



DETERMINAÇÃO DE LOTE MÍNIMO PARA VIABILIZAÇÃO DE UMA CÉLULA PARA SOLDAGEM ROBOTIZADA EM UMA INDÚSTRIA DE IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS

Davi Cúnico Bonifácio¹

Alexandre Milanez²

Anderson Daleffe³

Pedro Henrique Menegaro Possamai⁴

Henrique Cechinel Casagrande⁵

Gilson de March⁶

Resumo: o emprego de células de soldagem robotizadas vem aumentando cada vez mais, não sendo diferente na indústria de implementos agrícolas. Porém, em geral, quando comparado à soldagem manual, as células robotizadas têm um tempo de setup maior devido à necessidade de troca e posicionamento dos gabaritos, isso aliado ao maior custo hora, faz com que seja necessário um certo tamanho de lote para diluição do custo de setup. Este estudo visa determinar o lote mínimo para viabilizar o emprego de uma célula de soldagem robotizada em comparação com a soldagem manual. O cálculo de um lote mínimo leva em conta custos do processo, como os consumíveis, depreciação, manutenção, a mão obra, sendo este um dos principais, entre outros. Estes dados foram coletados em consultas com diversos setores da empresa, além do acompanhamento do processo de soldagem. Através dos dados coletados, verificou-se que o custo hora da soldagem robotizada é aproximadamente 85% maior que na soldagem manual.

Palavras-chave: Soldagem, Célula Robotizada, Lote Mínimo de Produção, Custos Industriais

1 INTRODUÇÃO

Muitos pesquisadores descobrem novos modelos de trabalho, novas tecnologias, entre outras ideias, utilizando-se da necessidade de evolução do ser humano em seu meio existencial. Assim sendo, a indústria metal mecânica evolui a cada dia e se torna mais competitiva no mercado de trabalho que exige ao extremo produtos de qualidade, custo competitivo e sustentabilidade (CASAGRANDE, 2024).

Na indústria metalmeccânica, que emprega diversos processos de

¹ Graduando em Engenharia Mecânica, 2024. E-mail: davi.24320@alunosatc.edu.br

² Prof. do Centro Universitário UniSATC. E-mail: alexandre.milanez@satc.edu.br

³ Prof. do Centro Universitário UniSATC. E-mail: anderson.daleffe@satc.edu.br

⁴ Mestrando em Engenharia Metalúrgica, 2024. E-mail: pedro.possamai@satc.edu.br

⁵ Mestrando em Engenharia Metalúrgica, 2024. E-mail: henrique_cechinel@hotmail.com

⁶ Prof. do Centro Universitário UniSATC. E-mail: gilson.march@satc.edu.br



fabricação, destaca-se a soldagem, uma técnica utilizada para unir componentes por meio de calor, pressão ou ambos, podendo incluir ou não adição de material (ISO, 2016). A utilização de células de soldagem robotizada tem crescido significativamente neste contexto, visando reduzir custos, aumentar a produtividade e, conseqüentemente, conferir maior competitividade às empresas do setor. De acordo com a ABIMAQ (Associação Brasileira de Máquinas e Equipamentos), em 2022, haviam mais de oito mil empresas operando neste mercado, sendo uma parcela atuante no ramo de tratores e implementos agrícolas, segmento onde a empresa objeto deste estudo está inserida.

Em um olhar externo, a utilização de uma célula de soldagem robotizada, quando comparada com a soldagem manual, parece inviável pela diferença do custo de aquisição. Porém, observando dados do ganho de produtividade, a utilização desses equipamentos se torna interessante. Atualmente, a empresa em questão possui apenas uma dessas células em seu parque fabril. Contudo, até o momento, não foram conduzidos estudos com o intuito de definir lotes econômicos de produção dos conjuntos que são soldados nesse equipamento.

A utilização inadequada de uma célula de soldagem robotizada pode converter um equipamento com potencial significativo de lucratividade em um recurso que não contribui efetivamente para a produção, acarretando prejuízos para a empresa. Isso se deve, em parte, ao tempo de setup da célula robotizada, que, em geral, é consideravelmente maior do que na soldagem manual. Assim, a determinação de lotes econômicos visa otimizar a utilização desse equipamento.

O presente trabalho busca realizar a determinação de um lote econômico para um conjunto fabricado pela empresa para que a célula de soldagem robotizada seja utilizada de forma eficiente. Para alcançar este objetivo faz-se necessário a determinação dos custos presentes tanto no processo de soldagem manual quanto no processo de soldagem robotizada. Os custos serão determinados a partir da aquisição de dados no processo, posteriormente sendo confeccionada uma planilha de Excel para realização dos cálculos necessários.



2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Quando há, na indústria, dois meios possíveis para se fabricar um mesmo componente, a decisão de qual maquinário utilizar está diretamente ligada ao custo da utilização de cada um deles. Um exemplo disso é o caso que será estudado neste trabalho, onde é possível realizar a soldagem de determinados conjuntos de forma manual ou utilizando-se uma célula de soldagem robotizada.

2.1 PROCESSO DE SOLDAGEM

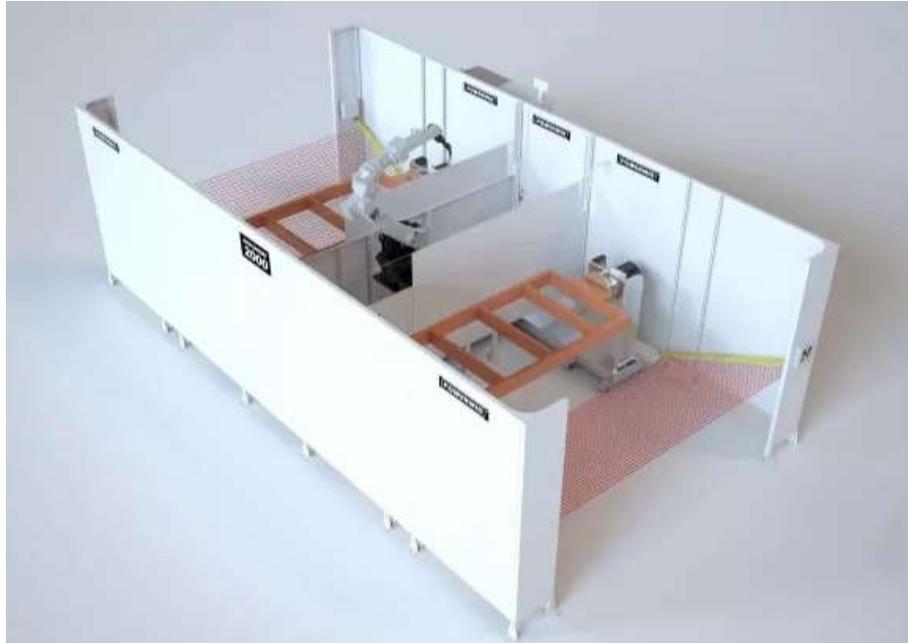
Para obtenção das peças é preciso buscar parâmetros ideais como, por exemplo, tensão e corrente para derreter o consumível, vazão do gás para proteção da poça de fusão e velocidade de deposição do material para boa penetração, e o tipo de gás utilizado (CASAGRANDE, 2023).

Atualmente existem diversos processos de soldagem disponíveis no mercado, no entanto um dos mais utilizados nas indústrias é a Soldagem a Arco Gás-Metal (GMAW - *Gas Metal Arc Welding*), onde se utiliza o eletrodo na forma de arame, que é alimentado continuamente e gera o arco elétrico com a peça a ser soldada. Além do arame, é liberado através da tocha uma mistura de gases para proteção da poça de fusão, podendo ser inerte (MIG - *Metal Inert Gas*) ou ativo (MAG - *Metal Active Gas*) (MODENESI; MARQUES, 2000) (WAINER et al., 1992).

Uma característica deste processo é a facilidade para se realizar a robotização, trazendo diversas vantagens ao processo, como a qualidade e repetibilidade da solda, o aumento da produtividade, acarretando redução de custos, além de evitar que o operador esteja em contato direto com a radiação e fumos gerados durante a soldagem (NAIDU et al., 2003) (MACHADO, 1996).

Uma das formas em que se observa um aumento significativo na produtividade ocorre ao empregar células de soldagem robotizadas com duas estações de trabalho, como a apresentada na Fig. 1. Sob essa circunstância, enquanto o robô executa a soldagem em uma das estações, o operador pode simultaneamente remover o conjunto soldado e preparar um novo conjunto para soldagem na outra estação (HONG et al., 2014).

Figura 1 - Célula de soldagem robotizada com duas estações de trabalho



Fonte: Powermig (2023)

O emprego das células de soldagem robotizada é possível apenas com a utilização de gabaritos, que são dispositivos projetados com a função de garantir que as peças a serem soldadas estejam sempre na mesma posição, já que o processo de solda robotizada é programado através de coordenadas (CAPITANIO, 2015).

Como na maioria das atividades industriais, na soldagem também existe o tempo de setup, que é o tempo decorrido entre a fabricação da última peça de um lote até que seja produzida a primeira peça boa do lote seguinte (SLACK et al., 2002). Em células de soldagem robotizada, este tempo ocorre para que seja realizada a troca dos gabaritos e mudança de programa do robô.

O processo de soldagem, sendo manual ou robotizado, engloba diversos custos, desde os consumíveis à mão de obra empregada, passando também pela questão da energia elétrica consumida, e pôr fim a manutenção e depreciação dos equipamentos utilizados. Entretanto, cerca de 93% dos custos de um processo de soldagem se dão pela mão de obra empregada e pelos consumíveis utilizados (MARQUES et al., 2009).



2.1.1 Principais custos do processo de soldagem

Os custos do processo de soldagem podem ser subdivididos em alguns componentes, sendo eles a mão de obra, os consumíveis (metal de adição e gás de proteção), energia elétrica, manutenção, depreciação e outros materiais que são utilizados no processo (MARQUES et al., 2009).

2.1.1.1 Custo do metal de adição

O custo relacionado ao arame consumido pode ser calculado de forma teórica levando em conta a área da seção transversal do cordão de solda, o comprimento de solda, densidade do metal de adição, o custo unitário do arame e a eficiência de deposição, que é estimada para cada tipo de soldagem (MARQUES et al., 2009).

Porém, como o estudo realizado neste trabalho é baseado em conjuntos que já são produzidos atualmente na empresa, a determinação do Custo do Metal de Adição (CMA) para a produção de uma unidade do conjunto estudado pode ser realizada através da Eq. (1), onde será utilizado um valor de 1,05 para o fator multiplicador, considerando que ambos os processos são de soldagem MIG (URTADO; GIMENES JUNIOR, 2011).

$$CMA = (M_{Depois} - M_{Antes}) \times FM \times CUMA \quad (1)$$

Onde:

M_{Antes} = Massa das peças antes da soldagem (kg)

M_{Depois} = Massa do conjunto soldado (kg)

FM = Fator multiplicador

CUMA = Custo unitário do metal de adição (R\$/kg).

2.1.1.2 Custo gás de proteção

Como no processo de soldagem GMAW há a utilização de gás de proteção, isso também deve ser levado em conta na determinação do custo da operação. Nessa



parcela é levado em conta o tempo de arco aberto, que, segundo Barbosa (2019), é o tempo gasto para a deposição de material na junta soldada.

Esse custo, para a soldagem de um conjunto, pode ser calculado através da Eq. (2) (MARQUES et al., 2009).

$$CG = CUG \times T_{Arc} \times Q \quad (2)$$

Onde:

CG = Custo de gás de proteção (R\$);

CUG = Custo unitário do gás de proteção (R\$/l);

T_{Arc} = Tempo médio de arco aberto / unidade (min);

Q = Vazão de gás (l/min).

2.1.1.3 Custo de energia elétrica

A energia elétrica consumida durante a soldagem também deve ser considerada na determinação dos custos do processo. O custo é calculado com base na tensão (V) e corrente (A) empregadas, como mostra a Eq. (3), que foi adaptada de Marques et al. (2009).

$$CE = \frac{I \times U \times T_{Arc} \times CUEE}{E \times 60000} \quad (3)$$

Onde:

CE = Custo de energia elétrica (R\$);

CUEE = Custo unitário da energia elétrica (R\$/kWh);

T_{Arc} = Tempo médio de arco aberto / unidade (min);

I = Corrente (A);

U = Tensão (V);

E = Eficiência (%).



2.1.1.4 Custo de mão de obra

Como visto anteriormente, a mão de obra é umas das parcelas de maior relevância nos custos do processo de soldagem. Para a realização deste cálculo não deve ser considerado apenas o salário pago ao colaborador, mas sim todos os encargos e direitos que este tem, fazendo com que o custo para a empresa seja muito maior do que o valor que o funcionário efetivamente recebe (MARTINS, 2003).

Além disso, Santos (2019) cita que os custos relacionados ao líder do setor de soldagem também devem considerados, realizando a diluição pelo número de soldadores subordinados.

2.1.1.5 Custo de Manutenção

Todo equipamento exige manutenções para seu correto funcionamento, o que também gera um custo para a empresa. O cálculo desta parcela se dá pela Eq. (4) (WAINER et al., 1992).

$$CM = \frac{DAM}{HA} \quad (4)$$

Onde:

CM = Custo de manutenção (R\$/h);

DAM = Despesa anual com manutenção (R\$);

HA = Horas trabalhadas anuais (h).

2.1.1.6 Custo de depreciação

Todo equipamento tem uma vida útil e acaba sofrendo um desgaste gradual durante ela, fazendo com que perca seu valor. Esse custo pode ser calculado utilizando-se a Eq. (5) (MARQUES et al., 2009).

$$CD = \frac{Vi - Vr}{VU} \quad (5)$$



Onde:

CD = Custo de Depreciação (R\$);

Vi = Valor do Investimento Inicial (R\$);

Vr = Valor Residual (R\$);

VU = Vida útil (anos)

A Receita Federal do Brasil estabelece uma taxa de depreciação anual de 10% para máquinas de soldagem, sejam elas manuais ou robotizadas, ao longo de uma vida útil econômica de 10 anos (BRASIL, 1998).

2.2 LOTE MÍNIMO DE PRODUÇÃO

A utilização eficiente dos meios de produção, visando a redução dos custos, passa pela determinação de lotes econômicos. Um dos objetivos disso é que o custo que há para a realização do setup da máquina, que é independente do tamanho do lote, seja diluído (BEN; GARZIERA, 2007).

Para comparar a viabilidade entre dois meios de produção, pode-se realizar o cálculo do ponto de equilíbrio, onde são comparados os custos totais de ambos através da Eq. (6).

$$CF_{Manual} + CV_{Manual} = CF_{Robotizada} + CV_{Robotizada} \quad (6)$$

Onde:

CF_{Manual} = Custo fixo soldagem manual (R\$);

CV_{Manual} = Custo variável unitário soldagem manual (R\$);

$CF_{Robotizada}$ = Custo fixo soldagem robotizada (R\$);

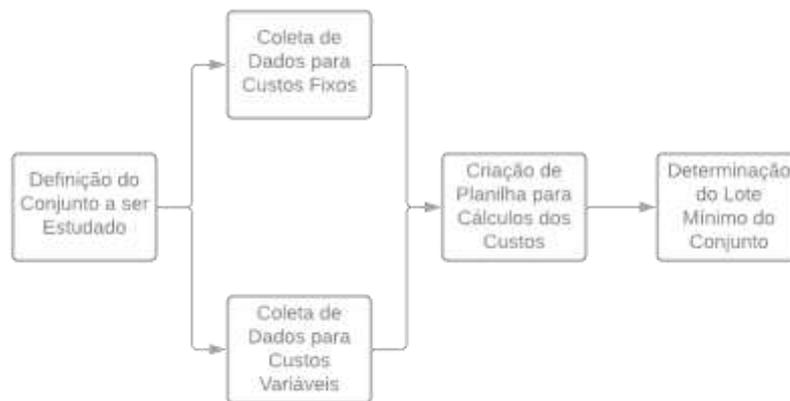
$CV_{Robotizada}$ = Custo variável unitário soldagem robotizada (R\$)

Dentro do custo variável de cada processo há a quantidade de peças, que pode ser isolada na equação, assim determinando o tamanho do lote onde os custos de ambos os processos se equivalem.

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Como este trabalho teve o objetivo de estimar o lote mínimo de conjuntos para viabilizar a utilização da célula de soldagem robotizada em face da soldagem manual, foi necessária a determinação dos custos de ambos os processos. A Fig. 2 torna mais claro as etapas realizadas.

Figura 2 – Sequência de realização das atividades executadas no procedimento experimental.



Fonte: Do Autor (2024)

Para a coleta dos dados práticos necessários foram acompanhados os processos de soldagem. Porém, algumas informações cruciais foram obtidas em colaboração com os departamentos de gerência da produção, compras e recursos humanos da empresa.

Juntamente com a gerência da produção, definiu-se que o Aro 5,5" x 16", apresentado na Fig. 3 e que é utilizado em implementos como as carretas agrícolas e distribuidores de esterco fabricados pela empresa, seria um objeto interessante para o estudo, já que é um item fabricado com frequência e que não precisa de gabarito para realizar a soldagem manual, sendo possível fazer a comparação com a soldagem robotizada. Além disso, futuramente este estudo poderá ser realizado para diversos outros itens fabricados pela empresa.

Figura 3 - Aro 5,5" x 16" foi o item escolhido para o estudo, em (a) vê-se a parte frontal e em (b) vê-se a parte traseira, onde estão os cordões de solda.



(a)



(b)

Fonte: Do Autor (2024)

3.1 DETERMINAÇÃO DO CUSTO HORA DE CADA PROCESSO

Primeiramente foram coletados os dados para determinação do custo hora do processo, que leva em conta o custo da mão de obra envolvida, o custo de depreciação do equipamento, custo da manutenção e custo dos itens de desgaste das máquinas.

Para a determinação do custo da mão de obra por hora trabalhada de um soldador e do operador da célula de soldagem robotizada, foram coletados dados anuais de salários e encargos juntamente com a gerência de produção e setor de recursos humanos. Além desses valores, foi considerada uma jornada de trabalho de 8,8 h diárias e 22 dias trabalhados no mês, resultando em 193,6 h mensais. Na soldagem manual existe o líder do setor, sendo responsável por 7 soldadores. Então, seu custo de mão de obra foi diluído para o custo hora de cada soldador. Já o operador da célula robotizada responde diretamente à gerência da produção, não tendo um líder de setor.

Para o cálculo do custo de depreciação foi consultado o setor de contabilidade para se obter o valor do ativo imobilizado referente à célula de soldagem robotizada e das máquinas de soldagem manual, permitindo a utilização da Eq. (5). Além disso, no custo hora do processo também é levado em conta os custos com a



manutenção, para isso foram coletados estes dados com o setor responsável e aplicados na Eq. (4).

Durante o processo de soldagem há alguns componentes da máquina que sofrem desgaste acentuado e que precisam ser trocados com frequência, por isso devem ser levados em conta no cálculo dos custos gerais do processo. Os mais comuns são os bicos de contato, os bocais e os difusores do gás de proteção. O custo destes itens foi consultado com o setor de compras e um consumo médio foi obtido diretamente com responsável do setor de solda.

Enfim foi determinado o custo hora de cada processo através da Eq. (7) que considera as parcelas calculadas anteriormente, além do percentual de rateio de 5% do custo que a empresa utiliza como padrão.

$$CH = \left(\frac{CD}{HA} + \frac{CID}{HM} + CM + CMO \times NF \right) \times (1 + R) \quad (7)$$

Onde:

CH = Custo hora do processo (R\$/h);

CD = Custo de depreciação (R\$/ano);

HA = Horas trabalhadas anuais (h);

HM = Horas trabalhadas mensais (h);

CID = Custo de itens de desgaste (R\$);

CM = Custo de manutenção (R\$);

CMO = Custo de mão de obra (R\$);

NF = Número de funcionários diretos;

R = Rateio dos custos da empresa.

3.2 DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS VARIÁVEIS DA SOLDAGEM

Os custos variáveis do processo de soldagem dependem do conjunto a ser soldado, influenciados pela complexidade da solda, da quantidade de soldas, entre outros pontos. Basicamente, a determinação desses custos passou por coletar dados como a quantidade de metal de adição utilizada, o tempo de processo e de arco aberto, a vazão regulada para o gás de proteção, entre outros.



Para a determinação do custo com metal de adição (CMA), foi realizada a medição da massa dos componentes antes da soldagem e, depois, do conjunto já soldado. Realizou-se esse procedimento para 5 conjuntos a fim de obter-se uma média de metal adicionado. Com a diferença entre a massa inicial e massa final, foi determinada a quantidade de arame depositada. Essa informação, juntamente com o custo unitário do metal de adição, obtido com o setor de compras, foram aplicadas na Eq. (1).

Durante os processos de soldagem, foi verificado e anotado também a vazão regulada para o gás de proteção. Esse dado, juntamente com o valor unitário, por litro de gás, e o tempo médio de arco foram utilizados para calcular, através da Eq. (2), um custo aproximado do gás consumido por unidade produzida.

Para o cálculo do custo de energia elétrica (CEE), foram anotados os dados de tensão (U) e corrente (I). Com os valores médios e o tempo médio de arco aberto, utilizou-se a Eq. (3) para obter-se este custo.

Em relação ao tempo de arco aberto (T_{Arc}), a célula robotizada informa esse dado em seu console, facilitando a coleta dessa informação. Além disso, o robô tem um alto grau de repetibilidade, então praticamente não há variação de tempo entre cada soldagem. Já no caso da soldagem manual foi necessário realizar a cronometragem, sendo cronometrados 5 conjuntos para que se calculasse um tempo médio de arco aberto para a soldagem de uma unidade.

Outro dado de grande importância para a determinação do custo do processo é o tempo de setup. Em ambos os processos, o tempo foi cronometrado iniciando quando um lote de peças foi finalizado para que se pudesse dar entrada do lote do conjunto em estudo, finalizando quando encerrou-se a soldagem do primeiro conjunto bom. Aqui é levado em conta todo o tempo para troca de gabaritos e regulagem dos equipamentos.

O custo variável é subdividido naquele relacionado aos consumíveis somado à parte relacionada ao tempo de processo de cada unidade, utilizando-se a Eq. (8).

$$CV = [CMA + CG + CE] + [TP \times CH] \quad (8)$$

Onde:

CV = Custo Variável Unitário (R\$)



CMA = Custo do metal de adição (R\$);

CG = Custo do gás de proteção (R\$);

CE = Custo de energia elétrica (R\$);

TP = Tempo de processo (h);

CH = Custo hora do processo (R\$/h).

3.3 CÁLCULO DO LOTE MÍNIMO

Com o custo hora e os custos variáveis de cada processo calculados, a Eq. (6) será retrabalhada, originando a Eq. (9), de forma que seja possível encontrar o tamanho do lote onde há igualdade entre o custo de realizar a soldagem de forma manual e na célula robotizada.

$$TL = \frac{TSm \times CHm - TSr \times CHr}{CVr - CVm} \quad (9)$$

Onde:

TL = Tamanho do lote (un.);

TSm = Tempo de setup da soldagem manual (h);

TSr = Tempo de setup da soldagem robotizada (h);

CHm = Custo hora da soldagem manual (R\$/h);

CHr = Custo hora da soldagem robotizada (R\$/h);

CVm = Custo variável da soldagem manual (R\$/h);

CVr = Custo variável da soldagem robotizada (R\$/h).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir de agora serão apresentados os dados coletados no acompanhamento dos processos de soldagem e nas consultas aos setores responsáveis. Assim como serão apresentados os resultados obtidos a partir destes dados.



4.1 CUSTO HORA DE CADA PROCESSO DE SOLDAGEM

Como citado anteriormente neste trabalho, para o cálculo do custo hora foram levados em conta os custos com a mão de obra, que não serão expostos, depreciação e manutenção, além dos itens de desgaste. A Tab. 1 apresenta os custos e um consumo médio dos itens de desgaste.

Tabela 1 - Dados de custo e consumo médio dos itens de desgaste em cada processo

Item	Soldagem Manual		Soldagem Robotizada	
	Custo	Qtd. / Mês	Custo	Qtd. / Mês
Bocal	R\$ 52,23	1	R\$ 462,72	1
Bico de Contato	R\$ 5,10	2	R\$ 18,72	11
Difusor	R\$ 18,30	1	R\$ 401,53	1

Fonte: Do Autor (2024)

Na Tab. 2 são apresentados os dados aproximados de custo de aquisição e manutenção dos equipamentos de cada processo de soldagem. Esses dados foram utilizados também no cálculo do custo hora de cada um dos processos.

Tabela 2 - Dados do custo aproximado de aquisição e manutenção dos equipamentos de cada processo

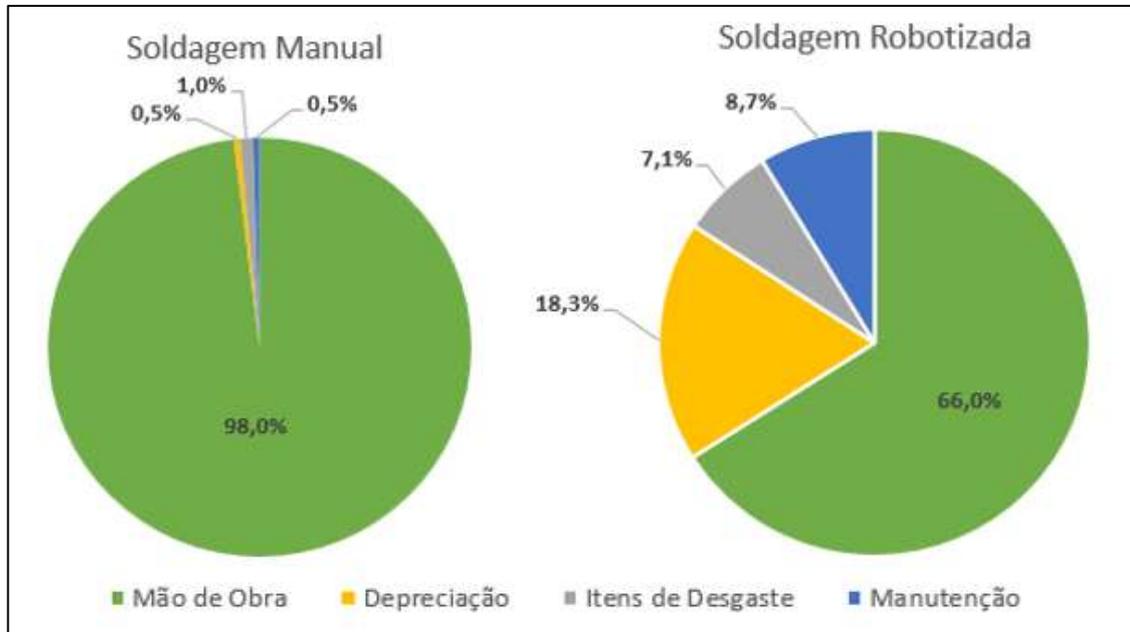
	Soldagem Manual	Soldagem Robotizada
Custo Médio Anual de Manutenção no Setor	R\$ 745,00	R\$ 15844,10
Custo de Aquisição do Equipamento	R\$ 5000,00	R\$ 369000,00

Fonte: Do Autor (2024)

Com as informações apresentadas na Tab. 1 e na Tab. 2, e a Eq. (4), a Eq. (5) e a Eq. (7). Obteve-se o custo hora de R\$ 44,41 para a soldagem manual e de aproximadamente R\$ 82,21 para a soldagem robotizada.

Pode-se ver no gráfico da Fig. 4 que independentemente do processo, o maior percentual do custo hora é referente à mão de obra empregada, indo de encontro com o que Marques et al. (2009) citou em sua obra “Soldagem: Fundamentos e Tecnologia”.

Figura 4 - Composição do custo hora do processo manual e do processo robotizado



Fonte: Do Autor (2024)

4.2 CUSTOS VARIÁVEIS DA SOLDAGEM

No cálculo dos custos variáveis de cada processo foram utilizados os dados de custo unitário do metal de adição, do gás de proteção e da energia elétrica, que são apresentados na Tab. 3.

Tabela 3 - Dados coletados sobre o custo unitário de alguns itens necessários ao processo

Processo	Soldagem Manual	Soldagem Robotizada
Custo Unitário do Metal de Adição (R\$/kg)	R\$ 7,94	R\$ 10,14
Custo Unitário do Gás de Proteção (R\$/l)	R\$ 0,02	R\$ 0,02
Custo Unitário da Energia Elétrica (R\$/kWh)	R\$ 0,35	R\$ 0,35

Fonte: Do Autor (2024)



Alguns dos dados mais importantes para a determinação do custo total da soldagem de um conjunto qualquer são os tempos decorridos durante o processo, sendo eles: o tempo de setup, o tempo total de processo e o tempo de arco aberto. Os dados foram coletados e na Tab. 4 já são apresentados como uma média por unidade produzida, com exceção do tempo de setup que não varia com o tamanho do lote.

Tabela 4 - Dados de tempos utilizados para os cálculos de custos

Conjunto Soldado	Tempo Setup (min)		Tempo Médio de Processo / Unidade (min)		Tempo Médio de Arco Aberto / Unidade (min)	
	Manual	Robotizado	Manual	Robotizado	Manual	Robotizado
Aro 5,5" x 16"	00:03:00	00:03:00	00:02:45	00:02:05	00:01:29	00:00:57

Fonte: Do Autor (2024)

Nota-se que o aro 5,5" x 16" tem um tempo de setup igual em ambos os processos, isso se deve ao fato de que o seu gabarito, por ser pequeno, fica sempre instalado em uma das mesas de soldagem da célula robotizada. Dessa forma o operador precisa apenas selecionar o programa através do console, sendo um processo rápido. Já na soldagem manual, não é necessário gabarito, pois o espelho é fixado no aro através de uma prensa em um processo anterior à soldagem.

Além disso, a quantidade de metal de adição que foi depositada, a vazão de gás de proteção utilizada e o consumo de energia elétrica também são cruciais para a determinação do custo unitário. Na Tab. 5 esses dados já são apresentados como uma média por unidade produzida

Tabela 5 – Dados relacionados aos consumíveis utilizados durante cada processo de soldagem

Conjunto Soldado	Metal de Adição Depositado / Unidade (kg)		Vazão de Gás de Proteção Regulada (l/min)		Energia Elétrica / Unidade (kWh)	
	Manual	Robotizado	Manual	Robotizado	Manual	Robotizado
Aro 5,5" x 16"	0,124	0,106	17	17	0,194	0,113

Fonte: Do Autor (2024)



Aplicando dados da Tab. 3, Tab. 4 e Tab. 5 na Eq. (1), Eq. (2), Eq. (3) e, por fim, na Eq. (8), determinou-se o custo variável unitário tanto na soldagem manual quanto na soldagem robotizada. Estes valores são apresentados na Tab. 6.

Tabela 6 - Custo variável calculado para cada conjunto

Conjunto Soldado	Soldagem Manual	Soldagem Robotizada
Roda 5,5" x 16"	R\$ 3,65	R\$ 3,98

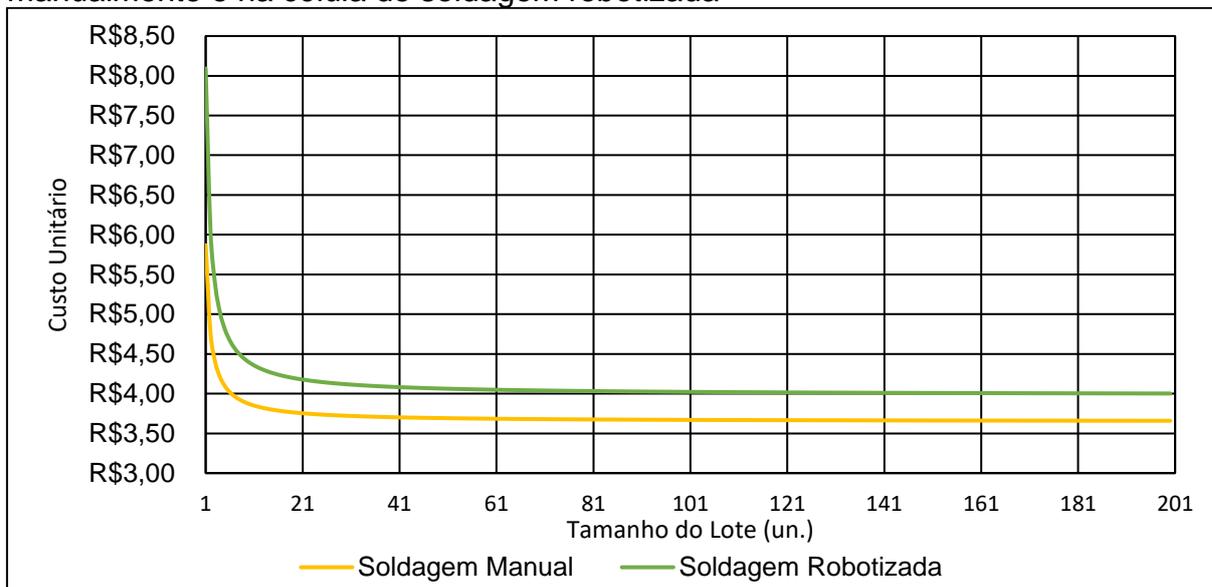
Fonte: Do Autor (2024)

4.3 DETERMINAÇÃO DO LOTE MÍNIMO

Para a determinação de um lote mínimo para viabilização da célula de soldagem robotizada utilizou-se a Eq. (9) com os dados dispostos anteriormente na seção dos resultados.

Na Fig.5 é apresentado um gráfico de comparação entre o custo unitário da soldagem de um Aro 5,5" x 16" no processo manual e no robotizado. Como esperado, nota-se que quanto maior a quantidade produzida, menor será o custo unitário. Isso se deve pela diluição do custo do tempo gasto com o setup, que não varia com o tamanho do lote.

Figura 5 - Comparação do custo unitário para soldagem do Aro 5,5" x 16" manualmente e na célula de soldagem robotizada



Fonte: Do Autor (2024)

Observando a Fig. 5 nota-se que houve uma estabilização do custo unitário em aproximadamente R\$ 3,60 para a soldagem manual e aproximadamente R\$ 4,00 para a soldagem robotizada, não havendo um ponto onde as linhas se cruzam. Dessa forma, não seria viável a utilização da célula robotizada para a produção desse produto. Isso se deve, provavelmente, ao fato de o tempo médio de produção do robô ser apenas 24% menor que um soldador realizando o processo, junto ao fato de que o custo hora da célula robotizada é 85% maior.

Entretanto, na atual composição do setor de soldagem da empresa, é importante que a soldagem desses aros ocorra na célula robotizada para que os soldadores manuais sejam alocados na soldagem final dos implementos, que são produtos grandes onde, atualmente, não é possível utilizar a soldagem robotizada. Ainda assim, conforme visto na Fig. 5, o custo unitário no processo de soldagem robotizada estabiliza a partir de um tamanho de lote em torno de 60 unidades, dessa forma este seria o lote mínimo para se obter o menor custo.

Além do que foi citado anteriormente, há também a questão da melhor qualidade e repetibilidade da solda que, em geral, se obtém através da soldagem robotizada. A Fig. 6 mostra um comparativo entre o cordão de solda resultante de cada processo.

Figura 6 – Comparativo do cordão de solda resultante em cada processo, em (a) vê-se o cordão obtido na soldagem manual e em (b) vê-se o cordão obtido na soldagem robotizada



(a)



(b)

Fonte: Do Autor (2024)



Importante citar que no caso da soldagem robotizada, o aro é posicionado na horizontal para minimizar as movimentações do robô e da mesa de soldagem, dessa forma cada cordão é realizado em duas etapas. Já na soldagem manual o aro foi posicionado na vertical de modo que permitiu a soldagem de cada cordão de forma inteira.

5 CONCLUSÃO

A obtenção de um menor custo de produção, em qualquer que seja o processo produtivo, passa pela busca da maior otimização possível do uso dos maquinários envolvidos. Assim, a determinação de um lote mínimo para que seja viável a utilização da célula de soldagem robotizada, objetivo principal deste estudo, é de grande importância para a redução dos custos de processo da empresa em questão.

Com a comparação realizada entre a soldagem do aro 5,5" x 16" de forma manual e na célula robotizada, verificou-se que acaba existindo um custo unitário menor, de R\$ 3,60, quando um soldador manual realiza o processo, mesmo que o robô realize o processo um pouco mais rápido.

O cálculo do custo hora de cada processo, sendo aproximadamente R\$ 44,41 para a soldagem manual e R\$ 82,21 para a soldagem robotizada, não era o objetivo final deste trabalho, porém foi uma etapa necessária e que poderá ser utilizado pela empresa para determinar o custo de soldagem de outros itens.

Outro resultado deste trabalho foi a obtenção de uma planilha de dados que poderá ser utilizada pela empresa para a realização da comparação dos custos de soldagem de diversos outros itens fabricados.

Entretanto, durante a realização do trabalho notou-se uma limitação no cálculo do consumo de energia elétrica de cada processo, sendo baseado basicamente nos dados de tensão e corrente. Para determinar um custo mais preciso, seria necessário a aquisição de um equipamento que é instalado na rede de alimentação da máquina de solda, o qual informa exatamente o consumo de energia elétrica.



Em resumo, com esse trabalho foi obtida uma forma de encontrar uma quantidade mínima aproximada para que seja viabilizada a utilização da célula de soldagem robotizada, porém houve algumas limitações que podem ser solucionadas para se obter valores mais precisos.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, Ruan Florentino Correia. **ESTIMATIVA DOS CUSTOS DE SOLDAGEM APLICADOS AOS PRINCIPAIS PROCESSOS À ARCO ELÉTRICO EM UM LABORATÓRIO DE PESQUISA**. 2019. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.
- BEN, Fernando; GARZIERA, Angelo Antonio. Influência do tamanho dos lotes de produção no custo total de produção. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC**. 2007.
- CASAGRANDE, Henrique C; DALEFFE, Anderson; FERREIRA, Carlos A; FRITZEN, Daniel; MARCH, Gilson; CASTELAN, Jovani; SCHAEFFER, Lirio. **FABRICAÇÃO DE PEÇAS METÁLICAS POR MANUFATURA ADITIVA EM AÇOS COM BAIXO TEOR DE CARBONO**. Engenharias em perspectiva: ciência tecnologia e inovação 2. 2ed. Paraná: Atena Editora, 2024, v. 2, p. 52-62.
- CASAGRANDE, Henrique C; DALEFFE, Anderson; FERREIRA, Carlos A; FRITZEN, Daniel; MARCH, Gilson; CASTELAN, Jovani. **PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PEÇAS METÁLICAS POR MANUFATURA ADITIVA COM FUSÃO LOCALIZADA DE AÇOS BAIXA LIGA**. <https://www.editoracientifica.com.br/artigos/processo-de-fabricacao-de-pecas-metalicas-por-manufatura-aditiva-com-fusao-localizada-de-acos-baixa-liga>. 11ed. São Paulo: Editora Científica Digital, 2023, v. 11, p. 997-1008.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO/TR 25901-1:2016**: Welding and allied processes — Vocabulary — Part 1: General terms. Genebra: Iso, 2016. Disponível em: <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:tr:25901:-1:ed-1:v1:en>. Acesso em: 01 nov. 2023.
- HONG, Tang Sai *et al.* **Robotic Welding Technology**. Serdang: Department Of Mechanical And Manufacturing Engineering, Universiti Putra Malaysia, 2014. Color.
- MACHADO, Ivan Guerra. **Soldagem e Técnicas Conexas: Processos**. Porto Alegre, 1996. 477 p.
- MARQUES, Paulo Villani *et al.* **Soldagem: fundamentos e tecnologia**. 3. ed. Belo Horizonte: Editora Ufmg, 2009.
- MARTINS, Eliseu. **Contabilidade de Custos**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2003.



MODENESI, Paulo J.; MARQUES, Paulo Villani. **Soldagem I: introdução aos processos de soldagem**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2000. Color.

NAIDU, Desineni Subbaram et al. Modeling, **Sensing and Control of Gas Metal Arc Welding**. Oxford: Elsevier Science, 2003.

POWERMIG (Caxias do Sul). DISCOVERY 2000. Disponível em: <https://powermig.com.br/produtos/discovery-2000>. Acesso em: 15 out. 2023.

RFB – Receita Federal do Brasil. Instrução Normativa Secretaria da Receita Federal nº 162, de 31 de dezembro de 1998. Fixa prazo de vida útil e taxa de depreciação dos bens que relaciona. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 07 jan. 1999. Disponível em: <http://normas.receita.fazenda.gov.br/sijut2consulta/link.action?idAto=15004&visao=original>. Acesso em: 18 out. 2023.

SANTOS, Alex Sandro Fausto dos. **Levantamento de Custos da Hora Industrial de um Setor de Soldagem**. Osasco: Infosolda, 2019.

SLACK, Nigel et al. **Administração da Produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

URTADO, Edson; GIMENES JUNIOR, Luiz. **Aumento da produtividade na soldagem através das ferramentas de análise de custos**. São Paulo: Aranda, 2011.

WAINER, Emílio *et al.* **Soldagem: processos e metalurgia**. São Paulo: Blucher, 1992. 505 p.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar nossa gratidão ao Laboratório de Manufatura Aditiva do Centro Universitário UniSATC e para FAPESC pelo suporte técnico e fornecimento dos materiais necessários para a realização deste estudo. Agradecemos também aos nossos colegas e familiares pelo constante incentivo.