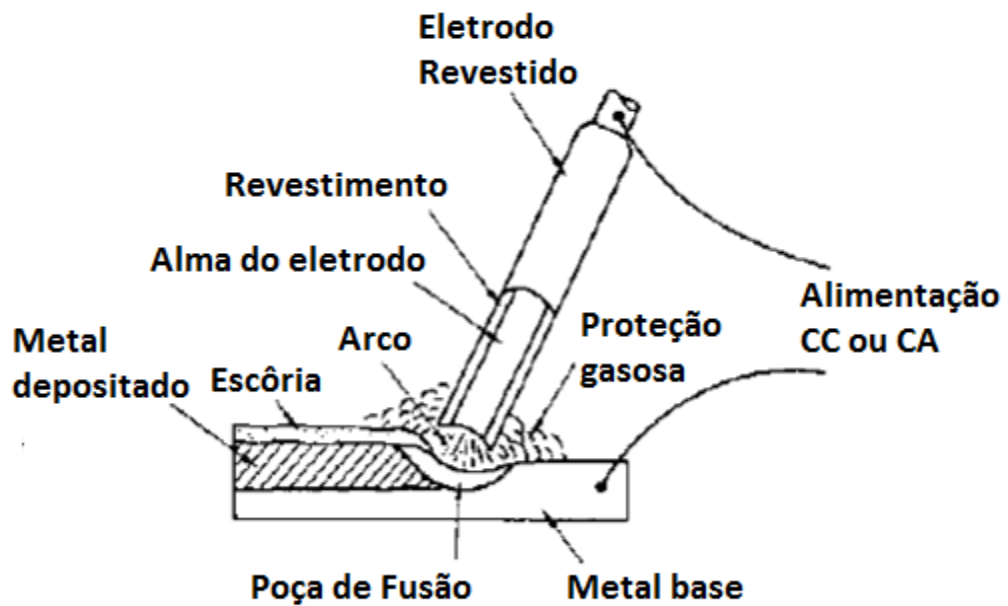


Figura 1 - Princípio de funcionamento da soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido
 Fonte: Okumura & Taniguchi (1982), p9

Okumura & Taniguchi (1982) destacam três principais funções do revestimento que são a de estabilizar o arco, fazer a proteção da poça de fusão através da escória e dos gases gerados no processo e adicionar elementos de liga ao metal depositado.

O revestimento é uma mistura de ingredientes, combinados em proporções. Cada ingrediente tem uma ou mais funções no revestimento, podendo ser classificado como estabilizador do arco, formador de escória, gerador de gases redutores, desoxidante, fornecedor de elementos de liga, oxidante e fixador do revestimento. A Tabela 1 apresenta os principais tipos de ingrediente presente no revestimento do eletrodo e suas funções (OKUMURA & TANIGUCHI, 1982).

Tabela 1 - Tipos e funções dos componentes de fluxo

<u>Funções</u> Componentes	Estabi- lização do arco	Forma- ção de escória	Desoxi- dação	Oxidação	Geração de gás	Adição de elemen- tos de ligas	Refor- çador do revesti- mento	Fixador do fluxo
Celulose			b		A		A	
Argamassa de porcelana	A	A						
Talco	A	A						
Óxido de ferro	A	A						
Ilmenita	A	A						
Óxido de ferro	A	A		A				
Carbonaro de cálcio	A	A		A	A			
Ferromanganês		A	A			b		
Dióxido de manganês		A		A		b	b	
Sílica		A		A		b		
Silicato de potássio	A	A						A
Silicato de sódio	A	A						A

Fonte: Adaptado Okumura & Taniguchi (1982), p10

A – Função principal

b – Função secundária

O eletrodo é formado por um núcleo metálico, chamado de alma, que varia o comprimento de 250 a 500mm, revestido por uma camada de minerais e/ou outros materiais com diâmetro total típico entre 2 e 8 mm. A Figura 2 mostra o processo (MARQUES & MODENESI, 2000).

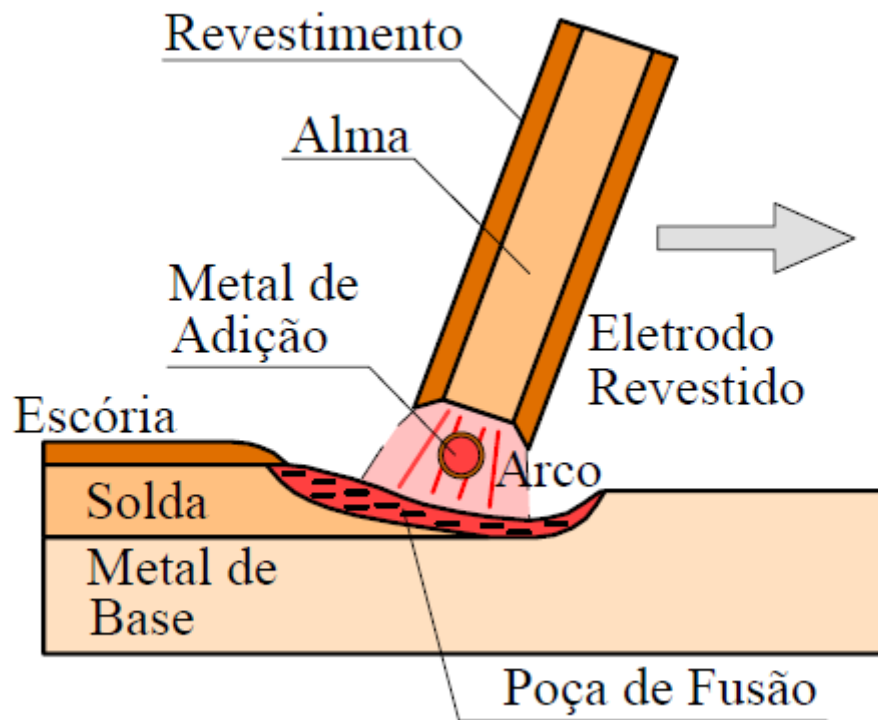


Figura 2 - Região do arco na soldagem com eletrodos revestidos
Fonte: Marques & Modenesi (2000), p11

O equipamento usual para a soldagem consiste em fonte de energia, porta-eletrodo e cabos, além de equipamentos de segurança para o soldador e para a limpeza do cordão de remoção de escória. A Figura 3 ilustra o equipamento e processo de soldagem e a Tabela 2 relata as vantagens, limitações e aplicações do processo (MARQUES & MODENESI, 2000).

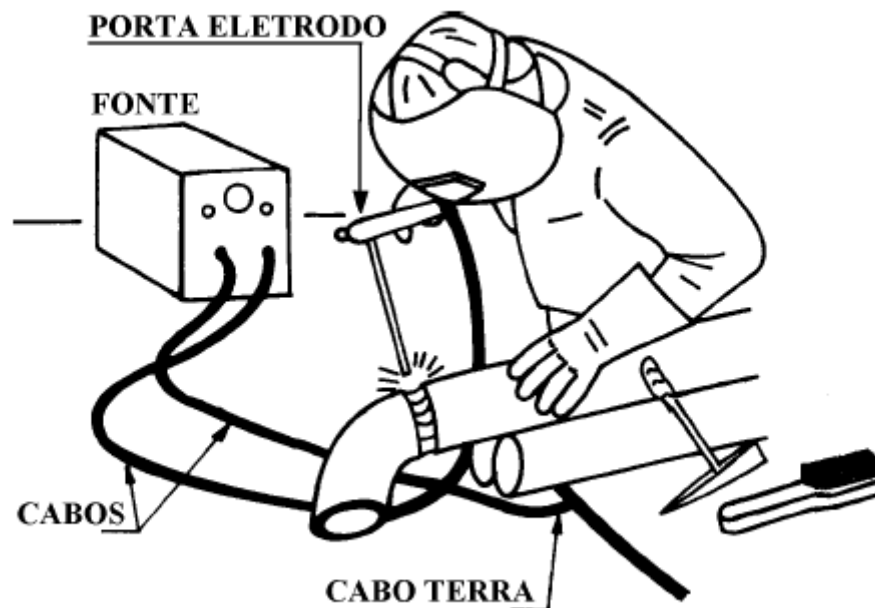


Figura 3 - Equipamento para a soldagem com eletrodo revestido
 Fonte: Marques & Modenesi (2000), p12

Tabela 2 - Vantagens, limitações e aplicações da soldagem por eletrodo revestido

Vantagens e Limitações	Aplicações
<ul style="list-style-type: none"> - Equipamentos simples, portátil e barato - Não necessita fluxos ou gases externos - Pouco sensível a presença de correntes de ar (trabalho no campo) - Facilidade para atingir áreas de acesso restrito - Aplicação difícil para materiais reativos - Produtividade relativamente baixa - Exige limpeza após cada passe 	<ul style="list-style-type: none"> - Soldagem de produção, manutenção e em montagens no campo - Soldagem de aços carbono e ligado - Soldagem de ferro fundido - Soldagem de alumínio, níquel e suas ligas

Fonte: Adaptado Marques & Modenesi (2000), p12

Existem muitas marcas e tipos de eletrodos, cada qual apresentando suas próprias composições para suprir determinadas necessidades. No Brasil, normas da AWS são amplamente utilizadas para a especificação de consumíveis de soldagem. A especificação da

AWS para aços de baixo carbono é feita através de um conjunto de letras e dígitos apresentados na Figura 4 (MARQUES & MODENESI, 2000).

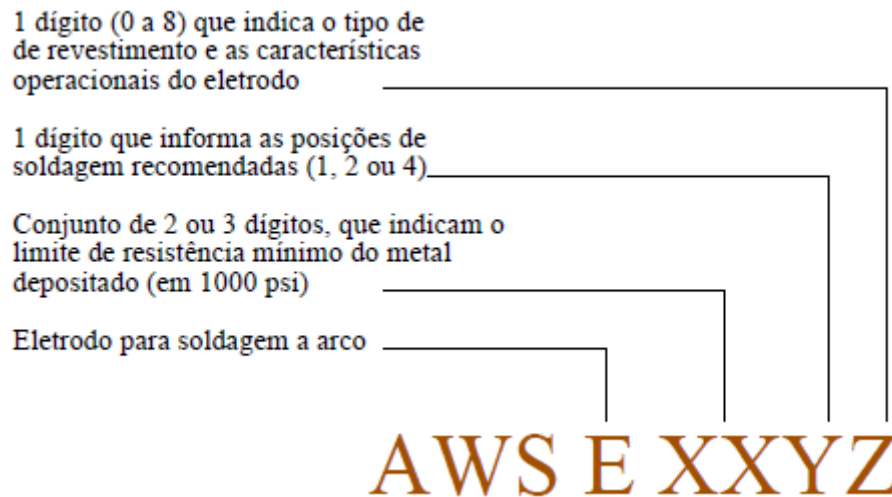


Figura 4 - Esquema de classificação de eletrodos de aços carbono
Fonte: Marques & Modenesi (2000), p14

Marques & Modenesi (2000) destacam que para os aços carbono, os eletrodos podem ser divididos em diferentes tipos em função das características de seu revestimento, evidenciando-se:

- 1) Eletrodos celulósicos (EXX10 e EXX1): apresentam uma elevada quantidade de celulose no revestimento que, com sua decomposição pelo arco, geram gases que protegem o metal líquido e pequena produção de escória (MARQUES & MODENESI, 2000).

De acordo com Okumura *et al.* (1982), o eletrodo celulósico contém 30% de materiais orgânicos que geram grande volume de gases para proteger a poça de fusão, produz uma escória fina e de fácil separação e o arco é muito potente permitindo uma grande penetração.

- 2) Eletrodos rútilicos (EXXX2, EXXX3 e EXXX4): possuem quantidade considerável de rutilo (TiO_2) no revestimento e produz escória abundante, densa e de fácil separação (MARQUES & MODENESI, 2000).

Este tipo de eletrodo possui alto conteúdo de óxido de titânio (TiO_2), ou rutilo. O arco gerado é suave e sua penetração é baixa. O eletrodo é mais utilizado

para a soldagem de chapas de pequena espessura (OKUMURA & TANIGUCHI, 1982).

- 3) Eletrodos básicos (EXXX5, EXXX6 e EXXX8): apresentam uma quantidade grande de carbonatos e de fluorita, formam escória básica que protege o metal líquido junto com o CO₂ gerado da decomposição dos carbonetos (MARQUES & MODENESI, 2000).

Denominado de baixo hidrogênio, seu revestimento contém cal e fluorita. O metal depositado apresenta baixa sensibilidade ao trincamento e à fissuração. Apresenta boa ductilidade e boa tenacidade. Já o arco gerado é relativamente instável e as gotas que se transferem ao metal base são maiores do que as de outros eletrodos, o que faz com que se exija um treinamento prévio para que o soldador conheça melhor esse tipo de eletrodo (OKUMURA & TANIGUCHI, 1982).

- 4) Eletrodos oxidantes (EXX20 e EXX27): revestimento constituído de óxidos de ferro e manganês que produz escória oxidante, abundante e de fácil destacamento (MARQUES & MODENESI, 2000).

Embora permita obter um cordão de soldagem de boa qualidade, apresenta uma baixa penetração e adiciona ao banho de fusão quantidades insuficientes de carbono e manganês, resultando em uma junção com propriedades inadequadas a aplicação onde é requerida confiabilidade (MARQUES & MODENESI, 2000).

2.4.2 Soldagem a Arco Elétrico com Proteção Gasosa

2.4.2.1 Soldagem a arco elétrico, com eletrodo de tungstênio e proteção de gás inerte (Processo TIG)

No processo TIG o arco elétrico é gerado entre o eletrodo de tungstênio e metal base, ilustrado na Figura 5, sendo protegido por uma atmosfera de argônio. Este processo é dividido em duas categorias: a soldagem TIG manual e a soldagem TIG semi ou totalmente automatizada (OKUMURA & TANIGUCHI, 1982)

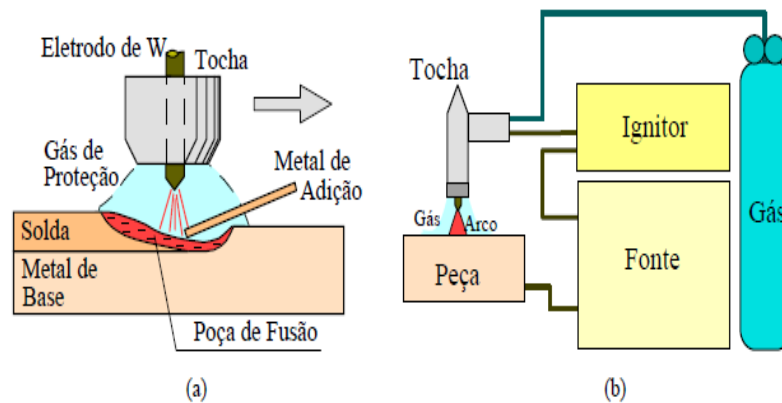


Figura 5 - Processo de soldagem TIG
 Fonte: Marques & Modenesi (2000), p15
 (a) Detalhe da região do arco
 (b) Montagem usual

O eletrodo pode ser de tungstênio puro ou ligado ao tório, com diâmetros entre 1,0 a 4,8 mm. Quanto ao gás inerte, preferencialmente deve-se utilizar o argônio puro e sua pureza deve ser controlada devido a presença de gases oxidantes que podem provocar deteriorização do eletrodo (OKUMURA & TANIGUCHI, 1982).

A soldagem TIG é mais utilizada em aços ligados, aços inoxidáveis e ligas não ferrosas. A Tabela 3 apresenta suas vantagens, limitações e aplicações (MARQUES & MODENESI, 2000).

Tabela 3 - Vantagens, limitações e aplicações da soldagem TIG

Vantagens e Limitações	Aplicações
<ul style="list-style-type: none"> - Excelente controle da poça de fusão - Permite soldagem sem o uso de metal de adição - Permite mecanização e automação do processo - Usado para solfar a maioria dos metais - Produz soldas de alta qualidade e excelente acabamento - Gera pouco ou nenhum respingo - Exige pouca ou nenhuma limpeza após a soldagem - Permite a soldagem em qualquer posição - Produtividade relativamente baixa - Custo de consumíveis e equipamento é relativamente elevado 	<ul style="list-style-type: none"> - Soldagem de precisão ou ótima qualidade - Soldagem de peças de pequenas espessuras e tubulações de pequeno diâmetro - Execução do passe de raiz em tubulações - Soldagem de ligas especiais, não ferrosas e materiais exóticos

Fonte: Marques & Modenesi (2000), p17

2.4.2.2 Soldagem a arco metálico com gás inerte (Processo MIG)

No processo MIG, o arame é alimentado através da tocha de soldagem e o arco elétrico é gerado entre o arame e o metal-base. Os gases utilizados na proteção são Argônio, Hélio ou a mistura de ambos (OKUMURA & TANIGUCHI, 1982).

A Figura 6 ilustra a esquemática do processo MIG.

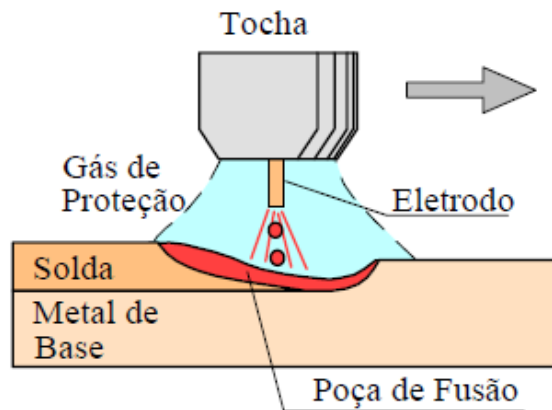


Figura 6 – Processo de soldagem MIG
 Fonte: Marques & Modenesi (2000), p18

O processo de soldagem MIG pode ser utilizado na soldagem de materiais ferrosos e de ligas de alumínio, de cobre, de magnésio e de níquel. Esse processo é operado de forma semiautomática, podendo ser mecanizado ou automatizado (MARQUES & MODENESI, 2000).

O equipamento para o processo de soldagem MIG é composto por fonte de energia, tocha de soldagem, fonte de gás e alimentador de arame. A Figura 7 apresenta o equipamento para esse processo de soldagem (MARQUES & MODENESI, 2000).

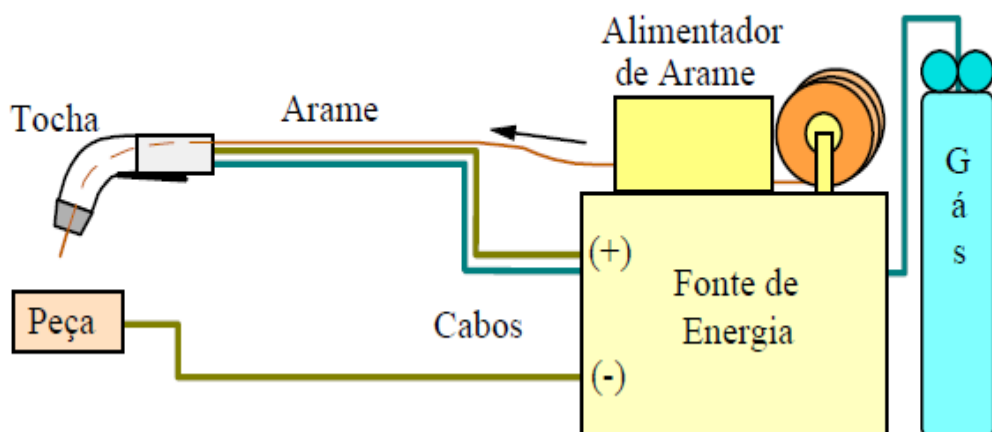


Figura 7 - Equipamento para a soldagem MIG
 Fonte: Marques & Modenesi (2000), p20

A tabela 4 apresenta as vantagens, limitações e aplicações da soldagem MIG.

Tabela 4 - Vantagens, limitações e aplicações da soldagem MIG

Vantagens e limitações	Aplicações
<ul style="list-style-type: none"> - Operação suave e fácil - Processo muito eficiente - Não há, praticamente, formação de escória - Custo operacional é elevado - A junta soldada apresenta característica de elasticidade, tenacidade, estanqueidade e resistência à propagação 	<ul style="list-style-type: none"> - Soldagem de ligas ferrosas e não ferrosas - Soldagem de carrocerias e estruturas de veículos - Soldagem de tubulações

Fonte: Adaptado Marques & Modenesi (2000), p19

2.4.2.3 Soldagem de arco elétrico, com proteção de CO₂ (Processo MAG)

O processo de soldagem MAG é uma variação do processo MIG, utiliza gás CO₂ para a proteção da poça de fusão. Esse processo é muito utilizado na soldagem de estruturas de aço e seu custo operacional comparado aos outros processos que utilizam outros tipos de gases é inferior. Em virtude disso, este processo é muito empregado hoje em dia (OKUMURA & TANIGUCHI, 1982).

Na soldagem MAG utiliza-se arame sólido e/ou arame tubular. Esse processo vem ampliando sua utilização nos últimos anos, abrangendo uma vasta quantidade de aços para trabalhos a altas temperaturas. Exibe uma velocidade de deposição superior à soldagem com eletrodo revestido, e uma das razões para a ampliação de utilização é sua alta eficiência (OKUMURA & TANIGUCHI, 1982).

O equipamento de soldagem MAG é o mesmo do MIG (Figura 7) e a polaridade da corrente é a inversa (OKUMURA & TANIGUCHI, 1982).

2.4.2.4 Soldagem com arame tubular

A soldagem a arco com eletrodo tubular é um processo de união dos metais obtida pelo aquecimento destes por um arco entre a peça e o eletrodo tubular. O eletrodo tubular apresenta um fluxo que estabiliza o arco, ajusta a composição da solda e a protege (MARQUES & MODENESI, 2000).

Os eletrodos tubulares podem ter diferentes seções em dependência da quantidade dos percentuais de materiais de proteção desejados no interior do arame (MARQUES & MODENESI, 2000). A Figura 8 mostra o princípio de funcionamento do processo de soldagem por arame tubular durante a soldagem.

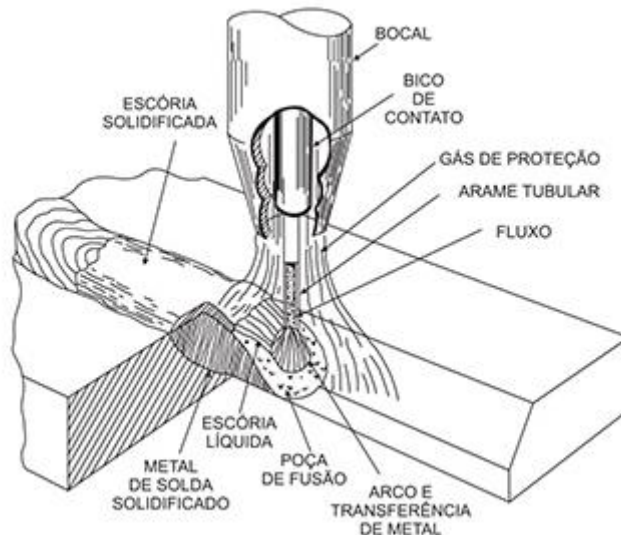


Figura 8 - Processo de soldagem com arame tubular
Fonte: Esab (2005)

Marques & Modenesi (2000) ainda lista uma série de vantagens, limitações e aplicações do processo de soldagem com eletrodo tubular apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Vantagens, limitações e aplicações do processo de soldagem com arame tubular

Vantagens e limitações	Aplicações
<ul style="list-style-type: none"> - Elevada produtividade e eficiência - Soldagem em todas as posições - Custo relativamente baixo - Produz soldas de boa qualidade e aparência - Equipamento relativamente caro - Pode gerar elevada quantidade de fumos - Necessita limpeza após soldagem 	<ul style="list-style-type: none"> - Soldagem de aços carbono e ligados - Soldagem em fabricação, manutenção e em montagem no campo - Soldagem de partes de veículos

Fonte: Marques & Modenesi (2000), p22

2.4.3 Soldagem a arco elétrico sem proteção gasosa (Processo Non-Gas)

O processo non-gas foi inventado no Japão e possui os mesmos princípios de funcionamento da soldagem com proteção gasosa, mas a tocha de soldagem pode ser operada manual ou automaticamente. Este processo não usa gases de proteção, a operação é simples e pode ser operada ao tempo, mesmo na presença de vento (OKUMURA & TANIGUCHI, 1982).

Okamura & Taniguchi (1982) destaca as principais características desse processo:

- 1) Não há alimentação de gases de proteção e pode ser executada com ventos de velocidades entre 10 a 15 m/s;
- 2) A eficiência é superior aos eletrodos revestidos convencionais;
- 3) Podem ser utilizados em fontes de corrente alternada;
- 4) Muito gás é gerado;
- 5) Quantidade de metal é inferior quando comparado a outros processos de soldagem.

Os eletrodos tubulares utilizados nesse processo contêm elementos com grande poder de desoxidação e desnitretação, elementos estabilizadores de arco e elementos de liga apropriados, e o fundente gera um grande volume de gases e possui elementos formadores de escória (OKUMURA & TANIGUCHI, 1982).

No processo a arco elétrico sem gases, a qualidade da zona de solda é feita pela ação protetora dos gases gerados pelo arame tubular e pela presença de elementos desoxidantes e desnitretantes (OKUMURA & TANIGUCHI, 1982).

2.4.4 Soldagem por Arco Submerso

A soldagem por arco submerso é um processo em que o arco elétrico gerado entre o arame de enchimento e o metal-base permanece sob uma camada de um material fundente, chamado de fluxo, que protege a poça de fusão dos efeitos da atmosfera (OKUMURA & TANIGUCHI, 1982).

Marques & Modenesi (2000) definem a soldagem a arco submerso como um processo de união dos metais obtida pelo aquecimento destes com um arco estabelecido entre o eletrodo metálico e a peça, sua proteção é feita por uma camada de material fusível (fluxo)

que é colocado sobre a peça enquanto o eletrodo é alimentado continuamente e como o arco ocorre sobre a camada de fluxo, ele não é visível, como ilustrado na Figura 9.

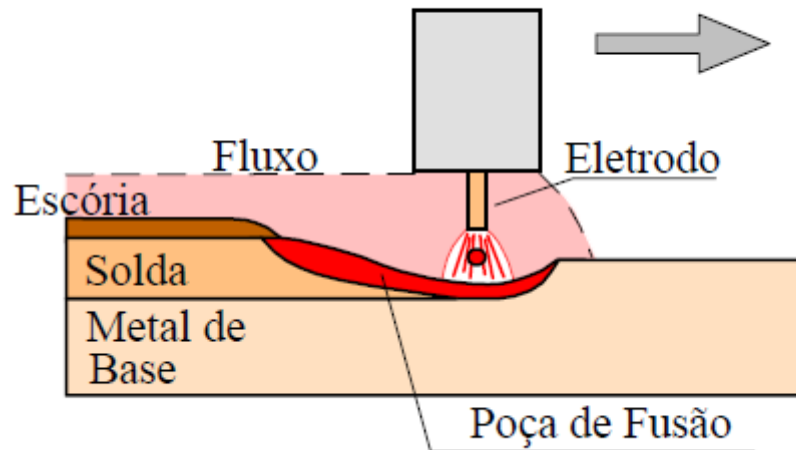


Figura 9 - Esquemática do processo de soldagem a Arco Submerso
Fonte: Marques & Modenesi (2000), p23

Ainda segundo Marques & Modenesi (2000) o equipamento consiste de uma fonte de energia do tipo tensão constante, alimentador de arame e sistema de controle, tocha de soldagem, porta fluxo e sistema de descolamento da tocha (Figura 10).

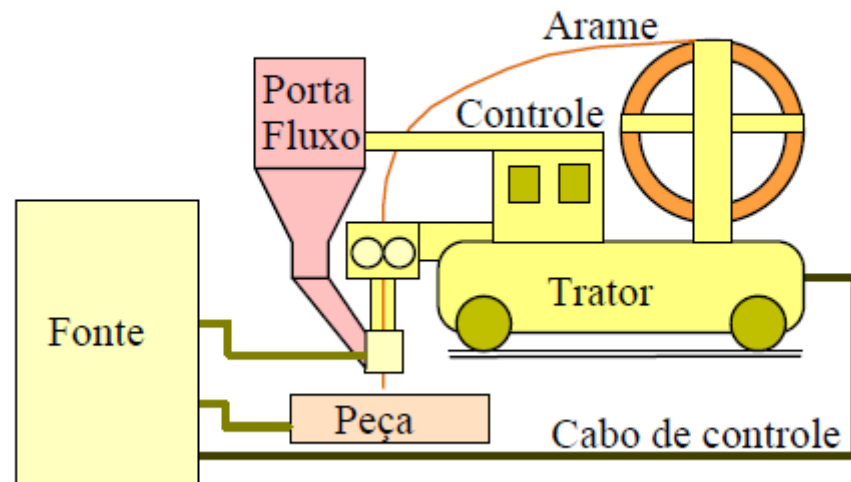


Figura 10 - Equipamento para soldagem ao Arco Submerso
Fonte: Marques & Modenesi (2000), p24

Este processo é bastante utilizado na soldagem de estruturas de aço, na fabricação de tubulações e na deposição de camadas de revestimento. Devido à camada de fluxo e elevadas correntes de soldagem, este processo deve ser usado na posição plana ou horizontal. A Tabela 6 apresenta as principais vantagens, limitações e aplicações (MARQUES & MODENESI, 2000).

Tabela 6 - Vantagens, limitações e aplicações do processo de soldagem ao Arco Submerso

Vantagens e limitações	Aplicações
<ul style="list-style-type: none"> - Altas velocidades de soldagem e taxas de deposição - Produz soldas uniformes e de bom acabamento superficial - Ausência de respingos e fumos - Dispensa proteção contra radiação devido ao arco não visível - Facilmente mecanizado - Elevada produtividade <p>Soldagem limitada às posições planas e filete horizontal</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aporte térmico elevado pode prejudicar propriedades da junta em alguns casos - Necessário retirar a escória entre passes 	<ul style="list-style-type: none"> - Soldagem de aços carbono e ligados - Soldagem de níquel e suas ligas - Soldagem de membros estruturais e tubos de grande diâmetro - Soldagem em fabricação e peças pesadas - Recobrimento, manutenção e reparo

Fonte: Marques & Modenesi (2000), p23

2.5 Indústria sucroalcooleira

A primeira etapa na produção em uma usina sucroalcooleira é a extração do caldo da cana que envolve o corte, desfibramento e a moagem da cana. Segundo Lima (2008), as facas e os martelos desfibradores são as primeiras ferramentas que entram em contato com a cana-de-açúcar e têm a função de cortar e desfibrar as células da cana para possibilitar a maior eficiência na extração da sacarose nas moendas. Esses equipamentos são submetidos a severos mecanismos de desgaste, devido à ação abrasiva do bagaço da cana.

A produção do açúcar ou álcool passa por várias etapas. Após o descarregamento, a cana é lavada e alimentada em esteiras através da mesa alimentadora. Depois, passa pelo setor de preparação que contém nivelador, picador e desfibrador e em seguida pelas moendas que são divididas em setores de moagem como ilustrado pela Figura 11. Essa figura apresenta uma representação esquemática dos equipamentos envolvidos no processamento da cana-de-açúcar (COPERSUCAR, 2018).

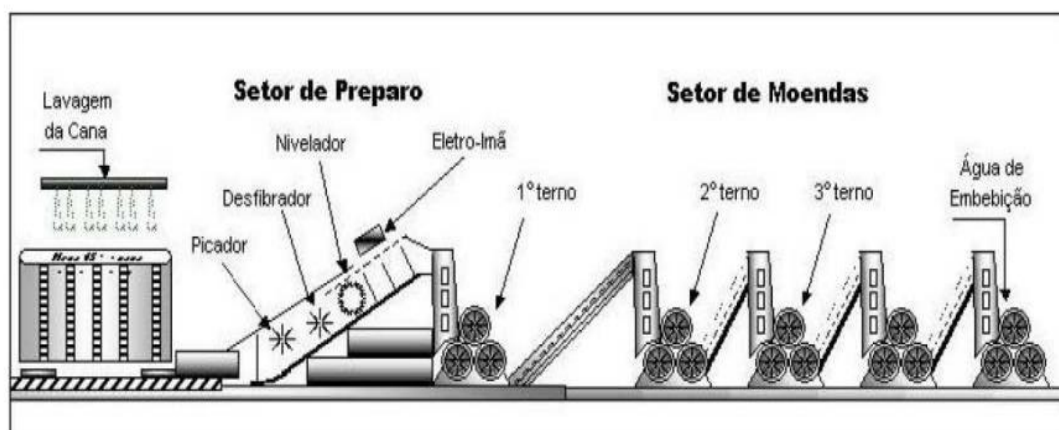


Figura 11 - Representação esquemática dos equipamentos de preparo e extração do caldo
 Fonte: Copersucar, (2018)

2.5.1 Mesa alimentadora

A mesa alimentadora é o equipamento que interliga a descarga de cana com o esteirão de cana principal, tem a função de controlar o fluxo de cana para moagem. São transportadores de corrente, com formato do seu leito retangular ou mesmo quadrado. A mesa possui uma parte rodante, composta por eixos, correntes e taliscas para a elevação da cana (COPERSUCAR, 2018).

A lavagem da cana, realizada nas mesas alimentadoras, tem por objetivo a retirada de areia, terra e outros materiais, com a finalidade de retirar o caldo com melhor qualidade e aumentar a vida útil dos equipamentos através da redução do desgaste (COPERSUCAR, 2018).

A Figura 12 ilustra a mesa alimentadora durante a parada (lado esquerdo) e durante a operação (lado direito). A indicação feita pelas setas indica a posição da esteira de transporte da cana aos equipamentos.



Figura 12 - Mesa alimentadora
Fonte: FEMEC/UFU, (2006)

2.5.2 Picador

O Picador é constituído por jogos de facas em sequência que prepara a cana a ser despachada ao desfibrador. É um equipamento rotativo de facas oscilantes, que opera com uma velocidade periférica de 60m/s, e tem a finalidade de aumentar a densidade da cana, cortando-a em pedaços de menores tamanhos, preparando-a para o desfibrador. A Figura 13 apresenta a vista interna de um picador de seis eixos e dez facas por eixo (COPERSUCAR, 2018).

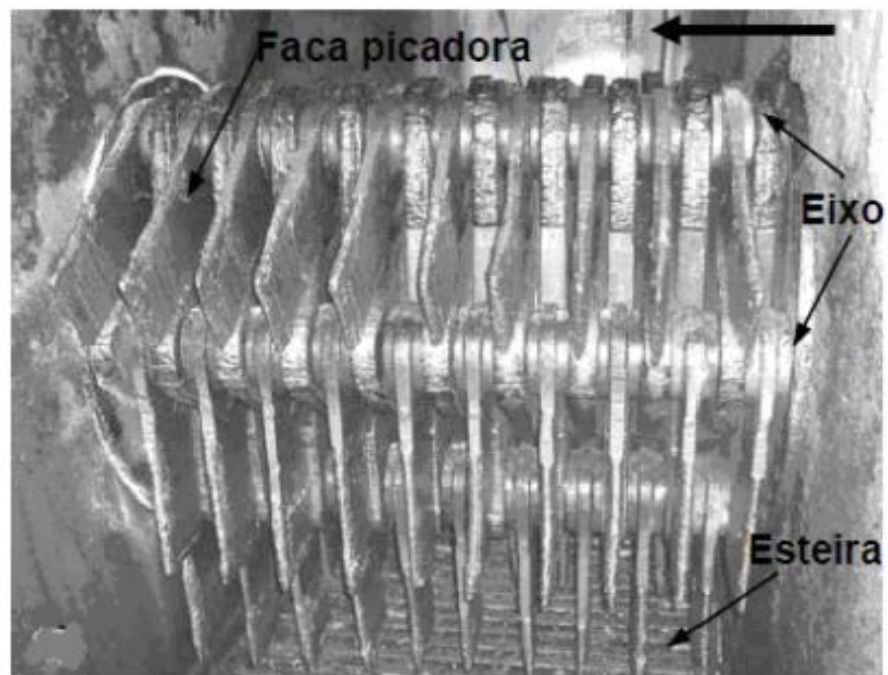


Figura 13 - Vista interna do picador
Fonte: FEMEC/UFU, (2006)

2.5.3 Desfibrador

O desfibrador é um equipamento formado por um tambor alimentador que compacta a cana à sua entrada. Posteriormente, um rotor constituído por um conjunto de martelos oscilantes que força a passagem da cana por uma abertura de 1cm ao longo de uma placa desfibradora. Ele tem o objetivo de abrir a célula da cana para aumentar a eficiência da extração do caldo nas moendas. A Figura 14 ilustra um desfibrador (COPERSUCAR, 2018).

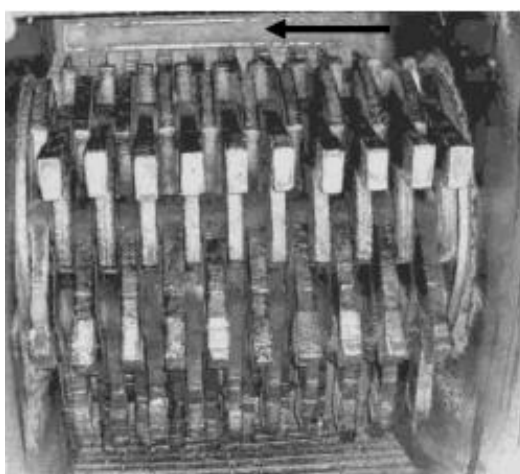


Figura 14 - Desfibrador e martelo
Fonte: FEMEC/UFU, (2006)

2.5.4 Moendas

A moagem é um processo após o desfibrador, tem por objetivo retirar o caldo contido na cana, fazendo a cana passar entre dois rolos com rotação e pressão. Apresenta ainda um segundo objetivo que é a produção de bagaço final em condições de propiciar uma queima rápida nas caldeiras da usina (COPERSUCAR, 2018).

Cada conjunto de rolos de moenda constitui um terno de moenda. O número de ternos utilizados no processo de moagem varia de quatro a sete e é formado por três rolos principais chamados: rolo de entrada, rolo superior e rolo de saída. A Figura 15 apresenta uma visão geral de uma moenda em operação e no tempo de manutenção (COPERSUCAR, 2018).



Figura 15 - Moenda em operação e em manutenção
Fonte: FEMEC/UFU 2006

3 METODOLOGIA

A metodologia refere-se ao método e ciência. Sua atividade principal é a pesquisa, o conhecimento caracteriza-se pela relação entre o sujeito e o objeto. Dessa forma, a metodologia é igual a um conjunto de procedimentos a serem utilizados pelo indivíduo na obtenção do conhecimento (GERHARDT & SILVEIRA, 2008).

3.1 Tipo de pesquisa

A pesquisa é o resultado de um inquérito ou exame minucioso, realizado com o objetivo de resolver um problema, recorrendo a procedimentos científicos (GERHARDT & SILVEIRA, 2008).

De acordo com Silva & Menezes (2001) as pesquisas podem ser classificadas em dois tipos, de acordo com a natureza do problema em:

- Pesquisa quantitativa: que é tudo o que se pode modificar em números utilizando métodos estatísticos, opiniões e informações obtidas por pesquisas, a fim de facilitar a análise dos dados obtidos.
- Pesquisa qualitativa: baseada no levantamento de dados, executados para compreender fenômenos caracterizados por variáveis de difícil relação com as equações matemáticas.

Gil (2002) classifica as pesquisas com base em seus objetivos gerais em três grandes grupos:

- Pesquisa exploratória que tem como objetivo final o aperfeiçoamento de algo já conhecido ou a confirmação de uma hipótese, o pesquisador procura um maior conhecimento sobre o tema em estudo;
- Pesquisa descritiva quando o foco da pesquisa é apenas a descrição de um fenômeno;
- Pesquisa explicativa que tem como foco a identificação dos aspectos que determinam ou contribuem com a ocorrência do fenômeno estudado.

Quanto ao procedimento, Gerhardt & Silveira (2008) destacam os três tipos de pesquisas principais: experimental, bibliográfica e estudo de caso. A pesquisa experimental segue um planejamento rigoroso, consistindo em determinar um objeto de estudo, suas

variáveis e definir uma maneira de controle e observação dos efeitos produzidos pelas variáveis. Já a pesquisa bibliográfica é realizada a partir de referências teóricas analisadas e publicadas anteriormente em meios escritos e eletrônicos. Finalmente, o estudo de caso, de acordo Gerhardt *apud* Fonseca (2008, p37) “Visa conhecer em profundidade o como e o porquê de uma determinada situação que se supõe ser única em muitos aspectos, procurando descobrir o que há nela de mais essencial e característico”.

O presente trabalho apresenta uma abordagem qualitativa do tipo descritiva, que partindo da pesquisa experimental e da coleta e análise de dados, propõe-se demonstrar a contribuição da soldagem de manutenção na indústria sucroalcooleira.

3.2 Materiais e Métodos

O presente trabalho apresenta uma pesquisa bibliográfica sobre a qual se estrutura. Contudo, foram analisados conceitos de manutenção e de soldagem com ênfase na soldagem de manutenção.

Para a realização da pesquisa é preciso conhecer informações acerca das variáveis de processo e materiais já utilizados. A Figura 16 apresenta o fluxograma do processo de escolha e aplicação da soldagem de manutenção para revestimento das facas picadores na indústria sucroalcooleira.

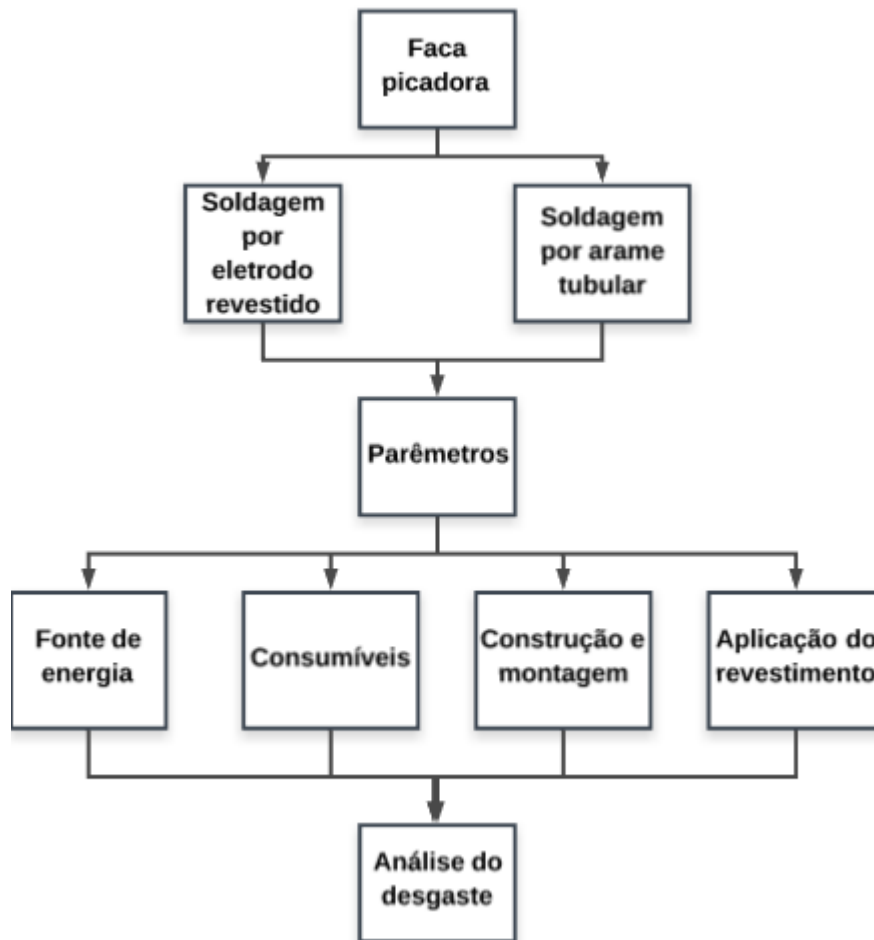


Figura 16 - Fluxograma dos materiais e métodos
 Fonte: Pesquisa direta, (2019)

Após a escolha dos processos de soldagem, definiu-se os parâmetros utilizados para a aplicação do revestimento nas facas picadoras. Passado o período de trabalho na indústria sucroalcooleira, foi executado a análise dos desgastes das facas picadoras.

3.3 Variáveis e indicadores

Normalmente não é possível o estudo de fenômenos sem definir e usar algumas variáveis e indicadores.

Marconi & Lakatos (2003) define variável como uma classificação, uma medida ou um conceito operacional que apresenta ou contém valores, ou mesmo propriedades. Desse modo, foi selecionado para o estudo duas variáveis: manutenção da empresa e tipos de soldagem. A tabela 7 apresenta as variáveis e os indicadores selecionados.

Tabela 7 - Variáveis e indicadores

Variáveis	Indicadores
Manutenção	Corretiva
	Preventiva
	Preditiva
Equipamento	Facas picadoras
Tipos de soldagem	Por eletrodo revestido
	Arame tubular

Fonte: Pesquisa direta (2018)

3.4 Instrumentos e coleta de dados

Os dados necessários para esta pesquisa foram obtidos através das seguintes fontes e/ou operações:

- Consulta em livros;
- Consulta em artigos;
- Catálogos de fabricantes;

3.5 Tabulação dos dados

Os programas utilizados para a coleta de dados e a criação de gráficos e tabelas foram:

- Microsoft Word
- Excel

3.6 Considerações finais

Neste capítulo foram apresentadas as ferramentas utilizadas para a concretização da pesquisa.

No próximo, serão apresentadas as análises dos resultados.

4 RESULTADOS

4.1 Características do setor

Atrás apenas dos produtos do petróleo que representam 40% da matriz energética, os produtos da cana-de-açúcar com 16% são a segunda maior fonte de energia do Brasil, ficando à frente da energia hidráulica (14%) e da lenha (15%).

A destilaria usada para o desenvolvimento do trabalho é considerada uma unidade sucroalcooleira de pequeno porte, que apresentava capacidade de processar 4000 toneladas de cana por dia no início dos trabalhos e que foi ampliada para 5500-6000 ton/dia a partir do ano de 2007. A referida empresa utiliza eletrodo revestido de comprovada eficiência na soldagem de revestimento duro. Além disso, vem testando e progressivamente introduzindo um tipo de arame tubular para aplicação de revestimento duro em facas picadoras sem ter uma avaliação sobre o desempenho.

As usinas brasileiras, durante a entressafra, param o processo de moagem, desmontam os conjuntos e realizam a operação de manutenção geral, onde os equipamentos são recuperados por soldagem, através de diversos processos específicos, os mais comuns são os processos de soldagem a arco elétrico. A soldagem de manutenção preventiva aplica-se na superfície sujeita ao desgaste da peça nova, um revestimento duro com características de resistência ao desgaste maior que o metal base. Já a soldagem de manutenção corretiva é efetuada após a peça ter sido tirada do trabalho devido ao desgaste sofrido. A soldagem de manutenção preditiva é feita para evitar as paradas indesejadas no processo.

4.2 Desgaste dos equipamentos

O desgaste das ferramentas acontece devido à elevada velocidade de impacto com a cana-de-açúcar, acompanhada de elementos agressivos como areia, pedaços de madeira, ferro e pedras, recolhida durante o processo de carregamento. O desgaste é responsável pela redução da eficiência na extração da sacarose, o que leva à execução de paradas não programadas com o objetivo de realizar a sua substituição. No decorrer das paradas, a produção é interrompida durante um período que varia de 8 a 12 horas, uma grande perda de produção, além de gastos com profissionais, materiais, ferramentas e equipamentos para a manutenção.

O desgaste por abrasão, é o mais ocorrido nos equipamentos e peças industriais. Na indústria sucroalcooleira, esse tipo de desgaste é o que mais favorece o estrago dos equipamentos e peças. A Figura 17 apresenta facas desfibradoras e martelos desfibradores, ambos de usina de açúcar e álcool que sofreram desgastes abrasivos à baixa tensão.



Figura 17 - Facas picadoras e Martelos desfibradores
Fonte: Pesquisa direta (2019)

Para aumentar a resistência ao desgaste, as facas picadoras e os martelos desfibradores, produzidos em aço SAE 1020, recebem a aplicação por soldagem de uma camada de revestimento duro nas faces que entram em contato direto com a cana-de-açúcar.

O aço SAE 1020 é um dos aços carbono mais comumente utilizado como aço para cementação com excelente relação custo benefício. Possui excelente plasticidade e soldabilidade. Ele é constituído basicamente de ferro, carbono, silício e manganês, apresentando também outros elementos inerentes ao processo de fabricação, em percentuais controlados. Esse aço é um dos mais utilizados, devido a sua baixa temperabilidade, excelente forjabilidade e soldabilidade, porém possui baixa usinabilidade.

Os aços SAE 1020 são aços carbonos constituídos basicamente de ferro, carbono, silício e manganês. Outros elementos na composição química são resíduos do processo de fabricação, como pode ser observado na tabela 8.

Tabela 8 - Composição química do aço SAE 1020

Elemento	Concentração (%)
Manganês	0,30 a 0,60
Carbono	0,18 a 0,23
Enxofre	0,05 (máximo)
Fósforo	0,04 (máximo)
Ferro	O restante para completar os 100%

Fonte: Pesquisa direta, (2019)

Esse tipo de aço pode ser soldado por qualquer processo de soldagem com grande facilidade. Devido a suas características, a soldagem de revestimento é muito utilizada nas peças na indústria sucroalcooleira que estão sujeitas a desgaste.

A soldagem vem evoluindo e desenvolvendo ligas especiais resistentes ao desgaste que são utilizados no revestimento destas peças, pois possuem maior resistência ao desgaste em relação ao metal base, que neste caso é o aço SAE 1020. De acordo com Paranhos (2019), a soldagem obteve uma enorme importância na vida útil dos equipamentos usados na indústria sucroalcooleira. Os equipamentos com peças revestidas aumentam sua vida útil em até 10 vezes quando comparado ao mesmo sem revestimento. Hoje em dia várias peças são revestidas por soldagem antes de entrar em operação que, devido ao aumento da vida útil dos equipamentos, diminui paradas da linha de fabricação para substituição de peças contribuindo para um menor estoque de peças, e aumenta a produtividade das usinas.

Os revestimentos duros têm a finalidade de reduzir os desgastes nos equipamentos. Esses revestimentos são aplicados pelos processos de soldagem a arco elétrico com eletrodos revestidos, MIG/MAG, arames tubulares e arco submerso. O processo de soldagem por eletrodo revestido é muito utilizado para a aplicação de revestimentos pelo setor sucroalcooleiro. Isso ocorre devido a sua grande versatilidade, baixo custo, baixa energia de soldagem e baixa diluição.

A soldagem de revestimento utilizada na solda preventiva consiste na deposição de um metal de adição através da soldagem com propriedades em geral mais nobres à metal base, visando aplicações com maiores durezas, resistência ao desgaste ou corrosão. A taxa de deposição e diluição são os fatores que mais afetam as propriedades do revestimento. Estes fatores são dependentes das variáveis do processo que controlam o potencial de soldagem, isto é, tensão, corrente elétrica, velocidade de soldagem, entre outros. Para alta produtividade, é importante que se tenha uma alta taxa de depósito com baixa diluição e penetração uniforme.

A soldagem de revestimento precisa estar bem definida, a altura do cordão de solda não pode ser excessiva que implique na perda elevada de material do revestimento num processo de usinagem após a soldagem. A Figura 18 apresenta facas picadoras utilizadas na indústria sucroalcooleira, revestidas com ligas duras pelo processo de soldagem a arco elétrico.



Figura 18 - Facas picadoras com revestimento
Fonte: Pesquisa direta, (2019)

A soldagem possui um papel importante na manutenção em todos os segmentos industriais, inclusive no setor de açúcar e álcool. Os diversos equipamentos responsáveis pelo processo de moagem da cana-de-açúcar são sujeitos a desgastes, devido à ação abrasiva do bagaço e outros elementos, precisando de reparos contínuos.

4.3 Aplicações da soldagem de revestimento

Nas indústrias sucroalcooleiras, a soldagem de revestimento, para evitar o desgaste, é aplicada em componentes como rolo de moenda, eixo de moenda, facas e martelos desfibradores, picador, entre outros.

Será comparado, neste trabalho, o desgaste em facas picadoras, após o período de safra, 6 meses, da cana-de-açúcar na indústria, que foram revestidas pelo processo de soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido e arame tubular de liga ferro-cromo-carbono.

4.4 Aplicação de revestimento duro em facas picadoras

A aplicação de revestimentos duros nos equipamentos das indústrias tem sido feita manualmente com o processo Eletrodo Revestido ou de forma automática com o processo Arco Submerso, quando a geometria ou dimensões da peça se adequam a essa aplicação. Devido à sua maior produtividade em relação ao primeiro, aliada à maior versatilidade quando comparado ao segundo, o processo Arame Tubular tem se tornado uma alternativa importante, contando com uma grande variedade de consumíveis para diferentes aplicações de revestimentos duros.

A aplicação do revestimento para análise do desgaste foi feita por dois processos de soldagem, eletrodo revestido e arame tubular em facas picadoras de aço SAE 1020. Antes da aplicação escolheu-se os parâmetros utilizados nesses dois processos que serão apresentados a seguir.

4.4.1 Fonte de soldagem

A fonte utilizada para a soldagem com eletrodo revestido foi um Retificador estático trifásico BR 425 (Balmer), com potência de 20KVA, fator de trabalho de 100% com 200A e 26V.

Já na soldagem feita com arame tubular foi utilizado um transformador retificador SOLMIG 470 White Martins (Praxair Inc), com corrente máxima de 470 A, fator de trabalho de 100% com 300A e 29V.

4.4.2 Consumíveis utilizados

Os consumíveis de soldagem são de extrema importância e influenciam de diversas formas na soldagem. Diante disso, foram escolhidos os consumíveis utilizados nos processos de soldagem como apresentados na Tabela 9 além de suas composições químicas, em que AT representa arame tubular e ER eletrodo revestido.

Tabela 9 - Consumíveis utilizados nos processos de soldagem

Consumível	Fabricantes	Dimensões(mm)	Composição Química (%)					
			C	Si	Mn	Cr	S	P
AT	Eutetic	1,6	4,11	0,2	0,52	23,00	-	-
ER	Eutetic	4	5,10	1,25	0,75	44,0	0,025	0,00

4.4.3 Construção e montagem das facas picadoras

As facas foram feitas de aço SAE 1020, com dimensões de 25 x 190 x 580 mm, montado por soldagem, um mancal de deslizamento em uma das extremidades. Na extremidade oposta o bisel foi usinado com maçarico oxiacetilênico, como pode ser observado na Figura 19.

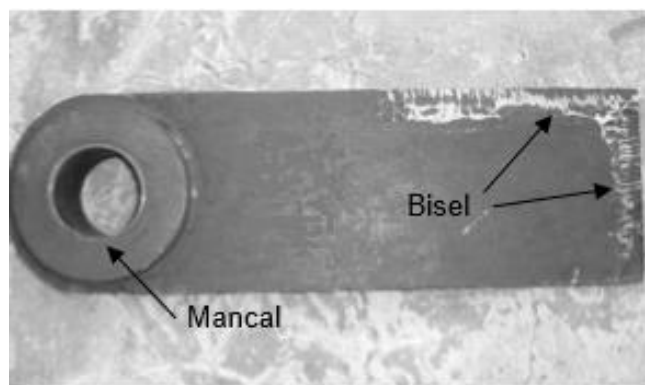


Figura 19 - Faca picadora
Fonte: Pesquisa direta, (2019)

Foram revestidas 10 facas com eletrodo e 10 facas com arame tubular, enumeradas de 1 a 10 para as facas revestidas com arame tubular e 11 a 20 as facas revestidas com eletrodo e montadas em eixos opostos do picador, este pode ser visto na Figura 13.

4.4.4 Aplicação do revestimento duro

A soldagem realizada com os dois processos foi efetuada manualmente pelos soldadores na própria indústria. Foram utilizados parâmetros de soldagem recomendados pelo fabricante dos consumíveis. A tensão e a corrente foram monitoradas e seus valores médios apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Parâmetros de soldagem utilizados

Consumíveis	Facas n°	Eixo	Im (A)	Um (V)
Arame tubular	1 – 10	1	227	23,9
Eletrodo revestido	11 – 20	4	193	23,2

A tabela 10 apresenta, além dos valores de tensão média (U_m) e corrente média (I_m), Facas n° que representa o número das facas soldadas e em qual eixo elas foram colocadas.

4.4.5 Avaliação do desgaste

O desgaste das facas foi avaliado pela diferença entre a massa inicial das facas após a aplicação do revestimento e a massa final após o período de trituração da cana-de-açúcar durante o trabalho na indústria e a limpeza das facas para eliminar resíduos da cana e sujeiras aderidas.

$$\text{Desg} = P_{\text{apósrev}} - P_{\text{trab}}$$

Onde:

Desg – desgaste sofrido (kg)

$P_{\text{apósrev}}$ – massa inicial das facas após o revestimento (kg)

P_{trab} – massa final após o ciclo de trabalho (kg)

4.5 Resultados e discussão

A Figura 20 ilustra a superfície de uma das facas, revestidas com eletrodo revestido, permitindo verificar o seu perfil após a aplicação do revestimento e após o ciclo de trabalho, responsável pelo desgaste da mesma, principalmente na região de encontro do gume frontal e do gume superior, a área mais solicitada. A linha tracejada indica o perfil original da ferramenta.

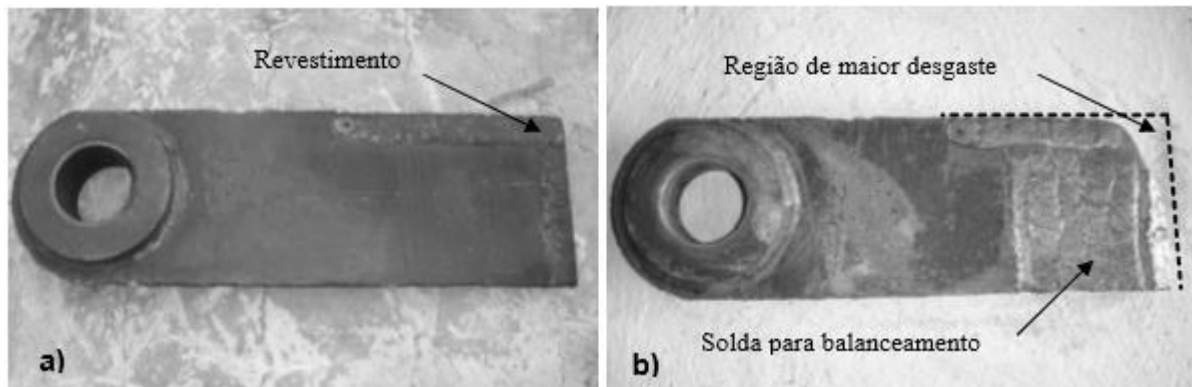


Figura 20 - Faca picadora

(a) Revestida

(b) Após o período de trabalho

Fonte: Pesquisa direta, (2019)

A Tabela 11 apresenta os dados de pesagem das ferramentas antes da aplicação do revestimento, após o revestimento, a massa do revestimento e após o ciclo de trabalho, além da quantidade de material perdido por desgaste após o ciclo de operação das facas.

Tabela 11 - Dados de pesagens das facas

Facas N°	P_i (kg)	P_{apósrev}(kg)	P_{rev} (kg)	P_{trab} (kg)	Desg (Kg)
1	24,217	24,771	0,554	23,275	1,496
2	24,207	24,931	0,724	23,015	1,916
3	24,452	25,107	0,655	22,931	2,176
4	23,950	24,645	0,695	23,200	1,445
5	24,241	25,081	0,840	23,137	1,944
6	24,286	25,041	0,755	22,895	2,146
7	24,281	24,995	0,715	22,774	2,221
8	24,467	25,191	0,724	22,210	2,981
9	23,991	24,745	0,754	22,424	2,321
10	24,417	25,186	0,769	22,495	2,691
...					
11	23,671	24,067	0,396	23,641	0,426
12	24,431	25,117	0,686	23,631	1,486
13	24,000	24,395	0,395	23,595	0,800
14	24,362	24,800	0,438	23,174	1,626
15	23,752	24,686	0,934	23,750	0,936
16	24,271	24,676	0,405	23,450	1,226
17	23,971	24,426	0,455	23,591	0,835
18	23,802	24,281	0,479	23,374	0,907
19	24,212	24,512	0,300	22,719	1,793
20	24,002	24,407	0,405	23,031	1,376

Os resultados dos valores médios de massa do revestimento aplicado e do desgaste por consumível e os respectivos desvios padrão são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Valores médios do peso do revestimento e do desgaste

	Peso médio do revestimento (kg)	Peso médio do desgaste (kg)
Arame tubular	0,719	2,134
Eletrodo revestido	0,489	1,141

Além dos valores médios de massa das facas, pode ser observado na Tabela 11 a relação do material perdido por desgaste superior a massa do metal aplicado, demonstrando que teria ocorrido, além de perda de parte do revestimento, também parte do substrato, especialmente no ponto de encontro de gume frontal com o gume superior das facas, a região de maior solicitação das ferramentas durante o ciclo de trabalho, podendo ser observado também na Figura 18.

A Figura 21 ilustra, com os dados adquiridos na Tabela 10, o desgaste por faca, para os dois consumíveis. O eixo x representa a posição 1 a 10 do picador, ou seja, as facas 1 a 10 revestidas com o arame tubular e as facas de 11 a 20 revestidas com o eletrodo revestido.

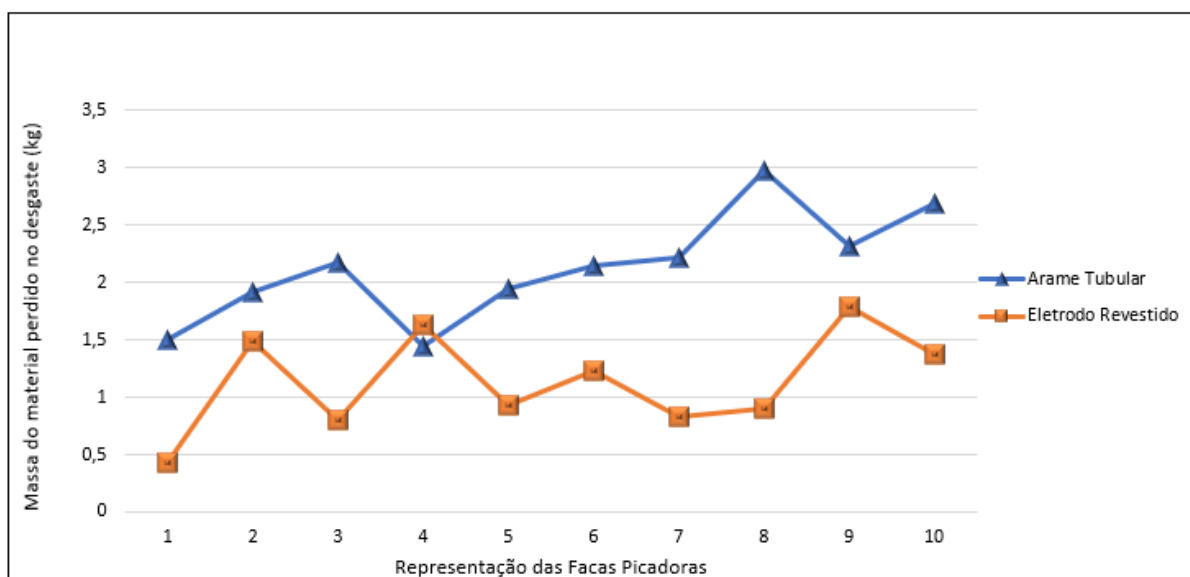


Figura 21 - Desgaste das facas picadoras

Fonte: Pesquisa direta, (2019)

Verifica-se uma tendência de maior desgaste para as facas posicionadas mais à direita do picador, considerando um observador posicionado à frente dele, no sentido da saída da cana picada. Esse fato pode estar relacionado com a presença de maior concentração de

material abrasivo e maior concentração de cana nessa região, tendo em vista ser esse o lado de descarregamento da cana na mesa alimentadora da indústria.

Já a Figura 22 apresenta os valores da massa média dos revestimentos e seus valores médios dos respectivos desgastes ocorridos.

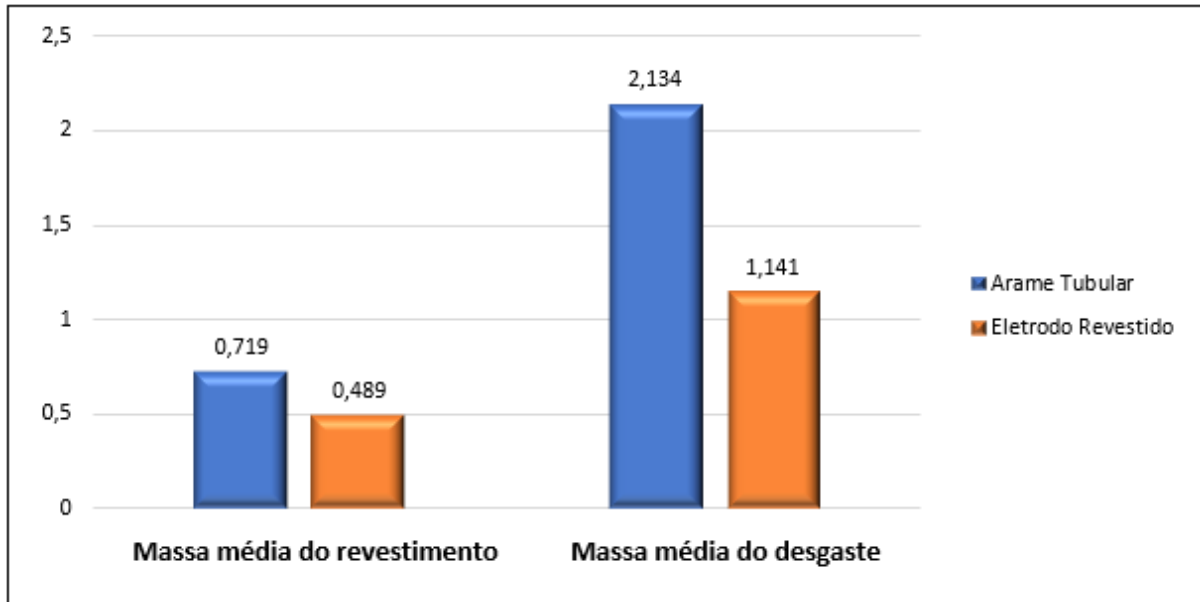


Figura 22 - Valores das massas médias
Fonte: Pesquisa direta, (2019)

Com a análise dos dados obtidos, devido a aplicação dos revestimentos nos processos de soldagem por arame tubular e eletrodo revestido e fazendo a avaliação de desgaste em condição real do ciclo de trabalho na indústria sucroalcooleira, pode-se concluir que a massa do revestimento aplicado com arame tubular foi superior ao aplicado com eletrodo revestido e além disso, o desgaste foi maior nas facas revestidas com o arame tubular. Pode-se analisar também que, durante o período de trabalho, a perda de metal da faca foi maior do que a quantidade de revestimento aplicado, tendo assim, ocorrência de perda do metal base.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusão

Os resultados obtidos com este trabalho, com a aplicação manual de revestimento duro e a avaliação de desgaste em condição real de trabalho na indústria sucroalcooleira permite concluir que:

- A massa do revestimento aplicado com arame tubular foi superior ao aplicado com o eletrodo revestido;
- O desgaste foi superior nas facas revestidas com arame tubular comparados com o desgaste nas facas revestidas com eletrodo revestido;
- No período de trabalho analisado, a perda de metal da faca foi superior à quantidade de revestimento aplicado, demonstrando a ocorrência de perda de substrato;
- O desgaste das facas foi maior nas facas posicionadas à direita do picador, observando a vista frontal, onde é o lado de descarregamento da cana.

5.2 Recomendações

Analisar a microestrutura do material desgastado após a aplicação do revestimento duro.

Avaliar outro método de ensaio que melhor reproduza o mecanismo de desgaste ocorrido nas facas picadoras de cana-de-açúcar, para facilitar desenvolvimentos posteriores, provavelmente pela simulação combinada de abrasão e impacto.

Avaliar os consumíveis utilizados na condição de soldagem de duas ou três camadas de solda, já que as propriedades do revestimento são diferentes nessas condições e, em muitas aplicações deseja-se para maior vida em serviço do equipamento, a utilização de maior espessura de revestimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Norma Brasileira Regulamentadora 5462 – NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

AMERICAN WELDING SOCIETY – AWS. **Standard welding terms and definitions**. Miami: AWS, 2001.

BESSA, P.C. **Soldagem de manutenção: fundamentos e equipamentos utilizados** – Disponível em: <<http://www.alusolda.com.br/conteudo/soldagem-de-manutencao-fundamentos-e-equipamentos-utilizados.html>> Acessado em: 20 de Outubro de 2018.

CONDE, R. H. **Recobrimentos resistentes ao desgaste**. Boletim Técnico Conarco, 1986.

COPERSUCAR – Cooperativa de Produtos de Cana-de-açúcar. **Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo**. Disponível em: <http://www.copercursar.com.br/institucional/por/academia/cana_acucar.asp>. Acesso em: 23 de outubro de 2018.

EUTECTIC DO BRASIL LTDA. **Catálogo de Equipamentos para Soldagem e Corte Plasma**. Disponível em: <http://www.eutectic.com.br/catalogos/catalogo_geral_de_maquinas_eutectic.pdf>. Acessado em: 10 de maio de 2018.

GERHARDT, T.E.; SILVEIRA, D.T.. **Métodos de Pesquisa**. Editora da UFRGS, 2008.

GIL, A.C.. **Como elaborar projetos de pesquisa** – 4ª edição. São Paulo: Atlas, 2002.

KARDEC, Alan; NASCIF, Julio. **Manutenção: função estratégica** – 3ª edição. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora Ltda, 2010.

LIMA, Ademir Coelho. **Estudo da aplicação de revestimento duro por soldagem com arames tubulares quanto à resistência ao desgaste de facas picadoras de cana-de-açúcar**, Tese de doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, 2008.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica** – 5ª edição. São Paulo: Atlas, 2003.

MARQUES, P.V.; *et al.* **Soldagem I: Introdução aos Processos de Soldagem** – 3ª edição atualizada. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2000.

OKUMURA, T.; TANIGUCHI, C.. **Engenharia de soldagem e aplicações**. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.; Tóquio: The Association for International Technical Promotion, 1982.

PARANHOS, Ronaldo P.R. **Especialista fala da importância da soldagem para o setor**. Jornal ProCana Online. 2003. Disponível em:

<http://www.canaweb.com.br/conteudo/noticia.asp?id_materia=5719>. Acesso em 08 de maio de 2019.

PINTO, Alan Kardec; XAVIER, Júlio Aquino Nascif. **Manutenção função estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

REVISTA SOLUÇÃO, UM SÉCULO DE DESENVOLVIMENTO EM SOLDAGEM E CORTE – ESAB BRASIL, ABRIL 2005.

SENAI – DEPARTAMENTO REGIONAL DO ESPÍRITO SANTO. **Noções Básicas de Processos de Soldagem e Corte**. Espírito Santo, 1997.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Ester Muszkat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação** – 3º edição. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.

TAVARES, L. A., CALIXTO, M., POYDO, P. R. **Manutenção centrada no negócio**. Novo Polo Publicações, 2005.

VEIGA, Emílio. **Soldagem de Manutenção**. São Paulo: Globus Editora, 2010.

XENOS, H.G.. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1998.