



CALDEIRA DE ENSINO: Desenvolvimento da modelagem tridimensional de uma gaveta para coleta de fuligem

TEACHING BOILER: Development of three-dimensional modeling of a drawer for soot collection

Danilo Gelloni da Silva^I
 José Henrique Varjão Santana^{II}
 Gustavo Coser Monteiro Dias^{III}

RESUMO

O presente trabalho propôs atualizar o projeto de uma caldeira aquatubular desenvolvido no ano 2019, pelos alunos do curso de Tecnologia em Manutenção Industrial, na Fatec Sertãozinho, para fins de aprendizagem. Dentre as necessidades de atualização foram detectadas a ausência da gaveta para recebimento da fuligem oriunda do processo de combustão, assim como, de um sistema que permitisse a movimentação segura desta, uma vez que a massa total poderá ser da ordem de 400 kg. Além dessa atualização do projeto, foi proposta a substituição de soldas entre tubos, na confecção da parede d'água, por soldas entre os tubos e elementos comunicadores, como, por exemplo, os “tees”, a fim de reduzir o tempo de manufatura dessa estrutura. Adicionalmente à adição de um sistema para a movimentação e recebimento da gaveta de fuligem na parte externa da caldeira, foi realizada uma análise estrutural via elementos finitos da parte inferior do equipamento, de modo a atestar a segurança da solução adotada. Diante das intervenções realizadas no projeto foi possível concluir pela vantagem que os softwares de modelagem 3D oferecem aos projetistas, assim como à etapa de manufatura em si.

Palavras-chave: Modelagem 3D. Caldeira. Simulação. Manufatura.

ABSTRACT

The present work proposed to update the design of an aquatubular boiler developed in 2019, by the students of the Technology in Industrial Maintenance course, at Fatec Sertãozinho, for learning purposes. Among the updating needs, the absence of a drawer to receive the soot from the combustion process was detected, as well as a system that would allow its safe handling, since the total mass could be in the order of 400 kg. In addition to this project update, it was proposed to replace welds between tubes, in the construction of the water wall, by welds between tubes and communicating elements, such as "tees", in order to reduce manufacturing time of this structure. In addition to the addition of a system for moving and receiving the soot drawer on the outside of the boiler, a structural analysis was carried out via finite elements of the lower part of the equipment, in order to attest to the safety of the adopted solution. In view

^I Estudante do Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica industrial da Faculdade de Tecnologia (Fatec-Stz) – São Paulo – Brasil. E-mail: silva.danilo793869@gmail.com

^{II} Estudante do Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica industrial da Faculdade de Tecnologia (Fatec-Stz) – São Paulo – Brasil. E-mail: henriquesanatana640@gmail.com

^{III} Prof. Me. da Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo de Sertãozinho (Fatec-Stz) – São Paulo – Brasil. E-mail: gustavo.dias10@fatec.sp.gov.br



of the interventions carried out in the project, it was possible to conclude by the advantage that 3D modeling software offers to designers, as well as to the manufacturing stage itself.

Keywords: 3D Modeling. Boiler. Simulation. Manufacturing.

Data de submissão do artigo: 30/06/2021.

Data de aprovação do artigo: 31/08/2021.

DOI: 10.33635/sitefa.v4i1.182

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Klug (2010, p. 297), simulação é o ato de representar de forma semelhante. Partindo deste conceito de simulação, o presente estudo teve como finalidade simular a montagem de uma caldeira de pequenas dimensões, de aplicação em laboratório de ensino. Para a realização deste estudo foram empregados conceitos de engenharia e o *software* de modelagem 3D Autodesk Inventor (ou somente Inventor). O Inventor permite ao usuário criar peças e estruturas, realizar montagens com diversas peças, fazer testes de comportamento mecânico de estruturas sob tensão, além de permitir gerar as vistas de desenho planejado (bidimensional, ou 2D), a fim de abastecer quem realizará a etapa de manufatura do modelo real.

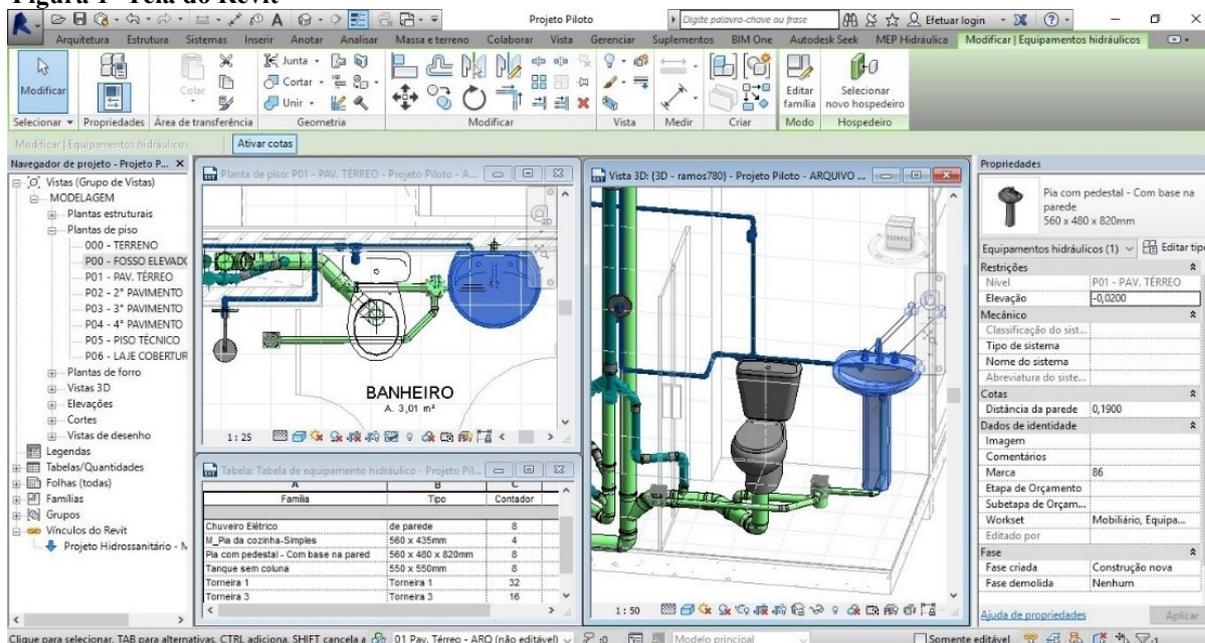
A modelagem 3D vem a ser a criação tridimensional de objetos como ferramentas e estruturas. A modelagem é realizada a partir de *softwares* específicos, os chamados CAD (*Computer Aided Design*), que se utilizam de recursos matemáticos para gerar estruturas. Os CAD são categorizados de acordo com as técnicas empregadas: sólida, de superfície e orgânica. A categoria utilizada para os fins deste trabalho foi a sólida. A modelagem sólida concede ao projetista a liberdade de criar peças com características próximas a realidade, com conceitos de processos de fabricação como extrusões, cortes, furos etc. CAD denominados paramétricos permitem ao usuário fazer alterações em pontos distintos do projeto, evitando que o mesmo necessite ser totalmente apagado e reiniciado a partir do ponto inicial (CIMATEC, 2021).

Para que os projetos modelados nos *softwares* do tipo CAD tenham características realistas é preciso que representem as seguintes características: texturas, imperfeições na superfície, sombras, oclusão de ambiente e iluminação global (PEREGOM, 2020).

Os desenhos paramétricos são desenhos que possuem restrições definidas na geometria 2D. Essas restrições podem ser quanto á tolerâncias geométricas ou dimensionais. O primeiro tipo de restrição controla a relação que os objetos desenhados possuem uns com os outros; a segunda controla valores de medida das peças, como distância, comprimento, ângulo e raio (AUTODESK, 2018, p.2). A figura 1 mostra um exemplo de software paramétrico Revit.



Figura 1- Tela do Revit



Fonte: Inova Civil (2019, p.4)

2 CALDEIRAS

Gerador é uma máquina que a partir da energia térmica gerada pela queima de um combustível, entrega vapor para uso em equipamentos (PERA, 1990, p.15)

O objeto de estudo do presente trabalho é uma caldeira, que nada mais é que um gerador de calor que opera com água líquida, vaporizando-a. O vapor de água gerado estará sempre a uma pressão superior à atmosférica e a energia utilizada na evaporação é oriunda de uma fonte de calor (combustível).

A caldeira em questão é do tipo aquatubular, em que a água é aquecida no interior de tubos, a partir do calor contido em uma combinação de gases provenientes da combustão, que fluem pela parte externa da tubulação. Essa configuração oferece maior rendimento de energia, além de permitir trabalhar com altas pressões (RW ENGENHARIA, 2015).

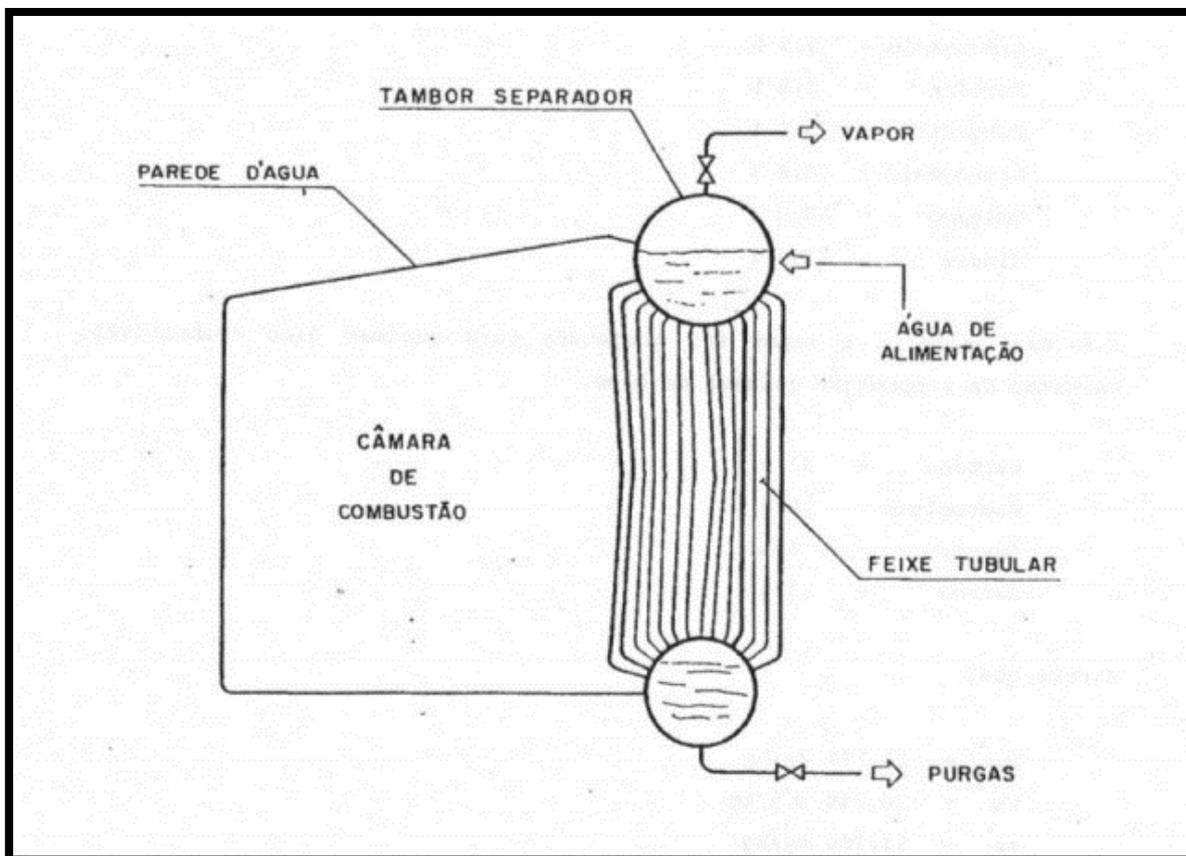
Esse rendimento é obtido graças ao fato de que nessa configuração os tubos que levam o vapor também transportam o líquido a ser vaporizado, o que permite uma maior superfície a ser aquecida, se comparado às caldeiras flamotubulares, em que os gases ficam nos tubos imersos em água, transferindo o calor para o líquido para a geração de vapor (TORINO SOLUZIONI AMBIENTALI - TSAMBIENTALI, 2018).

2.1 Funcionamento

Na caldeira aquatubular, a água dentro dos feixes tubulares, ou paredes d'água, é aquecida por radiação, proveniente da câmara de combustão. A circulação da água no interior dos tubos pode ser feita de duas maneiras: circulação natural, em que o próprio vapor gerado empurra a água pelos tubos, fazendo com que ela circule, conforme demonstra a figura 2 e, a circulação assistida, em que a movimentação da água é auxiliada por bombas, para operarem com baixo diferencial de pressão e sob temperaturas elevadas (TOGAWA ENGENHARIA, 2018).



Figura 2- Esquema de uma caldeira aquatubular de dois tambores, adaptada para queima de óleo



Fonte: Bazzo (1992, p. 73)

Um ponto importante a ser analisado quando se opera com caldeiras é o fato de a água possuir impurezas, como minerais e alguns íons livres (Si^{4+} , Cl^- , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Fe^{2+} , entre outros). Essas impurezas acumulam-se na caldeira, o que pode prejudicar a qualidade do vapor gerado, além de poder causar danos à tubulação, como, por exemplo, por meio do golpe de aríete. Para o controle dessas impurezas, pode-se optar pelo controle manual, em que a água no fundo da caldeira vai sendo drenada por meio de uma válvula (purga), ou pelo controle automatizado das válvulas, controladas por um sensor de condutividade, ambos usados quando o Ph da água estiver elevado. Para os casos em que o Ph estiver baixo basta continuar a operação da caldeira, pois, com o tempo as impurezas se acumularão, até que podem ser retiradas. Além dessa técnica é fundamental que a água a ser utilizada nas caldeiras aquatubulares seja desmineralizada, justamente para eliminar ou, pelo menos, reduzir essas impurezas (TOGAWA ENGENHARIA, 2018).

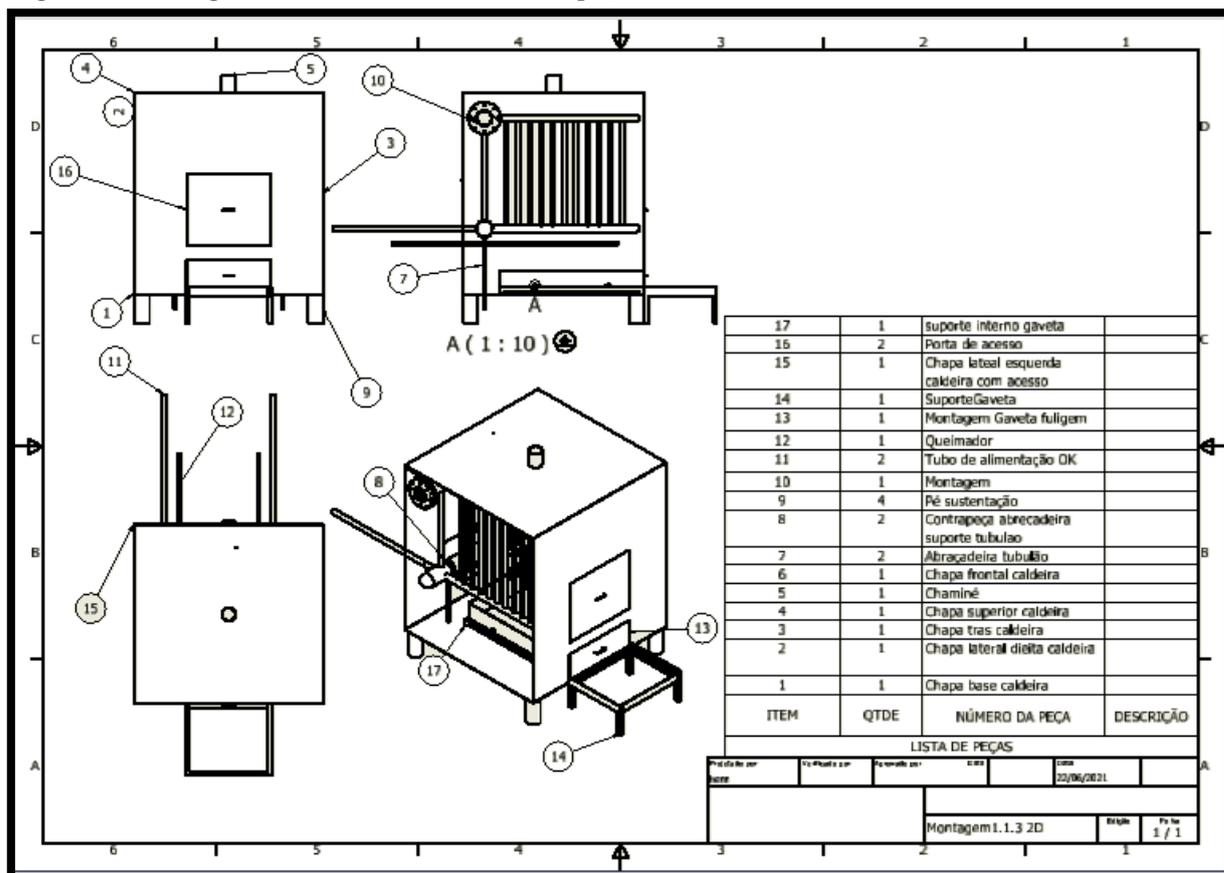
3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

A figura 3 traz um desenho de montagem do protótipo da caldeira projetada, no ano 2019, pelos alunos da Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo, campus Sertãozinho (Fatec Sertãozinho) e melhorado durante a realização do presente trabalho. Essa caldeira será produzida para operar no interior de um laboratório de ensino da unidade para fins educacionais.



A prototipagem do equipamento permitiu que fossem verificadas, antes da etapa de manufatura, algumas falhas no projeto, as quais exigiram a realização de simulações via elementos finitos.

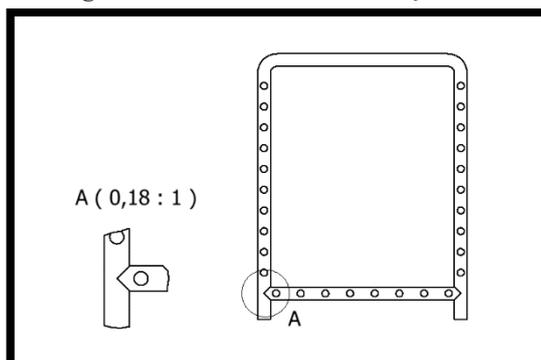
Figura 3 - Montagem 2D da caldeira com lista de peças



Fonte: Autoria própria (2021)

Ao decorrer do projeto foi constatado que o funcionamento de algumas peças seria prejudicado pelo modo originalmente proposto para a manufatura e, portanto, a solução foi modificar os modelos tridimensionais dessas estruturas.

Figura 4- Desenho 2D da armação com detalhe

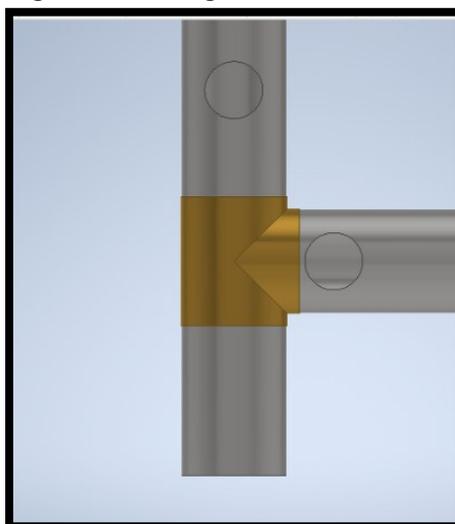




Fonte: Autoria própria (2021)

A armação é uma peça de difícil construção, tendo em vista que o tubo na horizontal é soldado nas extremidades nos tubos verticais (detalhe A da figura 4), o que exige um trabalho mais sofisticado na soldagem. A fim de evitar esse trabalho, além de prevenir a armação de eventuais problemas estruturais provenientes de falhas na solda e potencializados pela pressão de operação da caldeira, optou-se pela substituição da solda pelo uso de “tee”, que além de evitar problemas, facilita a montagem e desmontagem dos componentes. Por se tratar de um vaso de pressão de aplicação em laboratórios de ensino, a pressão máxima de trabalho desse equipamento será de 2 bar e, portanto, nessa condição será possível trabalhar com elementos de ligação, como, por exemplo, os “tees” (figura 5) na junção de dois tubos.

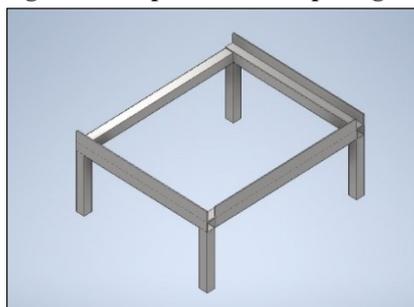
Figura 5 - Montagem da armação com T



Fonte: Autoria própria (2021)

O suporte apresentado na figura 6 foi desenvolvido com intuito de evitar que a gaveta de acúmulo de resíduos de combustível queimado saia completamente da caldeira, o que poderia causar um acidente nas situações em que estivesse cheia de resíduos. A gaveta tem capacidade para 81.900 centímetros cúbicos. Portanto, a fim de resguardar a segurança do operador e facilitar a movimentação da gaveta foram propostos: a inclusão de um suporte externo e o uso de rolamentos.

Figura 6 - Suporte externo para gaveta



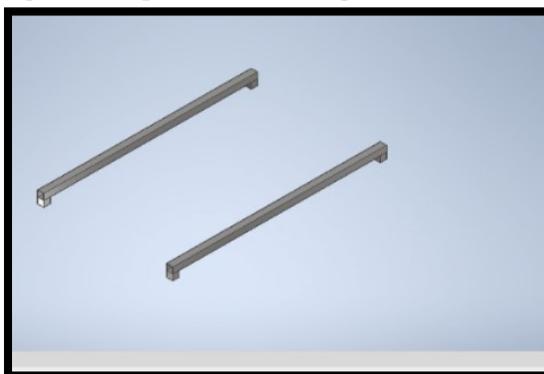
Fonte: Autoria própria (2021)



O suporte externo foi proposto com o objetivo de receber a gaveta quando essa for aberta durante as intervenções de manutenção. Os rolamentos, por sua vez, foram propostos e incluídos no projeto a fim de facilitar a movimentação da gaveta, reduzindo o atrito durante o deslizamento, tanto para fora quanto para dentro da caldeira.

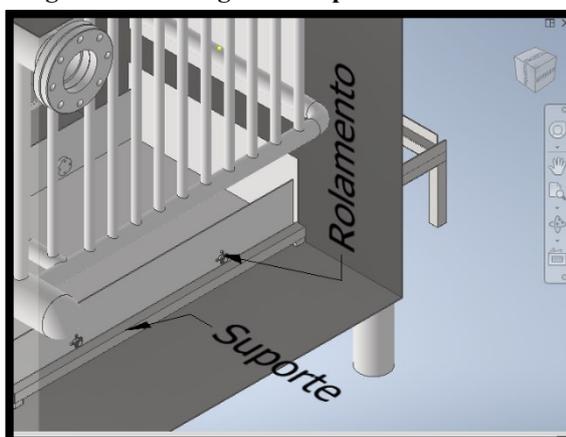
Para o correto funcionamento dos rolamentos da gaveta foram desenvolvidos os suportes internos, como mostrado na figura 7. A figura 8 demonstra a montagem desses suportes no interior da caldeira.

Figura 7- Suporte Interno da gaveta



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 8 - Montagem do suporte interno

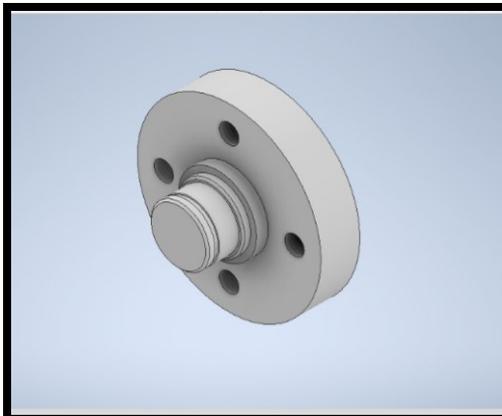


Fonte: Autoria própria (2021)

Para a fixação dos rolamentos foi desenvolvido o flange indicado pela figura 9. O desenvolvimento deste levou em consideração o fato dos rolamentos serem componentes que estarão sob constante desgaste, devido ao contato direto da pista externa com os suportes lineares (figuras 7 e 8). A fim de facilitar as etapas de montagem, desmontagem e substituição dos rolamentos, optou-se por trabalhar com um flange composto por uma ponta de eixo soldada em uma chapa circular, parafusado na lateral da gaveta de resíduos.



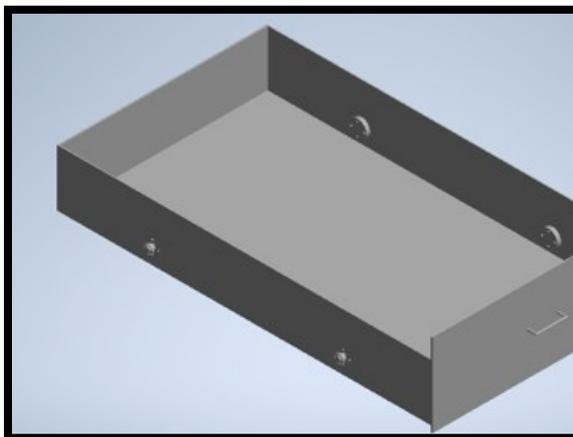
Figura 9- Flange de acerto para rolamentos



Fonte: Autoria própria (2021)

Ao total seral quatro flanges que serão fixadas a gaveta (figura 10) por meio de 4 parafusos cada, as paredes da gaveta e suas dimensões sofreram alterações para que os flanges pudessem ser fixados, ficando com 1000 mm de comprimento, 150 mm de altura e 546 mm de largura. A gaveta tem a função de armazenar os resíduos sólidos oriundos da queima do combustível (fuligem) quem com tempo deve ser retirada para evitar perda de eficiência da caldeira, já que essa fuligem é um isolante térmico.

Figura 10 - Gaveta com flanges para rolamento

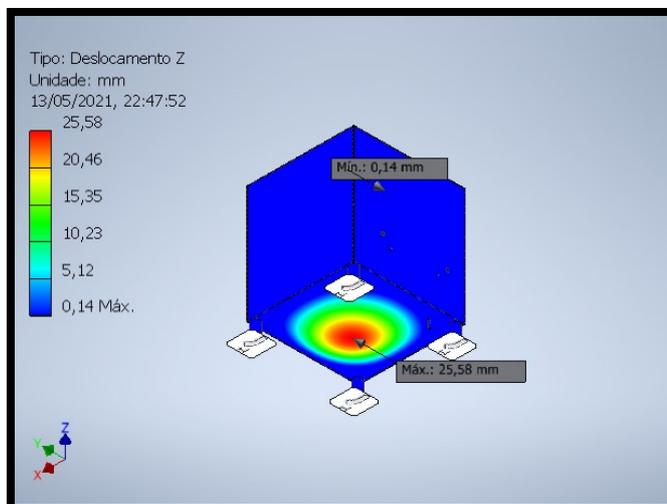


Fonte: Autoria própria (2021)

Foram realizados testes de tensão na caldeira para verificar possíveis falhas (figura 10) na estrutura da caldeira. De acordo com os testes, as forças aplicadas na chapa inferior da caldeira a deformação em cerca de 25,58 mm, apenas quando a gaveta estiver cheia de resíduos da fuligem (350 kg aproximadamente). Uma vez que o material escolhido para a referida chapa (aço carbono) suporta uma tensão máxima de escoamento de 240 MPa, aproximadamente e, conhecendo a máxima tensão à qual a chapa analisada estará sujeita a aproximadamente 70 MPa (figura 11), pode-se aprovar a utilização deste fundo metálico conforme foi idealizado.

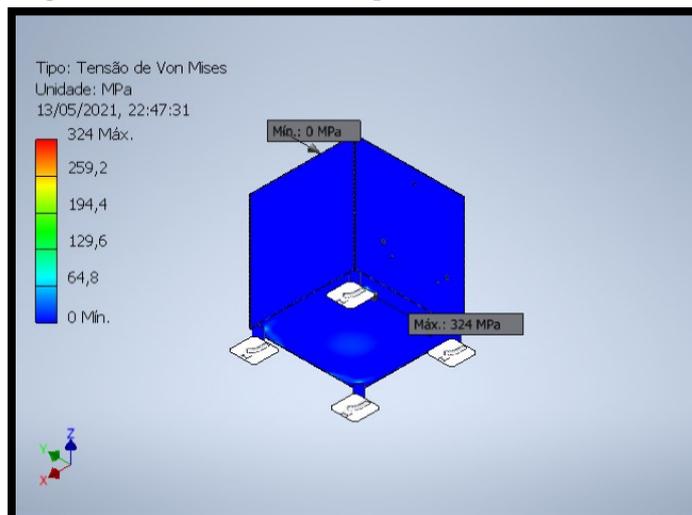


Figura 11- Deslocamento da caldeira



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 12- Tensões sobre a chapa base



Fonte: Autoria própria (2021)

A análise da figura 11 permite perceber a existência de um ponto de máxima tensão localizado na junção da chapa no fundo da caldeira com os “pés” do equipamento. Por se tratar de um ponto localizado sobre uma das quatro regiões em que foram impostas restrição de movimento (quadrados brancos indicados na figura 11), que retiram 6 graus de liberdade de cada um dos elementos que compõem a geometria em questão, algumas considerações precisam ser feitas a fim de desprezar tais resultados.

A escolha pelo tamanho médio de cada elemento (aproximadamente 10 mm) que compôs a malha deu-se no intuito de reduzir o tempo computacional gasto na simulação, de modo que essa fornecesse dados suficientes para atestar a segurança da chapa (1250 mm x 1300 mm) posta no fundo da caldeira.

Uma vez que os pés do equipamento são muito menores (tubos com 100 mm de diâmetro), cuja área de contato com a esta (região de restrição) corresponde a aproximadamente



17,5 % da área superficial da chapa, é natural que ocorram resultados similares ao representado pela figura 11 para qualquer tamanho médio de elemento maior ou igual a 1,5 mm (metade da espessura do tubo).

3 CONCLUSÃO

O presente estudo demonstrou as vantagens da utilização de softwares CAD 3D para a indústria, tendo em vista que o projeto pode ser alterado enquanto ainda está sendo projetado, evitando custos e diminuição da vida útil de peças e componentes da estrutura projetada, demonstrando como as partes se comportam juntas com simulações e testes de tensão para visualizar como forças produzidas pelo uso do equipamento como a acumulação de fuligem na gaveta ou sua estrutura vão agir na estrutura do equipamento, permitindo modificações antes de sua manufatura, por se tratar de uma caldeira onde há risco de explosões, essas simulações trazem mais segurança ao usuário no manuseio da caldeira.

REFERÊNCIAS

- AUTODESK. **Sobre o desenho paramétrico e restrições**. 2021. Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/autocad/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/PTB/AutoCAD-Core/files/GUID-899E008D-B422-4DF2-AC8D-1A4F5701ED4E-htm.html>. Acesso em: 28 jul. 2021.
- BAZZO. **Esquema de uma caldeira aquotubular de dois tambores, adaptada para queima de óleo**, 1992. Disponível em: https://www.academia.edu/16439285/Bazzo_E_Geraçao_de_Vapor_2a_edicao_. Acesso em: 21 jun. 2021.
- CIMATEC JR. **Modelagem 3D: do conceito à aplicação na engenharia**. Disponível em: <https://cimatecjr.com.br/modelagem-3d-do-conceito-a-aplicacao-na-engenharia%22%20/1%20%22:~:text=A%20modelagem%203D%20%C3%A9%20uma%20ferramenta%20imprescind%C3%ADvel%20em,na%20engenharia%2C%20suscitando%20em%20impactos%20diretos%20no%20cotidiano..> Acesso em: 20 jun. 2021.
- INOVA CIVIL. **Software Paramétrico: Entenda como funcionam**. 2019. Disponível em: <https://www.inovacivil.com.br/o-que-e-um-software-parametrizado/>. Acesso em: 28 jun. 2021.
- KLUG, M.B. **Língua Portuguesa: minidicionário escolar**. 1. ed. SC: Vale das Letras, 2010. 352 p.
- PERA, Hildo. **Geradores de Vapor**. 2. ed. São Paulo: Fama, 1990. 614 p.
- PEREGOM. **O que torna o 3D real ou falso?** 2020. Disponível em: <https://peregom.com/o-que-torna-3d-real-ou-falso/>. Acesso em: 29 jul. 2021.
- RW ENGENHARIA. **O que é uma caldeira?** 2015. Minas Gerais. Disponível em: <https://www.rwengenharia.eng.br/o-que-e-uma-caldeira/>. Acesso em: 21 jun. 2021.
- Simpósio de Tecnologia (Sitefa) – Fatec Sertãozinho – SP, v. 4, n. 1, p. 198-208, 2021. ISSN 2675-7540**



TOGAWA ENGENHARIA. **Ciclo de concentração e purga de caldeiras**, 2018. Disponível em: <http://togawaengenharia.com.br/ciclo-de-concentracao-e-purga-de-caldeiras/>. Acesso em: 21 jun. 2021.

TORINO SOLUZIONI AMBIENTALI (TSAMBIENTALI). **Como funcionam as caldeiras aquatubulares e quais suas vantagens?** 2018. Disponível em: <http://www.tsambientali.com.br/como-funcionam-caldeiras-aquatubulares-e-quais-suas-vantagens/>. Acesso em: 03 ago. 2021.