

ESTUDO DE ANÁLISE DE VIBRAÇÕES EM UM FERRAMENTAL PARA SOLDAGEM DE PLÁSTICOS POR ULTRASSOM

Allan Querubim dos Santos, allanquer@yahoo.com.br,¹
Leandro Cardoso da Silva, leandro.cardoso@sp.senai.br,¹
Carlos Cesar Pestana, carlos.pestana@sp.senai.br,¹
Norberto Gonçalves Neto, norberto.neto@sp.senai.br,¹
Nelis Evangelista Luiz, nelis.evangelista@sp.senai.br,¹

¹ Faculdade Senai Roberto Simonsen (Senai); Pós- Graduação Projetos Mecânicos Industriais

Resumo: A tecnologia de soldagem de plásticos por ultrassom sempre esteve presente em diversos setores da indústria em geral, entre eles; automobilístico, alimentício, embalagens, utilidades e tão importante quanto esses já mencionados, o setor médico-hospitalar, que atualmente se destaca pelo uso da tecnologia de soldagem por ultrassom, principalmente no processo de fabricação de máscaras cirúrgicas, sendo essas, utilizadas no combate à pandemia do COVID-19 (Doença do Corona Vírus). Nesse cenário de pandemia, devido à necessidade e a obrigatoriedade do uso de máscaras como proteção contra o coronavírus, algumas empresas aderiram a fabricação de máscaras cirúrgicas como fonte de renda e outras como responsabilidade social, contudo tornando o processo de soldagem por ultrassom ainda mais conhecido e consequentemente, como tema a ser estudado. No processo de soldagem por ultrassom, os componentes que atuam em contato com o produto, tem a função de transmitir vibrações mecânicas na frequência de 20.000Hz geradas pelo efeito piezoelétrico, com a finalidade de unir as partes do mesmo através de fusão por fricção de calor ocasionada pelas vibrações transmitidas. Para tal efeito os componentes; transdutor, Transformador Acústico e Sonotrodo, denominados conjunto acústico, devem ser capazes de suportar, na maioria dos casos, elevadas horas de produção. Esta pesquisa tem o objetivo de apresentar um estudo para avaliar os componentes que integram o ferramental de solda por ultrassom (Transdutor, Transformador acústico e Sonotrodo) por meio de análise de frequência, realizada pelo Método Dos Elementos Finitos com finalidade de detectar as frequências naturais do modelo, os modos de vibração de sua estrutura, evitando que o conjunto entre em ressonância quando submetido à frequência de vibração de 20.000 Hz. Como proposta da pesquisa, foi realizada a análise de frequência na geometria tridimensional do ferramental de soldagem por ultrassom, a fim de validar sua geometria para que o mesmo trabalhe em conformidade com a frequência de vibração de 20.000Hz utilizada no processo, eliminando ou reduzindo a possibilidade de quebra prematura do conjunto por motivo de fadiga em ambiente produtivo.

Palavras-chave: Análise modal, Soldagem por ultrassom, Sonotrodo, Elementos Finitos.

1. INTRODUÇÃO

Em um mercado cada vez mais competitivo, onde a necessidade de reduzir o tempo de fabricação e garantir que o produto esteja de acordo com os padrões de qualidade exigidos pelo consumidor final, fazem com que a indústria em geral busque alternativas e processos que venham contribuir com tais melhorias.

A indústria do setor de transformação de plásticos destaca-se pelo fato de estar presente no cotidiano das pessoas com produtos de grande variedade.

Nesse cenário competitivo, a tecnologia de soldagem de plásticos por ultrassom destaca-se por proporcionar velocidade e qualidade quando se trata de união de peças plásticas, resultando em um produto de excelente qualidade, tanto em aspecto visual quanto em estrutural.

Entre os componentes do processo de solda por ultrassom, o ferramental que é constituído por transdutor, transformador acústico e sonotrodo, é parte fundamental, uma vez que o mesmo é responsável por transferir as vibrações mecânicas para o produto.

Para que o processo de soldagem por ultrassom seja eficiente, a fase de desenvolvimento do ferramental é fator determinante. Essa pesquisa apresenta a análise da geometria do ferramental, visando detectar seus modos de vibração, com objetivo de reduzir o risco de fadiga prematura em sua estrutura ocasionado por ressonância. Diante dos resultados

obtidos nesse estudo, é possível reduzir o tempo de fabricação do ferramental e atender com eficiência o mercado de soldagem por ultrassom que demanda de uma produção efetivamente alta.

Essa pesquisa apresenta a análise de um ferramental de soldagem de plásticos por ultrassom e é composta por seções que descrevem todo o estudo proposto. A seção de revisão bibliográfica, apresenta o processo de ultrassom, seus componentes fundamentais e suas características. Na seção materiais e métodos é apresentado a geometria analisada, o software utilizado, o tipo de análise e os parâmetros utilizados no decorrer da análise. Na seção resultados e discussão, os modos de vibração são apresentados e evidenciados os dois modos com valores próximos à frequência de trabalho. Em seguida, na seção de conclusão, é apresentado a validação da geometria com base nos critérios apresentados no decorrer do estudo.

2. OBJETIVOS

Esta pesquisa tem como objetivo, apresentar um ferramental para soldagem de plásticos por ultrassom submetido à análise modal pelo método dos elementos finitos com finalidade de validar a geometria proposta, considerando que a mesma não contenha frequências naturais, igual ou próximas da faixa de frequência de 20.000 Hz que o equipamento trabalha, com tolerância de afastamento na ordem de $\pm 0,25\%$ da frequência de trabalho, evitando que o mesmo não entre em ressonância

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para a elaboração deste estudo, buscou-se compreender o processo de soldagem por ultrassom, seu princípio de funcionamento, seus componentes e suas respectivas funções no processo. Também, fez-se necessário ter uma base de conhecimentos em análise pelo método dos elementos finitos com ênfase na análise de vibrações e software dedicado.

3.1 Processo de Soldagem por Ultrassom

Segundo Souza. (2005) O processo de soldagem por ultrassom é realizado utilizando-se um transformador eletroacústico (transdutor) que transforma uma corrente alternada em oscilações longitudinais mecânicas com frequência entre 15.000 e 40.000 Hz, atingindo amplitudes de onda de 20 a 100 μm . O componente denominado sonotrodo é o agente que transmite as vibrações à junta a ser soldada.

Basicamente, os equipamentos utilizados no processo de soldagem por ultrassom são compostos por gerador (responsável por gerar a energia elétrica na frequência de operação, o que nesse estudo será de 20.000 Hz.), transformador acústico ou conversor (que converte a energia elétrica de alta frequência em vibrações mecânicas), amplificador ou booster (que aumenta ou reduz a amplitude da vibração utilizada) e o sonotrodo ou Horn como elemento que entra em contato e responsável por transmitir a vibração mecânica para as peças a serem unidas. A figura 1 mostra a sequência de funcionamento de um equipamento de soldagem por ultrassom.

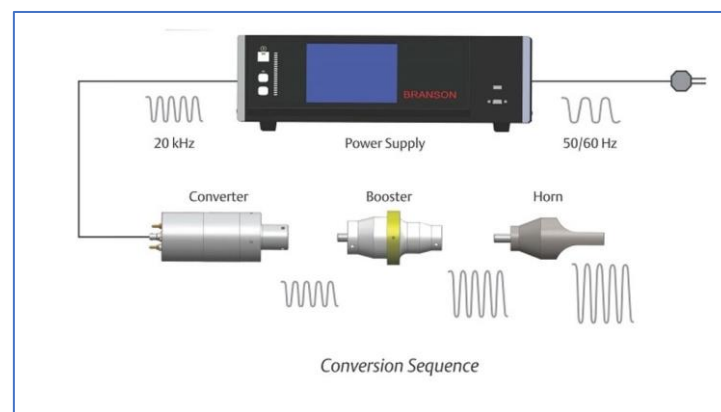


Figura 1. Sequência de funcionamento de equipamento de soldagem por ultrassom. Fonte: Branson (2022).

Componentes

Os equipamentos de soldagem por ultrassom são constituídos por: gerador e conjunto acústico (conversor, transformador acústico e sonotrodo).

Gerador

Segundo Sonitron. (1988) Os geradores de ultrassom produzem a alta tensão e energia necessárias para o processo de soldagem e mantêm a amplitude constante. A tecnologia de controle preciso no gerador garante resultados de soldagem reproduzíveis.

Conversor ou transdutor

De acordo com Sonitron. (1988) Transdutor em geral é o nome de certos dispositivos que possuem a qualidade de transformar determinada grandeza em outra, com características completamente diferentes, o transdutor utilizado em ultrassom tem como propriedade, modificar para vibrações mecânicas o sinal elétrico aplicado sobre ele. Para isto, o referido transdutor é composto por cristais cerâmicos piezoelétricos montados numa base com configuração adequada. Quando os cristais são submetidos a um campo eletrostático, se estabelecem tensões mecânicas ao longo de certo eixo. Reciprocamente, se estes cristais são sujeitos a esforços mecânicos sobre sua superfície, aparecem cargas elétricas, este fenômeno em física é conhecido como piezoeletricidade e foi descoberto em meados de 1880 pelo casal Curie. A figura 2 mostra um tipo de transdutor usado em soldagem de plásticos por ultrassom.

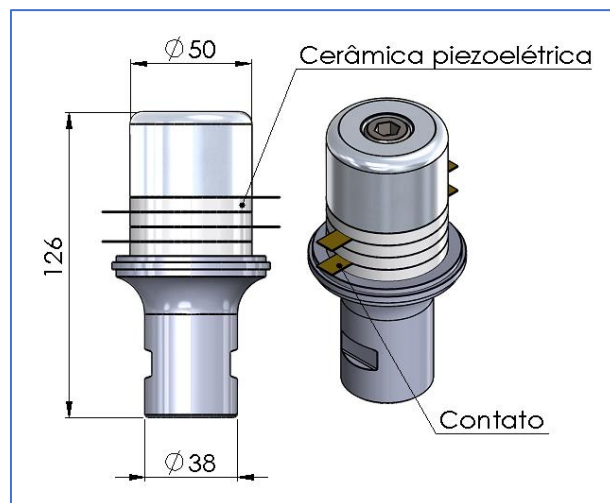


Figura 2. Conversor ou transdutor. Fonte: Autor (2022).

Transformador acústico ou Booster

De acordo com Lorêdo Junior. (1988) O sucesso do processamento de termoplásticos por ultrassom depende sempre da amplitude da vibração na face do sonotrodo. Quando variamos essa amplitude, variamos também a velocidade e dessa forma podemos gerar maior ou menor quantidade de calor na junta da soldagem. O transformador acústico, também chamado de booster é acoplado no transdutor controlando os ganhos ou reduções da amplitude de vibração fornecida ao sonotrodo, ou seja, manipula-se a distância que o sonotrodo vibra verticalmente na ordem de micrômetros. Esse controle do ganho ou redução de amplitude é constituído através da forma geométrica de cada TA. O mais comum é o TA verde, mostrado na fig. 3, visto que ele apenas conecta o transdutor no sonotrodo, tendo uma relação geométrica de 1:1, ou seja, não fornece ampliação e nem redução de amplitude.

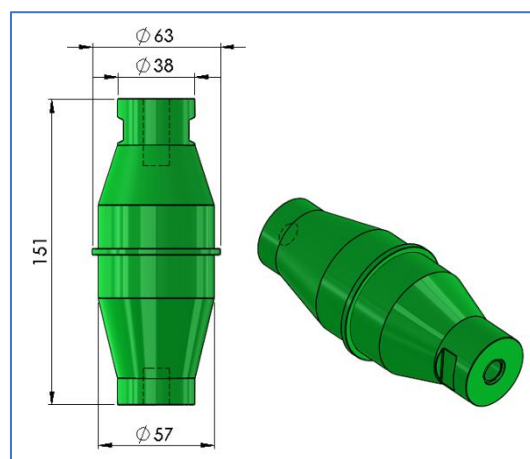


Figura 3. Transformador acústico ou Booster. Fonte: Autor (2022).

Sonotrodo

De acordo com Kiyono. (2008) Sonotrodos são elementos utilizados em várias aplicações de potência onde geralmente operam como uma ferramenta agindo diretamente na superfície de trabalho ou transmitindo energia para outros dispositivos.

É o componente do ferramental para solda por ultrassom que deve ser levado em consideração no quesito desenvolvimento e fabricação, isso porque é ele que tem a função de transmitir as vibrações mecânicas ao produto a ser soldado. Este componente pode ter sua geometria de acordo com produto a ser soldado.

Um sonotrodo é feito de duralumínio, aço ou titânio dependendo da aplicação. Vibrando livremente no ar requer pouquíssima energia, porém quando aplicamos uma carga mecânica ao sonotrodo, uma carga elétrica proporcional é aplicada na fonte geradora. O formato geométrico dos sonotrodos variam conforme a potência exigida para soldar o termoplástico. A figura 4 mostra a geometria de um sonotrodo com suas respectivas medidas, utilizado na soldagem de máscaras cirúrgicas de combate ao COVID-19.

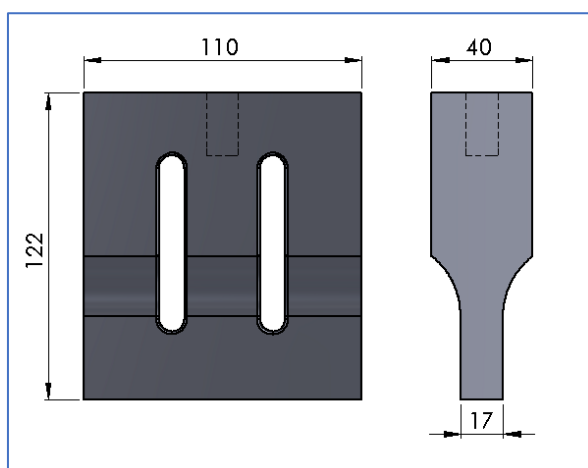


Figura 4. Sonotrodo 20.000 Hz utilizado na fabricação de máscaras cirúrgicas. Fonte: Autor (2022).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir os resultados propostos, realizou-se um estudo cuja a metodologia utilizada para tal será apresentada nessa seção, compreendendo os fatores iniciais que objetivaram esse estudo e o desenvolvimento da proposta frente a situação atual.

Considerando que o equipamento gerador de ultrassom fornece uma corrente elétrica na frequência de 20.000 Hz e que esse sinal elétrico é transformado em oscilações mecânicas pelo efeito piezoelétrico das cerâmicas originando em vibrações mecânicas com frequência de 20.000 Hz, a geometria do ferramental deverá atender a frequência em questão.

Diante da premissa de que o ferramental desenvolvido deverá atender a frequência de vibração de 20.000Hz, sua geometria foi submetida à análise computacional.

O método adotado neste estudo para analisar a geometria do ferramental, foi por meio de análise pelo método dos elementos finitos, por meio de análise modal, para detectar as frequências naturais do modelo e seus respectivos modos de vibração a fim de avaliar se há alguma frequência natural na mesma faixa de frequência de trabalho do equipamento (20.000 Hz).

Foram calculadas e analisadas 12 formas modais mais próximas da frequência que o ferramental trabalha, ou seja, 20.000 Hz.

O software utilizado neste estudo para modelagem tridimensional dos componentes do ferramental de solda por ultrassom e simulação por elementos finitos foi o Solidworks.

O material dos componentes do conjunto acústico (transdutor, transformador acústico e sonotrodo) submetido a análise foi a liga de alumínio da série 7000, especificamente a liga 7050 T7651.

Foram excluídos da análise, porém não da geometria os elementos de fixação e as cerâmicas piezoelétricas pelo motivo de serem itens padronizados, e analisados em conjunto os itens construídos de alumínio, tais como; transdutor, transformador acústico e sonotrodo. Estes, com total liberdade para posterior usinagem de alteração de geometria se for necessário. A Figura 5 mostra a geometria do ferramental a ser validado pela análise por elementos finitos.

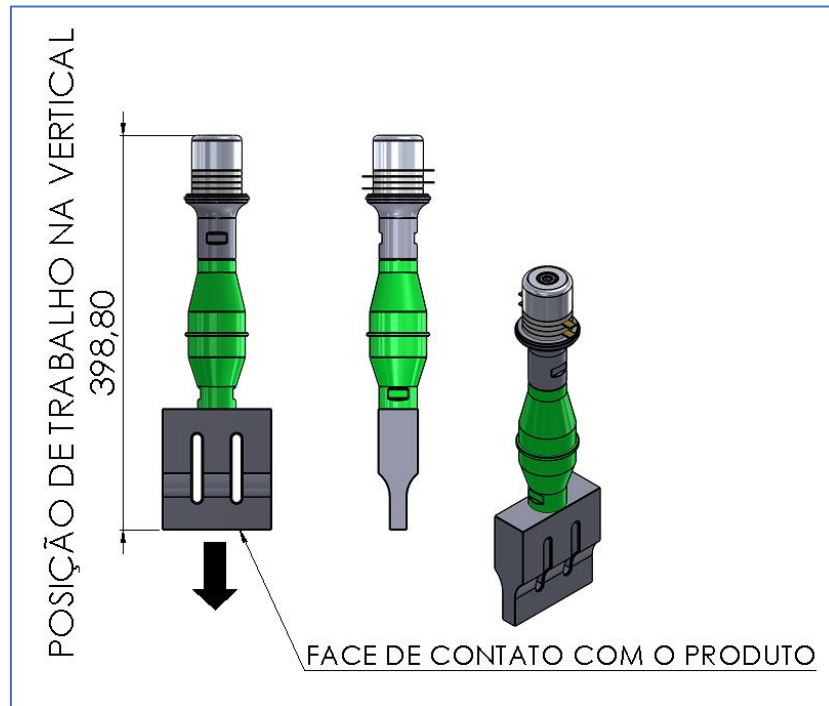


Figura 5. Geometria do ferramental para soldagem de plásticos por ultrassom. Fonte: autor (2022).

Na simulação por elementos finitos os parâmetros de malha utilizados para o modelo do ferramental para soldagem por ultrassom foram:

- 1) Software: Solidworks
- 2) Tipo de malha: Malha sólida
- 3) Gerador de malha usado: Malha com base em curvatura
- 4) Pontos Jacobianos: 16
- 5) Tamanho do elemento máximo: 5
- 6) Tamanho do elemento mínimo: 1
- 7) Qualidade da malha: Alta
- 8) Total de nós: 125615
- 9) Total de elementos: 83655
- 10) Proporção máxima: 42,3

A figura 6 mostra o modelo tridimensional do ferramental com a malha aplicada para análise.

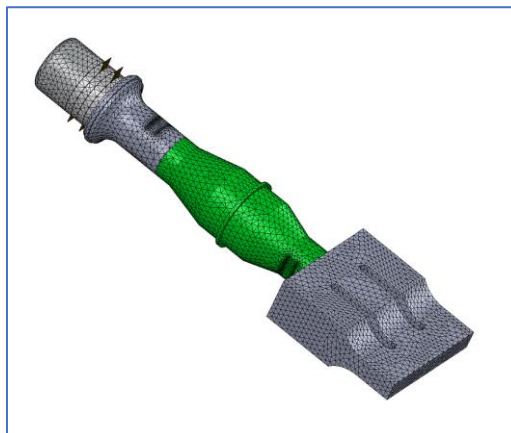


Figura 6. Modelo tridimensional com malha aplicada para análise modal. Fonte: Autor (2022).

A análise modal aplicada nesse estudo tem o objetivo de detectar no modelo tridimensional do ferramental, seus modos de vibração e suas respectivas frequências naturais, a fim de investigar se não existem frequências próximas à faixa de vibração de 20.000 Hz, com tolerância de $\pm 0,25\%$ ou 19.050 Hz a 20.050 Hz, ou seja, a mesma faixa de vibração que o equipamento trabalha em conjunto com o ferramental, validando a geometria e garantindo que a mesma não entre em ressonância quando exposta as condições de trabalho.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diante do proposto nesse estudo, foi possível detectar os modos de vibração e suas respectivas frequências naturais do modelo tridimensional do ferramental de solda por ultrassom por meio de análise modal. Para a realização desta simulação analisou-se 12 frequências naturais próximas da frequência de 20.000 Hz. Os resultados obtidos na análise estão representados na Tab.1 a seguir.

Tabela 1. Lista de frequências ressonantes detectadas por análise modal.

LISTA DE FREQUÊNCIAS RESSONANTES		
Nº do modo	Frequência(Rad/s)	Frequência(Hertz)
1	1,16E+09	18460
2	1,16E+09	18515
3	1,22E+09	19472
4	1,25E+09	19887
5	1,29E+09	20542
6	1,34E+09	21281
7	1,34E+09	21395
8	1,37E+09	21765
9	1,38E+09	21901
10	1,39E+09	22141
11	1,39E+09	22168
12	1,40E+09	22224

Como observado na tabela 1, foram analisados 12 modos de vibração e suas respectivas frequências naturais, atentando-se para os modos 4 e 5, modos estes que contêm frequências naturais ou ressonantes com valores de 19.887 Hz e 20.542 Hz respectivamente, próximas à frequência de trabalho do ferramental na faixa de vibração de 20.000 Hz.

A seguir podemos visualizar os modos de vibração detectados na análise. A figura 7, mostra as formas modais 1, 2 e 3 detectadas na análise.

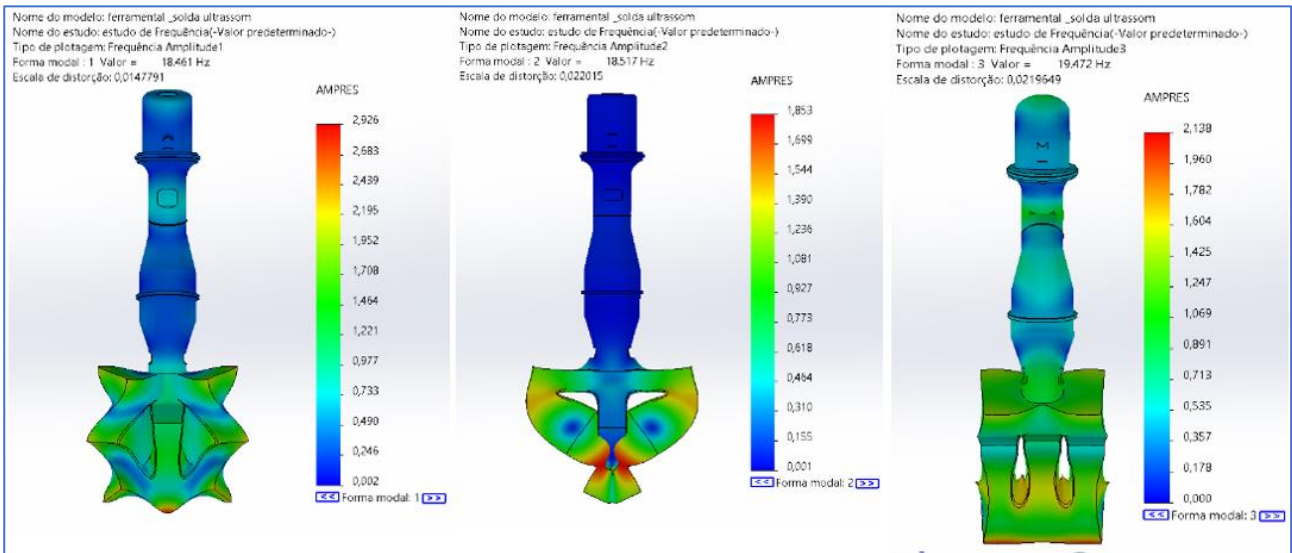


Figura 7. Modos de vibração 1, 2 e 3 obtidos na análise modal. Fonte: Autor (2022)

Os modos de vibração 4, 5 e 6, estão representados a seguir. A figura 8, mostra os modos 4, 5 e 6 detectados na análise.

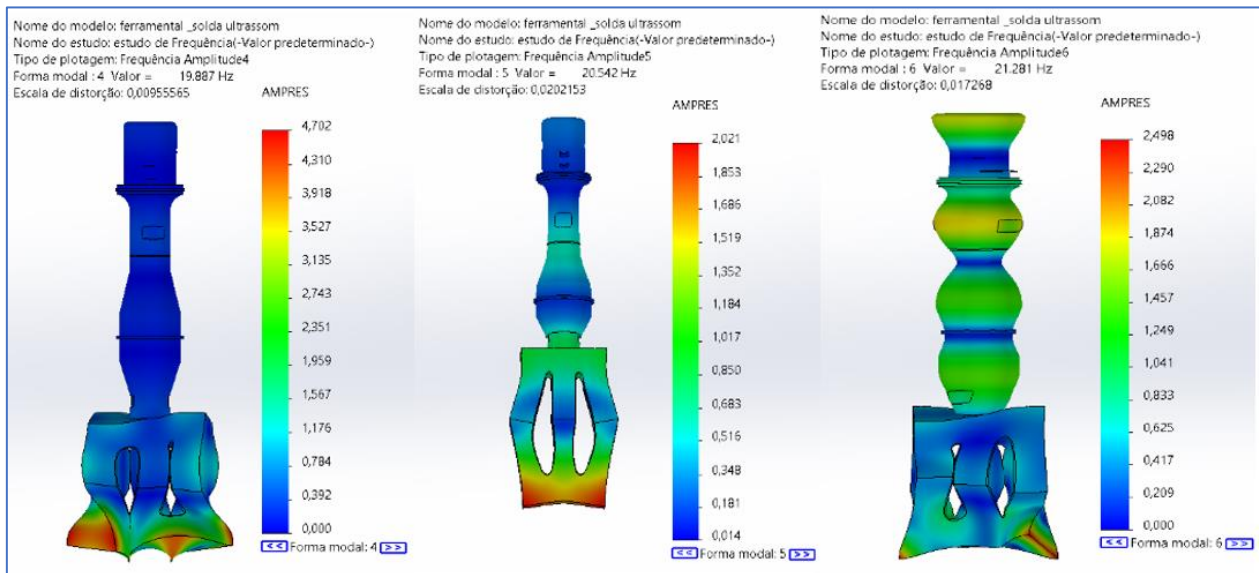


Figura 8. Modos de vibração 1, 2 e 3 obtidos na análise modal. Fonte: Autor (2022)

Os modos 4 e 5 estão entre os modos de vibração que contem frequências naturais próximas à frequência de vibração do processo, desta forma, buscou-se avaliar se o mesmo está de acordo com os valores de tolerância de afastamento sobre a frequência indicada pelo processo, ou seja, $\pm 0,25\%$ sobre a frequência de 20.000 Hz. Com base nos valores de frequência encontrados nos modos 4 e 5, pode-se concluir que a geometria do ferramental está de acordo com o critério de tolerância estabelecido para o processo, pois os valores encontrados, estão fora da faixa de frequência de 19.050 Hz a 20.050 Hz. A figura 9, mostra especificamente, os resultados dos modos obtidos 4 e 5 simulados pelo método dos elementos finitos.

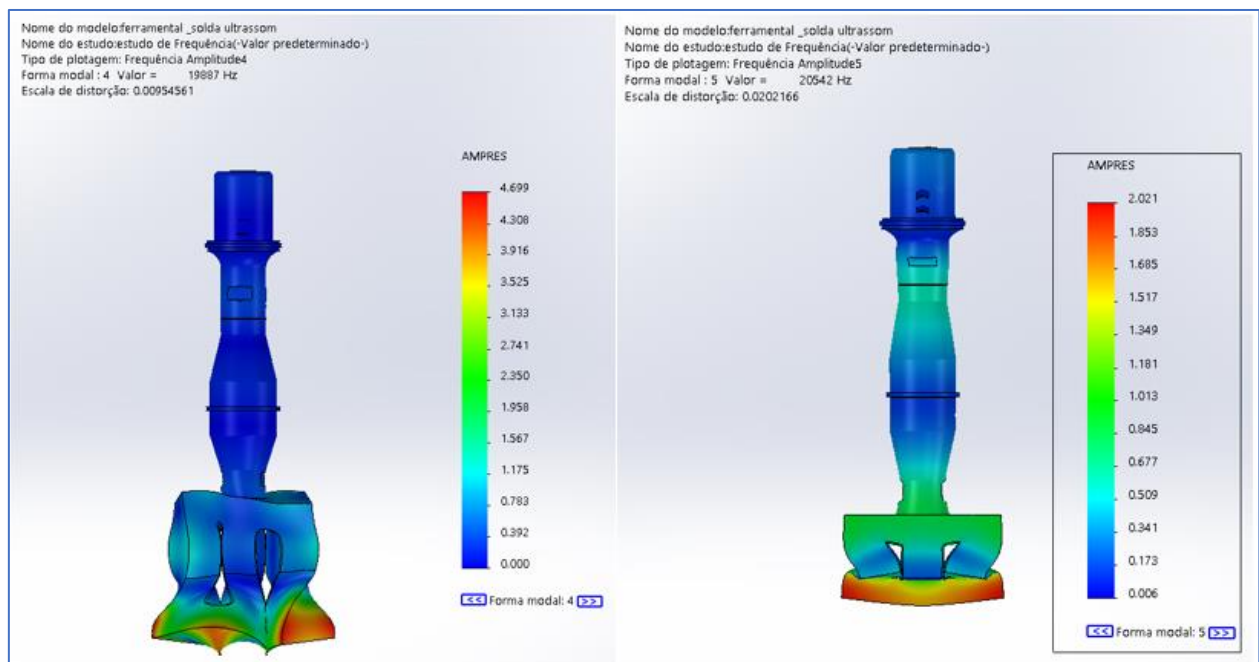


Figura 9. Modos de vibração 4 e 5 obtidos na análise modal. Fonte: Autor (2022)

Os modos 7, 8 e 9, apresentam valores que não influenciam no processo. A figura 10, mostra os modos 7, 8 e 9 detectados na análise.

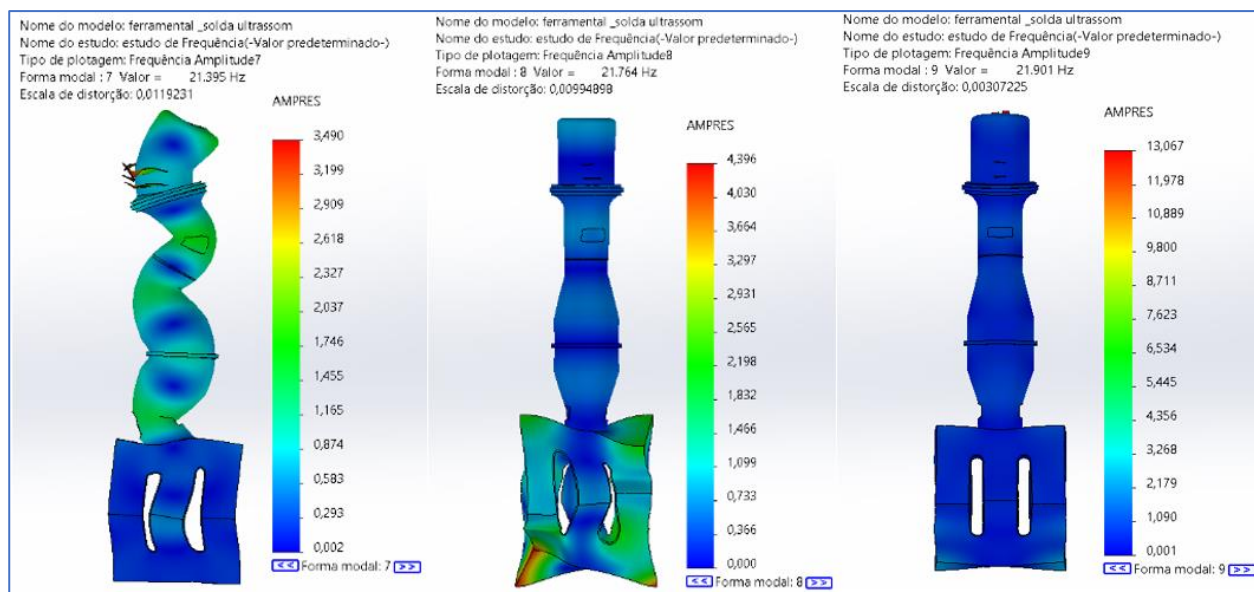


Figura 10. Modos de vibração 7, 8 e 9 obtidos na análise modal. Fonte: Autor (2022)

Da mesma forma que os modos apresentados anteriormente, os modos 10, 11 e 12 seguem com valores fora da frequência de trabalho estabelecida. A figura 11, mostra os modos 4, 5 e 6 detectados na análise.

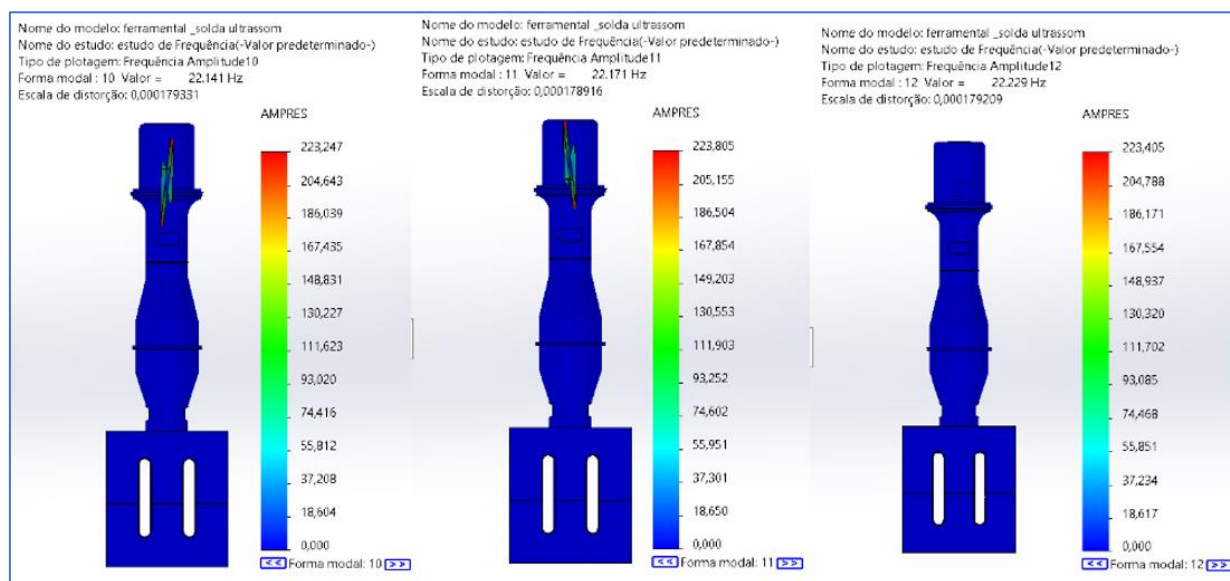


Figura 11. Modos de vibração 10, 11 e 12 obtidos na análise modal. Fonte: Autor (2022)

6 CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos na análise modal pelo método dos elementos finitos feita em um modelo tridimensional de um ferramental de solda por ultrassom, foi possível detectar os modos de vibração e as frequências naturais do modelo para fins de validação do mesmo.

A geometria do ferramental para soldagem por ultrassom foi validada através de análise pelo método dos elementos finitos, tendo como critério de validação de que os valores de frequências naturais não coincidam com a frequência de trabalho de 20.000 Hz, aderindo uma tolerância de afastamento $\pm 0,25\%$ da frequência de trabalho em questão.

Desta forma, pôde-se concluir que os modos 4 e 5, estão entre os modos com valores de frequência mais próximos da frequência de 20.000 Hz utilizada no processo, porém os valores dos modos 4 e 5, estão fora da faixa de 19.050 Hz a 20.050 Hz estabelecida como campo da frequência a qual o gerador de ultrassom trabalha.

Portanto, a análise realizada neste estudo mostrou-se exitosa na concretização do objetivo de que o ferramental não contenha frequências naturais, igual ou próximas da faixa de frequência de 19.050 Hz a 20.050 que o equipamento trabalha, evitando que o mesmo não entre em ressonância quando estiver em funcionamento.

REFERÊNCIAS

- Branson Ultrasonic, 2022. <https://www.emerson.com/pt-br/automation/welding-assembly-cleaning/ultrasonic-plastic-welding/branson-2000x-series>. Acesso em: 24 mar. 2022.
- Júnior, E.R.L., 2012. Solda Termoplástica através de Ultrassom, Itatiba. São Paulo, Brasil, 31 p.
- Kiyono, Y.C., 2008. Método de Otimização Topológica Aplicado ao Projeto de Sonotrodos para Transdutores Piezelétricos. São Paulo, Brasil, 22 p.
- Solidworks 2016.
- Sonitron, 1998. Manual de instruções gerador sonoweld. São Paulo, Brasil, 19- 20 p.
- Souza, J.M., 2005. Estudo e avaliação mecânica das juntas soldadas por ultrassom de policarbonato e poli (Metacrilato de metila). São Paulo, Brasil, 5 p.

RESPONSABILIDADE AUTORAL

O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste trabalho.

VIBRATION ANALYSIS STUDY IN A TOOL FOR ULTRASOUND PLASTIC WELDING

Allan Querubim dos Santos, allanquer@yahoo.com.br,¹
Leandro Cardoso da Silva, leandro.cardoso@sp.senai.br,¹
Carlos Cesar Pestana, carlos.pestana@sp.senai.br,¹
Norberto Gonçalves Neto, norberto.neto@sp.senai.br,¹
Nelis Evangelista Luiz, nelis.evangelista@sp.senai.br,¹

¹ Faculdade Senai Roberto Simonsen (Senai); Pós- Graduação Projetos Mecânicos Industriais

Abstract. *Ultrasonic plastic welding technology has always been present in various sectors of the industry in general, among them; automotive, food, packaging, utilities and as important as those already mentioned, the medical-hospital sector, which currently stands out for the use of ultrasound welding technology, mainly in the manufacturing process of surgical masks, which are used to combat COVID-19 pandemic (corona virus disease). In this pandemic scenario, due to the need and mandatory use of masks as protection against the coronavirus, some companies joined the manufacture of surgical masks as a source of income and others as a social responsibility, however making the ultrasound welding process even better known. and consequently, as a topic to be studied. In the ultrasonic welding process, the components that act in contact with the product have the function of transmitting mechanical vibrations at a frequency of 20,000Hz generated by the piezoelectric effect, in order to unite the parts of the product through fusion by friction heat. caused by transmitted vibrations. For this purpose the components; transducer, Acoustic Transformer and Sonotrode, called acoustic set, must be able to withstand, in most cases, long hours of production. This research aims to present a study to evaluate the components that integrate the ultrasonic welding tooling (Transducer, Acoustic Transformer and Sonotrode) through frequency analysis, carried out by the Finite Element Method in order to detect the natural frequencies of the model, the vibration modes of its structure, preventing the set from entering into resonance when subjected to the vibration frequency of 20,000 Hz. As a research proposal, a frequency analysis was performed on the three-dimensional geometry of the ultrasonic welding tooling, in order to validate its geometry so that it works in accordance with the vibration frequency of 20,000Hz used in the process, eliminating or reducing the possibility of premature breakage of the set due to fatigue in a productive environment.*

Keywords: *Modal analysis, Ultrasonic welding, Sonotrode, Finite Elements.*