

DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PARA UNIÃO ENTRE ESPIGA E LÂMINA DE FACAS POR SOLDAGEM CAPACITIVA

Bruno Vendruscolo Costa, bruno.vendruscolo@ufsm.br¹
Vinicius Bertoldo, vinicius.bertoldo@acad.ufsm.br¹
Wilerson Chuma, wilersonchuma.aluno@unipampa.edu.br¹
Cristiano José Scheuer, cristiano.scheuer@ufsm.br²
Jonas Roberto Tibola, jrtibola@gmail.com³

¹ Motora Jr – Empresa Júnior de Consultoria em Engenharia Mecânica, 97105-340, Santa Maria, RS, Brasil.

² Departamento de Engenharia Mecânica, UFSM, 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil.

³ Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, UFSM, 97105-000, Santa Maria, RS, Brasil

Resumo. A cutelaria é um segmento produtivo que tem experimentado um rápido ao longo dos últimos anos. A grande demanda pela produção de facas tem estimulado o desenvolvimento de equipamentos exclusivamente desenvolvidos para a utilização nesta atividade. Neste sentido, este artigo aborda o desenvolvimento de um equipamento para a união entre espiga e lâmina de facas, utilizando o processo de soldagem capacitiva. Para guiar a execução das atividades necessárias ao desenvolvimento do referido produto, foi utilizada a metodologia de Pahl & Beitz. O conceito de equipamento desenvolvido é constituído por uma estrutura montada a partir de cantoneiras e chapas de aço, projetada para acomodar os subsistemas que desempenham as funções relativas à execução da soldagem capacitiva. Estes subsistemas foram devidamente configurados para permitir a implementação de funções que tornaram possível a realização da operação de união entre a lâmina e espiga. O equipamento concebido é de simples operação, sendo esta constituída pelas etapas de posicionamento e fixação da lâmina e espiga nas morsas, movimentação da morsa espiga e aplicação da carga elétrica (a qual é efetuada por meio de um botão de acionamento). O equipamento concebido atende às necessidades do cliente, e será construído e validado pelo mesmo.

Palavras chave: Cutelaria. Desenvolvimento de Produto. Soldagem Capacitiva.

Abstract. Cutlery is a productive segment that has experienced a rapid growth over the last few years. The great demand for the knives production has stimulated the development of equipment exclusively developed for use in this activity. In this sense, this paper discusses the development of an equipment dedicated to produced the union among the tang and blade of the knives, using the capacitive welding process. To guide the activities for the referred product development, the Pahl & Beitz methodology was employed. The developed equipment concept consists of a structure assembled from steel profiles and plates, designed to accommodate the subsystems that perform the functions related to the execution of capacitive welding. These subsystems were properly configured to allow the implementation of the functions that made possible to carry out the joining operation between the tang and blade. The designed equipment is simple operation, which consists of positioning and fixing the tang and blade in the bench vise, moving the bench vise and applying the electrical charge (which is carried out by means of an activation button). The designed equipment meets the customer's needs, and will be built and validated by the customer.

Keywords: Cutlery. Product Development. Capacitive Welding.

1. INTRODUÇÃO

A arte ou o ofício de fabricar lâminas ou instrumentos de corte tem seus primórdios no decurso do Período Paleolítico, no qual os ancestrais produziam utensílios a partir de diversos materiais e formatos, utilizados tanto para a caça, pesca, combate e/ou uso culinário. Contudo, somente a partir da Idade dos Metais, 3000 a.C. a 1000 a.C., que o processo de manipulação e confecção dos metais fora subjugado, ratificando o processo evolutivo da espécie. Essa herança dos antepassados mantém-se até o presente, conhecida como a arte de fabricar lâminas, ou seja, a arte da cutelaria.

No Brasil, e a nível mundial, o mercado de facas prospera com altas demandas que evidenciam o enorme potencial do setor couteleiro. A partir do avanço do mercado, altas demandas emergem e a carência de uma produção em larga escala se faz evidente. Diante da necessidade de atender maiores demandas, tendo em vista a produção em larga escala, surgem inovações no setor para otimizar e padronizar os processos de confecção, de modo a garantir lâminas de maior precisão e resistência, com um alto custo-benefício.

Dentro deste contexto, com o escopo de atender a ascendente demanda do segmento couteleiro, neste trabalho desenvolveu-se um equipamento projetado para otimizar e semi-automatizar a operação de união entre a espiga e lâmina

durante a fabricação de facas, empregando processo de soldagem capacitiva. O desenvolvimento do referido equipamento buscou atender a demanda específica de um couteleiro da cidade de Santa Maria/RS, o qual almejava o aumento de produtividade, padronização dos produtos, e redução de custos de processo; através da eliminação dos consumíveis necessários à soldagem a arco com eletrodo consumível e proteção gasosa – MIG, utilizada na execução da operação de união entre os elementos mencionados.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia de projeto aqui empregada para guiar as atividades vinculadas ao desenvolvimento do equipamento corresponde ao método de Pahl e Beitz (1996). O procedimento proposto visa à estruturação de um problema de projeto em etapas, as quais guiam de forma cronológica o desenvolvimento das atividades vinculadas. Como informações iniciais tem-se os requisitos dos usuários e de uso, os quais são convertidos em especificações detalhadas que permitem a proposição de concepções de produto que atendam às necessidades dos seus usuários. O método segmenta a macrofase de projeção (etapa do desenvolvimento de produto que envolve a elaboração do seu projeto e do plano de manufatura) em quatro fases: projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado.

A fase de projeto informacional visa estabelecer as especificações de projeto, as quais irão orientar o desenvolvimento técnico do produto. Inicia-se com a definição dos usuários do produto e do estabelecimento das suas necessidades (requisitos dos usuários). Estes requisitos são na sequência “traduzidos” para linguagem de engenharia, na forma de requisitos de projeto (características que o produto deverá possuir). Com o auxílio da ferramenta de Desdobramento da Função Qualidade (*Quality Function Deployment – QFD*), correlaciona-se os requisitos de clientes e de projeto, categorizando-os pela sua importância. Com a conversão dos requisitos de usuários em requisitos de produto, são definidas as especificações de projeto, que correspondem às diretrizes para o estabelecimento da concepção de produto.

A fase de projeto conceitual tem como propósito desdobrar a função técnica global (função principal do produto) em subfunções parciais (condições para atender à função principal), estabelecendo-se a árvore de funções do produto. Esta estrutura funcional permite a definição das funções elementares do equipamento (primeira e segunda ordem), e a proposição de princípios de solução alternativos para atender à cada uma delas, através do estabelecimento de uma matriz morfológica. A combinação dos princípios de solução para cada subfunção parcial propostos na matriz morfológica, permite gerar alternativas conceituais que atendam aos requisitos pré-estabelecidos pelos usuários. A alternativa conceitual escolhida (aquela que melhor atende às necessidades do usuário) passa a ser a solução conceitual.

Na fase de projeto preliminar, a alternativa conceitual escolhida é desenvolvida em termos da sua arquitetura, com o estabelecimento da árvore genealógica do produto. Nesta etapa são dimensionados geometricamente os componentes do produto, bem como, realizada a seleção de materiais e processos para a sua fabricação. Após estas definições, a resistência dos componentes do produto é verificada através da realização de ensaios ou simulações. A alternativa conceitual é analisada ao final desta fase, sendo julgado quanto a sua otimização através dos testes realizados.

Por fim, a fase de projeto detalhado compreende às descrições definitivas do produto (leiaute final, desenhos técnicos, etc.). Nesta fase também são definidos os fornecedores, cronograma de produção, culminado com uma análise crítica do projeto, objetivando avaliar se todas as etapas foram adequadamente cumpridas. Nesta fase também é realizada a construção do protótipo e realização de testes funcionais, de modo a fixar as especificações técnicas do equipamento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Projeto Informacional

Esta fase do projeto tem como finalidade a busca das informações acerca do equipamento, avaliando produtos existentes com características e finalidades semelhantes. Desta forma, através da listagem das especificações de projeto que mensura-se os parâmetros para o desenvolvimento do novo equipamento. Inicialmente, realiza-se a coleta das informações para estabelecer as necessidades do cliente, que posteriormente são ranqueadas através de valores de acordo com o seu grau de importância e prioridade e, por fim, convertidos em requisitos de projeto. Ao término desse processo, os requisitos de projeto são hierarquizados e transpostos nas especificações de projeto.

A lista referente às necessidades do cliente (Tabela 1) foi elaborada a partir das demandas apresentadas pelo próprio cliente do projeto, no ato da contratação do serviço. Estas necessidades exprimem as características que o produto deverá possuir, e servem como base para o desenvolvimento da lista de requisitos de cliente.

Partindo-se da lista de requisitos de cliente, foi possível gerar o Diagrama de Mudge (Tabela 2), o qual é utilizado para identificar o grau de importância relativa de cada requisito de cliente. Nessa avaliação é feita a valoração dos requisitos, comparando diretamente dois à dois, verificando qual deles é o mais importante e quanto mais importante este é. Na Tabela 2 A=1 significa pouco mais importante, B=3 significa medianamente mais importante e C=5 significa muito mais importante. Entretanto, devido a alternativa de gerar novas características necessárias no formulário, houveram algumas lacunas. Portanto, algumas valorações foram feitas com a opinião das autoras deste trabalho.

Após avaliar os requisitos de cliente é necessário converter esses requisitos para requisitos de projeto, a fim de se obter características mensuráveis. Essas métricas estabelecem a forma como os requisitos de cliente podem ser atendidos pela engenharia. A

Tabela 1: Necessidades e requisitos de cliente.

NECESSIDADES DO CLIENTE		REQUISITOS DE CLIENTE	
1	Semi-automatização do processo	1	Utilização de solda capacitiva
2	Simple manuseio	2	Sistema mecânico específico
3	Baixo custo benefício	3	Padronização do processo
4	Soldagem mais eficaz	4	Não apresentar risco ao operador
		5	Baixa necessidade de treinamento do operador
		6	Sem liberação de tóxicos
		7	Poucas etapas no processo
		8	Baixa complexidade na operação
		9	Sem gastos com gás
		10	Sem gastos com metais de adição
		11	Mais agilidade no processo de soldagem
		12	Soldagem precisa

Tabela 2: Diagrama de Mudge.

Diagrama de Mudge													
Numeros de Requisitos de Projetos													
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Soma	%
1	1C	3A	4B	5A	6B	7A	1C	9B	10B	11A	1A	11	7,43%
	2	3B	4A	5A	6B	2B	8B	9A	2A	11A	12A	4	2,70%
		3	4A	3B	6A	7A	8A	9A	3A	11A	12B	8	5,40%
			4	4C	4A	4C	4B	4C	4C	4A	4A	31	20,94%
				5	5B	5A	8A	5B	5B	11A	12B	12	8,10%
					6	7B	8A	9A	6B	11B	12B	10	6,75%
						7	8A	7A	7A	11A	12A	7	4,73%
							8	8B	8C	8A	8A	17	11,48%
								9	9A	11B	12C	7	4,73%
									10	11C	12C	3	2,02%
										11	12A	16	10,81%
											12	22	14,86%
												148	100%

Valor de importância	
A	1
B	3
C	5

Tabela 3: Requisitos de projeto.

Número	REQUISITOS DE CLIENTE	REQUISITOS DE PROJETO
1	Utilização de solda capacitiva	Taxa de soldagem (operações corretas/hora)
2	Sistema mecânico específico	Número de componentes do equipamento (n°)
3	Padronização do processo	Número de etapas (n°)
4	Não apresentar risco ao operador	% da NR-12 (%)
5	Baixa necessidade de treinamento do operador	Tempo de experiência do operador (meses)
6	Sem liberação de tóxicos	% da NR-12 (%)
7	Poucas etapas no processo	Número de etapas (n°)
8	Baixa complexidade na operação	Número de etapas (n°)
9	Sem gastos com gás	Preço (R\$)
10	Sem gastos com metais de adição	Preço (R\$)
11	Mais agilidade no processo de soldagem	Número de operações realizadas por hora (npr/h)
12	Soldagem precisa	Taxa de precisão por mês (operações corretas/operações totais)

Para categorizar a importância dos requisitos de projeto realiza-se a elaboração de uma matriz de análise, utilizando para tanto o método de Desdobramento da Função Qualidade – QFD (). Dessa forma, a matriz guiará os projetistas durante o processo de concepção, priorizando alguns requisitos de acordo com sua relevância. A análise é feita através do cruzamento de requisitos, de modo que se identifique a correlação de cada requisito de projeto com todos os requisitos de cliente. Para obter o valor de importância atribuído a cada requisito de projeto é realizado o somatório dos valores resultante da multiplicação do grau de relacionamento de cada requisito de cliente com o valor absoluto do respectivo requisito.

Tabela 4: Matriz QFD.

Número	NECESSIDADES DO CLIENTE	Número	RELACIONAMENTO ENTRE REQUISITOS DE PROJETO E REQUISITOS DOS USUÁRIOS										Valor absoluto - Va	Valor relativo - Vr				
			REQUISITOS DE CLIENTE	1	2	3	4	5	6	7	8	9			10	11	12	
1	Semi-automatização do processo	1	Não apresentar risco ao operador	1	0	1	5	3	5	1	1	0	0	0	0	0	31	20,94%
		2	Soldagem precisa	5	0	3	1	5	1	3	3	1	1	5	5	5	22	14,66%
		3	Baixa complexidade na operação	5	0	5	3	1	3	5	5	0	0	0	5	5	17	11,48%
2	Simples manuseio	4	Mais agilidade no processo de soldagem	5	0	5	0	5	0	5	5	0	0	5	5	16	10,81%	
		5	Baixa necessidade de treinamento do operador	1	0	3	3	5	3	3	3	0	0	0	3	1	12	8,10%
3	Baixo custo benefício	6	Utilização de solda capacitiva	5	3	1	3	5	3	1	3	3	3	5	5	11	7,43%	
		7	Sem liberação de flocos	0	0	0	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	10	6,75%
4	Soldagem mais eficaz	8	Padronização do processo	0	0	5	1	0	1	5	5	0	0	3	3	8	5,40%	
		9	Poucas etapas no processo	0	0	5	0	0	0	5	5	0	0	3	3	7	4,73%	
		10	Sem gastos com gás	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	7	4,73%	
		11	Sistema mecânico específico	0	5	0	3	1	3	0	0	0	5	3	4	2,70%		
		12	Sem gastos com metáis de adição	0	0	0	0	0	0	0	5	5	0	0	3	2,02%		

A lista de requisitos e especificações de projeto (Tabela 4) deve conter unidades ou medidas a serem mensuradas, de modo que seja realizada a verificação das características desejadas para o equipamento. Dessa maneira, os valores metas são expressos na lista, e devem conter uma faixa de valores a ser atingida para cada requisito, bem como um método eficaz para sua verificação e avaliação das consequências do não cumprimento dessas metas.

Tabela 4: Requisitos e Especificações de Projeto.

Requisitos e Especificações de Projeto					
Classificação	Nº	Requisitos	Valor Meta	Modo de Verificação	Possíveis Riscos
1	11	Número de operações realizadas por hora (npr/h)	≥ 75	Contagem	Baixo número de operações
2	5	Tempo de experiência do operador (meses)	6 mês	Verificar habilidade do operador	Operador inexperiente
3	12	Taxa de precisão por mês (operações corretas/operações totais)	$\geq 95\%$	Relatório do operador	Cabos soldados de forma errônea
4	3	Número de etapas (nº)	≥ 7	Contagem	Excesso de etapas
5	1	Taxa de soldagem (operações corretas/hora)	$\geq 95\%$	Relatório do operador	Cabos soldados de forma errônea
6	4	% da NR-12 (%)	100%	Inspeção	Risco à segurança dos operadores Equipamento não se adequar na norma
7	9	Preço (R\$)	Devem ter o menor custo possível em relação aos materiais utilizados, fabricação, montagem e manutenção	Orçamento	Estar fora do orçamento
8	2	Número de componentes do equipamento (nº)	≥ 7	Contagem	Excesso número de componentes que dificultem a operação

3.2 Projeto Conceitual

Esta fase do projeto tem por finalidade conceber o produto partindo-se de soluções que sejam reais e aplicáveis dentro das condições do projeto, para todas as funções a serem desenvolvidas. O início do projeto conceitual é definido através do estabelecimento da função global do produto, a qual indica tudo aquilo que o equipamento é capaz de realizar. Após a definição da função global, parte-se para a definição das funções elementares. Estas descrevem todas as funções desempenhadas pelas partes constituintes do produto desenvolvido, e são obtidas através da divisão da função global em funções parciais. Ao final deste processo, as funções elementares devem responder questões como: “o que deverá ser feito?” e “como deverá ser executado?”, de modo que as etapas seguintes possam ser encaradas como problemas a serem resolvidos. O esquema representativo com a divisão da função global em funções parciais e das funções parciais em funções elementares para este projeto é apresentado na Tabela 5.

Após definição da função global e funções elementares, busca-se por princípios de solução para cada uma delas. Portanto, uma matriz morfológica é elaborada com o intuito de organizar e obter uma concepção viável para o produto. Após esse processo, é efetuada a modelagem 3D preliminar do protótipo do equipamento. A concepção previa do protótipo em *software* CAD minimiza os possíveis erros durante sua fabricação, facilitando o ajuste das dimensões durante o processo. Neste sentido, na Figura 1 é mostrada a concepção preliminar do equipamento.

Tabela 5: Diagrama funcional do produto.

DIVISÃO DAS FUNÇÕES		
Função Global	Funções Parciais	Funções elementares
Sistema de soldagem preciso com baixo nível de complexidade na operação, que não utilize consumíveis (gás e metal de adição), que abranja os diferentes modelos de facas a serem soldadas e que garanta segurança ao operador.	Garantir a fácil fixação da espiga e lâmina e a desafixação da faca	Prender e alinhar espiga
		Prender lâmina
		Garantir o contato necessário entre os elementos fixadores e espiga/lâmina
	Pressionar a lâmina contra a espiga	Possibilitar a produção de diferentes tamanhos de facas
		Alinhar lâmina
		Possibilitar o contato entre as superfícies da espiga/lâmina a serem unidas.
		Efetuar a pressão suficiente para obter contato íntimo entre espiga/lâmina
	Realizar a soldagem	Garantir rigidez do sistema para que não ocorra sua deflexão/deformação durante a soldagem
		Aplicar diferença de potencial entre os mordentes que prendem espiga e lâmina
		Garantir mínima resistividade elétrica no contato entre mordente/lâmina e mordente/espiga
	Permitir ajuste dos parâmetros elétricos	Conter conjuntos, subconjuntos e componentes do equipamento
		Rodinhas
		Converter corrente alternada da rede elétrica em corrente contínua
		Armazenar energia necessária à cada ciclo de soldagem
	Sustentar elementos constituintes	Oferecer segurança ao operador
Possibilitar a produção de mais de uma faca por vez		

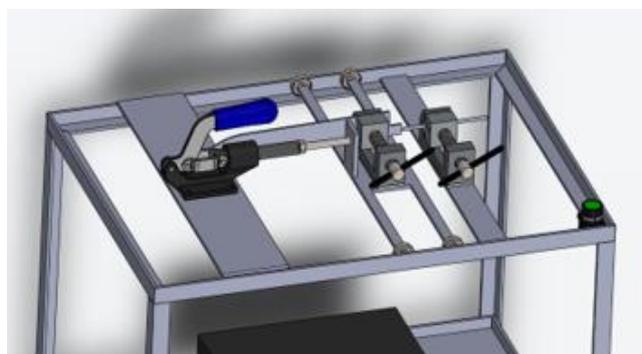
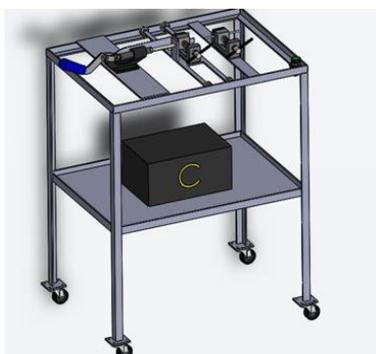


Figura 1: Concepção preliminar do equipamento.

3.2.1 Matriz Morfológica

Nesta etapa do projeto, as funções elementares são vistas como problemas a serem resolvidos. As soluções para cada função elementar, chamadas de princípios de solução, são organizadas em uma matriz morfológica, dessa forma, ao se ligar um princípio de solução de cada função elementar obtém-se uma concepção viável para o produto. A matriz morfológica do equipamento pode ser visualizada na Tabela 7.

Tabela 7: Matriz morfológica do produto desenvolvido.

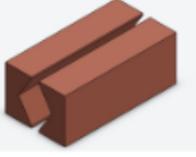
Funções Elementares		Princípios de Solução		
		1	2	3
1	Prender e alinhar espiga			
2	Prender lâmina			
3	Garantir o contato necessário entre os elementos fixadores e espiga/lâmina	Maior aderência (ranhuras)	-	-
4	Possibilitar a produção de diferentes tamanhos de facas	eixo linear maior do que o maior modelo e mordentes suportando diferentes espessuras de lâmina	-	-
5	Alinhar lâmina			
6	Possibilitar o contato entre as superfícies da espiga/lâmina a serem unidas.	Exercer pressão e analisar alinhamento para garantir o contato	Trava no sistema móvel da lâmina	

Tabela 7: Matriz morfológica do produto desenvolvido.

6	Possibilitar o contato entre as superfícies da espiga/lâmina a serem unidas.	Exercer pressão e analisar alinhamento para garantir o contato	Trava no sistema móvel da lâmina	
7	Efetuar a pressão suficiente para obter contato íntimo entre espiga/lâmina			
8	Garantir rigidez do sistema para que não ocorra sua deflexão/deformação durante a soldagem			
9	Aplicar diferença de potencial entre os mordentes que prendem espiga e lâmina	Um deve ser energizado e outro aterrado para gerar diferença de potencial entre dois pontos		
10	Garantir mínima resistividade elétrica no contato entre mordente/lâmina e mordente/espiga			

Tabela 7: Matriz morfológica do produto desenvolvido.

11	Conter conjuntos, subconjuntos e componentes do equipamento	Estrutura ter volume suficiente para conter todos os mecanismos do sistema		
12	Rodas para movimento do aparelho			
13	Converter corrente alternada da rede elétrica em corrente contínua			
14	Armazenar energia necessária à cada ciclo de soldagem			
15	Oferecer segurança ao operador	Seguir a NR 12 e NR10		
16	Possibilitar a produção de mais de uma peça por vez	Mais de um sistema completo	Mais mordentes no eixo linear	

3.3 Projeto Preliminar

No projeto preliminar a alternativa conceitual do equipamento é concebida, sendo realizado o dimensionamento dos elementos que integram o produto, a seleção de materiais e processo de fabricação, bem como uma estimativa de custo do produto.

A fim de desenvolver um equipamento de fácil fabricação e simples manutenção, optou-se pela utilização de componentes comerciais para a construção do mesmo.

É importante clarificar que o equipamento desenvolvido é constituído por conjuntos e subconjuntos, como: a estrutura, duas morsas (lâmina e espiga), dispositivo móvel, alavanca de pressão, rodízios giratórios, dobradiças, sistema de energia (condutores etc.) e caixa de capacitores.

Para a construção da estrutura do equipamento, foram selecionadas cantoneiras de aço carbono com dimensões de 1×1/4" e chapas com 3 mm de espessuras.

No que se refere ao subconjunto das morsas, definiu-se que seus mordentes (parte que fica em contato com a lâmina e espiga) sejam fabricados de cobre, para garantir uma maior dissipação de calor durante a passagem de corrente elétrica e melhor condução desta para as peças à serem unidas. Também, no corpo desses mordentes foram introduzidos canais para circulação de água, com o intuito de reduzir o seu aquecimento e, conseqüentemente, aumentar a sua vida útil.

Para a movimentação da morsa espiga concebeu-se um dispositivo móvel com rolamentos em sua extremidade, garantindo o fácil e suave deslocamento do mesmo.

Por fim, o subconjunto responsável por comportar todo o sistema elétrico corresponde à uma caixa de capacitores. Este subconjunto é responsável pelo fornecimento de energia para a produção da descarga elétrica necessária para promover a fusão das partes a serem unidas. Vale ressaltar que as mandíbulas das morsas são constituídas por um sistema de aterramento, garantindo uma maior segurança ao operador.

A Figura 2 ilustra o mocape digital do equipamento desenvolvido.

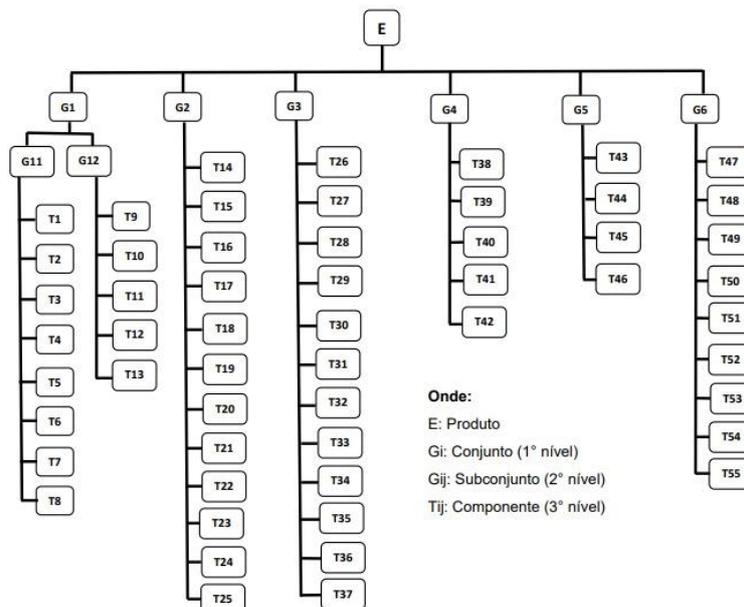


Figura 2: Mocape digital do produto.

3.3.1 Arvore Genealógica do Produto

Na presente fase do projeto foi elaborado a arvore genealógica do equipamento (Figura 3), bem como a escolha do seu leiaute final (Figura 5). Também deve-se salientar que nesta etapa a fim de detalhar e hierarquizar os conjuntos, subconjuntos e componentes do equipamento foi estruturada sua árvore genealógica, empregando-se uma metodologia e codificação específica de cada componente para facilitar a visualização, de tal maneira a compreender as partes constituintes do produto. Dessa maneira, o equipamento é composto por conjuntos e subconjuntos, são eles: a estrutura (G1), morsas espiga (G2) e morsa lâmina (G3), dispositivo móvel (G4), caixa de capacitores (G5), componentes elétricos (G6), assim, a arvore genealógica pode ser vista na Figura 3.

Figura 3: Arvore Genealógica do Produto Desenvolvido.



De maneira a detalhar a hierarquia dos conjuntos, subconjuntos e componentes do produto, utilizou-se uma codificação para a arvore genealógica. Para isso, estruturou-se a Tabela 8 que correlaciona os elementos do equipamento de união de espiga e lâmina por soldagem capacitiva com as codificações apresentadas anteriormente na Figura 3.

Tabela 8: Planilha da Árvore Genealógica.

Código	Elemento
E	Equipamento de solda capacitiva
G1	Estrutura
G11	Conjunto estrutural
T1	Cantoneiras 1x1/4"
T2	Chapas
T3	Tampa de proteção
T4	Parafusos M5/M8
T5	Porcas M5/M8
T6	Maçaneta
T7	Dobradiças
G12	Alavanca
T9	Canhão
T10	Tubo
T11	Borracha
T12	Alça
T13	Chapas
G2	Morsa de aperto espiga
T14	Mandíbulas
T15	Chapas
T16	Cantoneiras 1x1/4"
T17	Buchas
T18	Eixo central
T19	Pinos elásticos
T20	Guias
T21	Manipulo
T22	Parafusos diversos
T23	Porcas diversas
T24	Espigões 3/8" NPT: Retos e 90°
T25	Pino de trava

Tabela 8: Planilha da Árvore Genealógica.

Código	Elemento
G3	Morsa de aperto lâmina
T26	Mandíbulas
T27	Chapas
T28	Cantoneiras 1x1/4"
T29	Buchas
T30	Eixo central
T31	Pinos elásticos
T32	Guias
T33	Manipulo
T34	Parafusos diversos
T35	Porcas diversas
T36	Espigões 3/8" NPT: Retos e 90°
T37	Pino de trava
G4	Dispositivo móvel
T38	Chapas diversas
T39	Eixos laterais
T40	Rolamentos SKF
T41	Parafuso M10
T42	Porca M10
G5	Caixa dos Capacitores
T43	Chapas diversas
T44	Botoeiras liga/desliga
T45	Dobradiças
T46	Capacitores eletrolíticos 200V
G6	Componentes elétricos
T47	Botões: liga/emergência/fim de curso
T48	Parafusos M5
T49	Porcas M5
T50	Contadoras CA
T51	Ponte retificadora
T52	Relés temporizadores
T53	Resistores
T54	Fusíveis
T55	Terminais M6

3.3.2 Listagem e Especificações dos Componentes

A fim de detalhar de maneira minuciosa o equipamento (conjuntos, subconjuntos e componentes) elaborou-se a listagem atrelada com as especificações, codificação e nomenclatura dos respectivos itens, assim como a quantidade de cada um. Também, destaca-se que nesta etapa houve a realização da otimização do aparelho através do dimensionamento de cada componente, bem como as especificações de materiais a serem fabricados ou comprados. Ao longo dessa fase preliminar, diversas informações reunidas foram sintetizadas de maneira determinar a aquisição dos componentes comerciais e fabricação dos já definidos. Na Tabela 9 e 10 é apresentada a lista dos materiais com descrição e quantidades dos componentes utilizados na montagem do equipamento de soldagem capacitiva.

Tabela 9: Lista e codificação dos componentes do equipamento desenvolvido.

Nomenclatura	Código	Material	Quantidade	Dimensões	Unidade
Equipamento de Solda Capacitiva	01.00.00.00	Diversos	1	-	-
Cantoneira vertical frontal direita	01.00.01.01	Aço	1	1x1/4"x1000mm	pç
Cantoneira vertical frontal esquerda	01.00.01.02	Aço	1	1x1/4"x1000mm	pç
Cantoneira horizontal lateral	01.00.01.03	Aço	1	1x1/4"x500mm	pç
Cantoneira horizontal	01.00.01.04	Aço	2	1x1/4"x850mm	pç
Cantoneira lateral inferior	01.00.01.05	Aço	4	1x1/4"x487,3mm	pç
Cantoneira inferior	01.00.01.06	Aço	4	1x1/4"x837,3mm	pç
Chapa superior	01.00.01.07	Aço	2	837x487x3mm	pç
Chapa inferior	01.00.01.08	Aço	1	837x487,3x3mm	pç
Cantoneira vertical	01.00.01.09	Aço	2	1x1/4"x1000mm	pç
Chapa mesa	01.00.01.10	Aço	1	837x487,3x3mm	pç
Chapa inferior	01.00.01.11	Aço	1	824,56x455,56x3mm	pç
Chapa traseira	01.00.01.12	Aço	1	850x455,8x3mm	pç
Chapa lateral painel	01.00.01.13	Aço	2	455,8x500x3mm	pç
Chapa morsa fixa	01.00.01.14	Aço	1	489,53x156,4x3mm	pç
Chapa base alavanca	01.00.01.15	Aço	1	487,7x100x3mm	pç
Cantoneira horizontal	01.00.01.16	Aço	2	1x1/4"x850mm	pç
Proteção	01.00.01.17	Acrílico	1	-	pç
Porta esquerda	01.00.01.18	Aço	1	420x350x3mm	pç
Porta direita	01.00.01.19	Aço	1	420x350x3mm	pç
Cantoneira tampa frontal	01.00.01.20	Aço	1	1x1/4"x868mm	pç
Cantoneira tampa traseira	01.00.01.21	Aço	1	1x1/4"x868mm	pç
Cantoneira tampa lateral	01.00.01.22	Aço	2	1x1/4"x518mm	pç
Parafuso M5	01.00.01.23	Aço	59	M5	pç
Porca M5	01.00.01.24	Aço	56	M5x0,8	pç
Maçaneta	01.00.01.25	-	2	-	pç
Chapa superior painel	01.00.01.26	Aço	2	80x65x3mm	pç
Chapa traseira painel	01.00.01.27	Aço	1	130x65x3mm	pç
Chapa frontal painel	01.00.01.28	Aço	1	130x65x3mm	pç
Tampa painel	01.00.01.29	Aço	1	130x86x3mm	pç
Apoio painel	01.00.01.30	Aço	2	68x57x10mm	pç

Tabela 10: Lista e codificação dos componentes do equipamento desenvolvido.

Nomenclatura	Código	Material	Quantidade	Dimensões	Unidade
Chapa lateral	01.00.01.31	Aço	2	500X456X3mm	pç
Chapa fixação fim de curso	01.00.01.32	Aço	1	39,2x30x3mm	pç
Chapa tampa fim de curso	01.00.01.33	Aço	1	100x60x3mm	pç
Base das rodas	01.00.01.34	Aço	4	105x80x5mm	pç
Dobradiça	01.00.02.00	Aço	8	-	pç
Alavanca	01.00.03.00	Diversos	1	-	pç
Morsa lâmina	01.00.04.00	Diversos	1	-	-
Morsa espiga	01.00.05.00	Diversos	1	-	-
Dispositivo móvel	01.00.06.00	Diversos	1	-	-
Base	01.00.06.01	Aço	1	173,5x466,5x5mm	pç
Eixo lateral	01.00.06.02	Aço	2	-	pç
Rolamento SKF	01.00.06.03	Aço	4	-	pç
Eixo	01.00.06.04	Aço	2	-	pç
Parafuso M10	01.00.06.05	Aço	1	M10x1.5x45	pç
Porca M10	01.00.06.06	Aço	1	M10x1.5	pç
Rodizio com trava	01.00.07.00	Diversos	4	-	pç
Botão de emergência	01.00.08.01	Diversos	1	-	pç
Botão ligar	01.00.08.02	Diversos	1	-	pç
Fim de curso	01.00.08.03	Diversos	1	-	pç
Parafuso fim de curso	01.00.08.04	Aço	2	M3	pç
Porca fim de curso	01.00.08.05	Aço	2	M3	pç
Terminal olhal	01.00.08.06	Latão	3	M6	pç
Resistor	01.00.08.09	Diversos			pç
Relés temporizador	01.00.08.10	Diversos			pç
Ponte retificadora	01.00.08.11	Diversos			pç
Contatora	01.00.08.12	Diversos			pç
Caixa capacitores	01.00.09.00	Diversos	1	300x200x150mm	-
Botoeira	01.00.09.06	Diversos	1	-	-

3.4 Projeto Detalhado

Nessa fase final do projeto é executado o plano de manufatura, construção e validação do protótipo, a fim de estabelecer as suas especificações técnicas.

Nesta fase do projeto também é estabelecido o leiaute final do produto (Figura 5), com a elaboração dos seus desenhos técnicos, o seu manual de operação, a indicação do cronograma para a sua produção, a definição dos fornecedores e as especificações técnicas do produto.

Vale esclarecer que o projeto foi desenvolvido até a etapa de elaboração do plano de manufatura do produto, em razão de o serviço de construção e validação do protótipo não ter sido contratado pelo cliente. Estas etapas serão efetuadas pela empresa contratante, contando com a supervisão da equipe técnica da empresa Motora Jr.

3.4.1 Especificações técnicas do equipamento

O leiaute final do equipamento é ilustrado na Figura 5 através da renderização de uma imagem 3D em *software* CAD. De acordo com a imagem final do produto observa-se o subconjunto da estrutura soldada composta por cantoneira e chapas de aço, que garantem a rigidez do arranjo metálico para que não ocorra deflexão do sistema durante a soldagem. Também se verifica outros subconjuntos que compõem o equipamento, como as morsas (morsa espiga e morsa lâmina), alavanca de pressão, dispositivo móvel e sistemas de energia (componentes elétricos e caixa de capacitores), que possibilitam tanto o alinhamento, fixação da espiga e lâmina, como efetuam a pressão suficiente para obter contato íntimo entre espiga e lâmina, e a aplicação de diferença de potencial entre as partes a serem fundidas pelo sistema elétrico (capacitores). Também, visando a maior segurança do produto para o operador buscou-se implementar uma tampa de proteção, botão de emergência e chave de fim de curso, garantindo o funcionamento apenas quando a chave de fim de curso estiver acionada através da tampa de proteção.



Figura 5: Leiaute final do produto.

4. CONCLUSÕES

O equipamento concebido corresponde, em resumo, a um núcleo de contenção do processo, constituído por uma estrutura montada a partir de cantoneiras e chapas de aço, projetada para acomodar os subsistemas que desempenham as funções relativas à execução da soldagem capacitiva. Estes subsistemas foram devidamente configurados para permitir a implementação de funções que tomaram possível a realização da união entre a lâmina e espiga. O equipamento concebido é de simples operação, sendo esta constituída pelas etapas de posicionamento e fixação da lâmina e espiga nas morsas, movimentação da morsa espiga e aplicação da carga elétrica (a qual é efetuada por meio de um botão de acionamento).

5. REFERÊNCIAS

- Pahl, G.; Beitz, W., 1996. "Engineering design: a systematic approach". 3rd edition. Ed. Springer Verlag.
Marques, V. P., Modenesi, J., P., Bracarense, Q., A., 2021. "Soldagem - Fundamentos e Tecnologia". 4^a edição.
Beck, R., M., 2014. "Desenvolvimento de um dispositivo para soldagem capacitiva". Trabalho Final de Curso (Bacharel em Engenharia Mecânica) – Faculdade Horizontina - FAHOR

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.