

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

ANDRÉ CANDIAN MOREIRA

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE CARÇAÇA DE REATOR BIOLÓGICO DE FLUXO  
HORIZONTAL PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS

Garopaba, SC

Abril de 2021

ANDRÉ CANDIAN MOREIRA

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE CARÇAÇA DE REATOR BIOLÓGICO DE FLUXO  
HORIZONTAL PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS

Monografia apresentada ao  
Curso Superior de  
Tecnologia em Gestão  
Ambiental do Câmpus  
Garopaba do Instituto  
Federal de Santa Catarina  
para a obtenção do diploma  
de Gestor Ambiental

Professor Orientador:  
Juliano da Cunha Gomes,  
Dr. Eng.

Garopaba, SC

Abril de 2021

M835p      Moreira, André Candian  
Projeto e construção de carcaça de reator biológico de fluxo horizontal para reciclagem de resíduos sólidos orgânicos / André Candian Moreira ; orientador: Juliano da Cunha Gomes. – 2021.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)-Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Garopaba, 2021.  
Inclui bibliografias

1. Compostagem. 2. Resíduos sólidos urbanos. 3. Reatores biológicos. I. Gomes, Juliano da Cunha. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina – Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental. IV. Título.

CDD 628.4458

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária  
Elisandra Mariléa Quintino – CRB-14/998

ANDRÉ CANDIAN MOREIRA

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE CARÇAÇA DE REATOR BIOLÓGICO DE FLUXO  
HORIZONTAL PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Gestor Ambiental,  
pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e  
aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora  
abaixo indicada.

Garopaba/SC, 09 de Abril de 2021.

---

Prof. Juliano da Cunha Gomes, Dr

Orientador

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - Câmpus  
Garopaba

---

Prof. Sabrina Moro Villela Pacheco, Dra.

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - Câmpus  
Garopaba

---

Eng. Robson Rodrigues Silveira, Especialista, Líder de Projetos  
Ciber Equipamentos Rodoviários LTDA.

"Em função da suspensão das atividades presenciais no IFSC durante a pandemia de  
COVID-19, os TCCs foram apresentados de forma remota, portanto as assinaturas físicas  
foram substituídas por e-mails enviados pelos membros da banca, dispostos na página  
seguinte."

---

## Documentos Banca André Candian

5 mensagens

---

**Juliano Da Cunha Gomes** <juliano.gomes@ifsc.edu.br> 9 de abril de 2021 17:10  
Para: robson0083@gmail.com, SABRINA MORO VILLELA PACHECO <sabrinap@ifsc.edu.br>  
Cc: André Candian Moreira <andre.c25@aluno.ifsc.edu.br>, Andre Candian <candianpoa@gmail.com>

Prezados membros da banca e estudante, segue anexo a ATA de apresentação e Ficha de Avaliação. Preciso que vocês respondam este e-mail com o "de acordo"

--

Cordialmente,

**Prof. Dr. Juliano da Cunha Gomes**

<http://lattes.cnpq.br/0429306746389265>

Instituto Federal de Santa Catarina - Câmpus Garopaba  
Rua Maria Aparecida Barbosa, 153, Campo D'Una, Garopaba/SC - CEP 88495-000  
Fone: (48) 3254-7372  
[www.garopaba.ifsc.edu.br](http://www.garopaba.ifsc.edu.br)

---

**Juliano Da Cunha Gomes** <juliano.gomes@ifsc.edu.br> 9 de abril de 2021 17:11  
Para: robson0083@gmail.com, SABRINA MORO VILLELA PACHECO <sabrinap@ifsc.edu.br>  
Cc: André Candian Moreira <andre.c25@aluno.ifsc.edu.br>, Andre Candian <candianpoa@gmail.com>

correção: segue anexo

[Texto das mensagens anteriores oculto]

---

### 2 anexos

 **Ficha de avaliação do TCC - André Candian Moreira.pdf**  
344K

 **Ata de apresentação de TCC - André Candian Moreira.pdf**  
184K

---

**SABRINA MORO VILLELA PACHECO** <sabrinap@ifsc.edu.br> 9 de abril de 2021 17:13  
Para: Juliano Da Cunha Gomes <juliano.gomes@ifsc.edu.br>  
Cc: robson0083@gmail.com, André Candian Moreira <andre.c25@aluno.ifsc.edu.br>, Andre Candian <candianpoa@gmail.com>

Boa tarde

Estou de acordo com as informações da ficha de avaliação e a ata de apresentação.

Atenciosamente,

[Texto das mensagens anteriores oculto]

--

Profa. SABRINA MORO VILLELA PACHECO, Dra. Eng.  
Instituto Federal de SC - Campus Garopaba  
[sabrinap@ifsc.edu.br](mailto:sabrinap@ifsc.edu.br)  
Fones: (48) 99957-0414

---

**Robson Silveira** <robson0083@gmail.com> 9 de abril de 2021 17:16  
Para: Juliano Da Cunha Gomes <juliano.gomes@ifsc.edu.br>  
Cc: SABRINA MORO VILLELA PACHECO <sabrinap@ifsc.edu.br>, André Candian Moreira <andre.c25@aluno.ifsc.edu.br>, Andre Candian <candianpoa@gmail.com>

Boa tarde!

Estou de acordo com as considerações da ata e ficha de avaliação.

Att.,

[Texto das mensagens anteriores oculto]

---

**André Candian Moreira** <andre.c25@aluno.ifsc.edu.br>

9 de abril de 2021 17:33

Para: Juliano Da Cunha Gomes <juliano.gomes@ifsc.edu.br>

Cc: robson0083@gmail.com, SABRINA MORO VILLELA PACHECO <sabrinap@ifsc.edu.br>, Andre Candian <candianpoa@gmail.com>

De acordo com as solicitações da ata.

Cordialmente

André Candian Moreira

[Texto das mensagens anteriores oculto]

Dedico este trabalho à minha família, em especial ao meu pai Evaldo de Paula Moreira, por todas as dificuldades que enfrentou na vida, criando condições para que eu pudesse chegar onde cheguei.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha companheira Gizele Aragonez Guarienti, pelo suporte necessário para que eu pudesse me dedicar aos estudos.

Ao meu filho Tiago Guarienti Moreira, pelos momentos de alegria, alimentando a vontade de continuar sempre em frente.

Ao meu professor orientador Juliano da Cunha Gomes, por todo apoio dado e por acreditar sempre nas minhas capacidades, me incentivando e me orientando de forma extremamente profissional e eficaz ao longo deste trabalho.

Aos colegas de turma, que se tornaram amigos, pelos bons momentos compartilhados.

Ao IFSC por oferecer excelente estrutura e professores de alto nível, imprescindíveis para minha formação.

## RESUMO

A gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) é tema de grande relevância socioambiental em todo o mundo, considerando os altos índices de geração e principalmente sua destinação inadequada que ocorre em muitos lugares. Milhões de toneladas de resíduos são depositados ano a ano em aterros sanitários e lixões, gerando gases perigosos e lixiviados, com potencial risco aos recursos naturais, à saúde pública e ao desenvolvimento. No Brasil, mais da metade do resíduo produzido é orgânico e pode ser reciclado. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) instituída em 2010 definiu diretrizes e criou instrumentos para dar suporte às administrações públicas para tratar do assunto. Uma das soluções para o tratamento adequado da fração orgânica do RSU presente na PNRS é a compostagem. Porém, alguns fatores precisam ser aprimorados para tornar o método mais viável, como a redução do tempo de produção do composto e a garantia de inativação de patógenos. Como possível solução, este trabalho teve como objetivo projetar e construir, em escala piloto, uma carcaça de reator biológico de fluxo horizontal para reciclagem de resíduos sólidos orgânicos para monitoramento e controle de temperatura e umidade do processo de compostagem, explanando sobre os aspectos técnicos e construtivos do projeto. Para isso, foi necessário criar um modelo em CAD 3D, gerando desenhos técnicos e listas de materiais utilizados para sua manufatura, que ocorreu em uma fábrica do setor metal mecânico. Como resultado, obteve-se o projeto do reator com o respectivo detalhamento de suas partes, permitindo sua manufatura. A fabricação ocorreu de forma parcial por conta de fatores inerentes ao projeto e pela pandemia que havia durante a realização deste trabalho, atingindo um resultado satisfatório. É recomendada a finalização da montagem e testes para validar as escolhas do projeto.

**Palavras-Chave:** Compostagem. Resíduos Sólidos Urbanos. Reatores Biológicos.

## ABSTRACT

The management of Municipal Solid Waste (MSW) is a topic of great socio-environmental relevance worldwide, considering the high levels of generation and mainly its inadequate destination that occurs in many places. Millions of tons of waste are deposited every year in landfills and open dumps, generating hazardous gases and leachate, with a potential risk to natural resources, public health and development. In Brazil, more than half of the waste produced is organic and can be recycled. The National Solid Waste Policy instituted in 2010 defined guidelines and created instruments to support public administrations to address the issue. One of the solutions for the proper treatment of the organic fraction of MSW present in the National Solid Waste Policy is composting. However, some factors need to be improved to make the method more viable, such as reducing the production time of the compost and ensuring the inactivation of pathogens. As a possible solution, this work aimed to design and build, on a pilot scale, a horizontal flow biological reactor carcass for recycling organic solid waste for monitoring and controlling the temperature and moisture of the composting process, explaining the technical and constructive aspects of the project. For this, it was necessary to create a 3D CAD model, generating technical drawings and lists of materials used for its manufacture, which took place in a factory in the metal mechanic sector. As a result, the reactor project was obtained with the respective details of its parts, allowing its manufacture. The manufacturing took place partially due to factors inherent to the project and the pandemic that existed during the performance of this work, reaching a satisfactory result. It is recommended to complete the assembly and tests to validate the design choices.

**Keywords:** Composting. Urban Solid Waste. Biological Reactors.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Temperatura em função do tempo de compostagem	19
Figura 2: Principais métodos de compostagem	21
Figura 3: Exemplo de sistema em escala piloto	24
Figura 4: Etapas de projeto do reator	25
Figura 5: Modelagem da massa de resíduos a ser ocupada no reator	26
Figura 6: Subconjunto do leito do reator	27
Figura 7: Eixo central com pás do reator	28
Figura 8: Abertura frontal de descarga do composto	29
Figura 9: Conjunto do corpo do reator	30
Figura 10: Tampa com janela de visualização do reator	31
Figura 11: União dos subconjuntos do reator	32
Figura 12: Articulação da tampa superior do reator	33
Figura 13: Fecho rápido de pressão	34
Figura 14: Sapatas com regulagem	35
Figura 15: Eixo duplo do triturador	36
Figura 16: Triturador sem as calhas	37
Figura 17: Triturador com as calhas	38
Figura 18: Conjunto completo do reator	42
Figura 19: Chapa lateral do corpo após processo de corte (a) e dobra (b)	45
Figura 20: Conjuntos do leito e corpo pré-soldados	46
Figura 21: Peças do triturador cortadas	47
Figura 22: Calhas do triturador pré-soldadas	48
Figura 23: Forma final do reator na fabricação	49

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

ANCAT - Associação Nacional dos Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis

CAD 3D - *Computer Aided Design* em três dimensões

COVID - *Corona Virus Disease*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina

IDH- Índice de Desenvolvimento Humano

*ISO - International Organization for Standardization*

MIG - Metal Inert Gas

MMA - Ministério do Meio Ambiente

NBR - Norma Brasileira

PCP - Planejamento e Controle da Produção

PERS/SC - Plano Estadual de Resíduos Sólidos de Santa Catarina

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos

RPM - Rotações por minuto

RSU - Resíduos Sólidos Urbanos

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
1.1. Objetivos	14
1.1.1. Objetivo geral	14
1.1.2. Objetivos específicos	14
<b>2. DESENVOLVIMENTO</b>	<b>15</b>
2.1. Dados sobre o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos	15
2.1.1. Dados no mundo	15
2.1.2. Dados no Brasil	15
2.1.3. Dados em Santa Catarina	16
2.1.4. Dados em Garopaba	17
2.1.5. Impactos do resíduo sólido urbano	17
2.2. Compostagem	19
2.3. Reatores biológicos	23
<b>3. METODOLOGIA</b>	<b>25</b>
3.1. Projeto da carcaça	25
3.2. Construção da carcaça	38
<b>4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b>	<b>40</b>
4.1. Projeto da carcaça	40
4.2. Construção da carcaça	43
<b>5. CONCLUSÃO</b>	<b>51</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>52</b>
<b>APÊNDICE A – Conjunto do Leito do Reator</b>	<b>56</b>
<b>APÊNDICE B – Conjunto do Corpo do Reator</b>	<b>57</b>
<b>APÊNDICE C – Eixo com pás do Reator</b>	<b>58</b>
<b>APÊNDICE D – Triturador do Reator</b>	<b>59</b>
<b>APÊNDICE E – Orçamento dos materiais</b>	<b>60</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A gestão dos resíduos sólidos é tema discutido no mundo todo, independente do nível de desenvolvimento, afetando a vida de cada indivíduo seja lá onde se encontre. O desenvolvimento contínuo dos países, com o aumento do número de cidades e da concentração de pessoas, acarreta em maior geração per capita, aumento dos custos para coleta e uma maior dificuldade em se encontrar locais adequados para tratamento e disposição final. O gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) pode representar o item de maior impacto no planejamento administrativo local (KAZA et al, 2018).

O gerenciamento ineficiente dos RSU tem consequência direta na saúde humana, na qualidade do meio ambiente e no desenvolvimento de cada nação. Uma prática de gestão inadequada dos RSU é sua disposição diretamente no solo em locais conhecidos como lixões, ação ainda presente em países menos desenvolvidos. O resíduo em decomposição no solo em contato com a água gera lixiviado, um líquido de cor escura que pode contaminar águas subterrâneas ou superficiais e o solo, além de gerar gases tóxicos que poluem a atmosfera. Países de alta renda como na América do Norte e Europa, onde os lixões são proibidos, já adotam de forma significativa medidas mais sustentáveis como a reciclagem e a compostagem (KAZA et al, 2018).

No Brasil, o debate sobre o problema ganhou força com a institucionalização, em 2010, da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que na época definiu um horizonte de quatro anos para que seu RSU deixasse de ser levado à lixões e aterros controlados, visando também a elaboração de seus planos de gestão integrada de resíduos sólidos. Porém, os planos não foram entregues devido a deficiências técnicas e dificuldades orçamentárias. Em 2020, a Lei nº 14.026 (BRASIL, 2020) atualizou os prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

De acordo com a PNRS, além da disposição em aterros sanitários, a compostagem é entendida como destinação final ambientalmente adequada para resíduos orgânicos, como forma de minimizar impactos ambientais adversos, fazendo parte de um conjunto de ações que integram o gerenciamento de resíduos sólidos. É considerada uma forma de reciclagem do RSU que visa sua transformação em insumos. Segundo princípios da Lei 12.305/10, o RSU é

reconhecido como um bem dotado de valor econômico e social, podendo gerar renda e trabalho, promovendo a cidadania. Além disso, o desenvolvimento de tecnologias com vista a minimizar impactos ambientais, por meio da interação de setores do poder público e destes com o setor privado, sob a ótica de colaboração técnica e econômica, é um dos objetivos da PNRS (BRASIL, 2010).

Assim sendo, o objetivo deste trabalho foi projetar e construir uma carcaça de reator biológico de fluxo horizontal para reciclagem de resíduos sólidos orgânicos.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo geral**

Projetar e construir uma carcaça de reator biológico de fluxo horizontal para reciclagem de resíduos sólidos orgânicos

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Projetar a carcaça utilizando software CAD 3D
- Construir a Carcaça projetada

## **2. DESENVOLVIMENTO**

### **2.1. Dados sobre o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos**

#### **2.1.1. Dados no mundo**

Globalmente, no ano de 2015 foram produzidos em torno de 2,01 bilhões de toneladas de RSU, com uma fração de apenas 33% deste montante destinada a locais ambientalmente adequados. A geração média diária per capita foi de 0,74 kg, variando de 0,11 a 4,54 kg, dependendo principalmente do poder aquisitivo. Países de alta renda, cerca de 16% da população mundial, foram responsáveis pela geração de 683 milhões de toneladas de RSU (34%) (KAZA et al, 2018).

#### **2.1.2. Dados no Brasil**

No Brasil, mesmo com a promulgação da PNRS em 2010, que estabelece a gestão integrada e o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, 3.001 dos 5.570 municípios brasileiros (53,9%) ainda promovem a destinação ambientalmente inadequada para seus resíduos gerados (ABRELPE, 2018).

O gerenciamento do RSU, dentro de um conjunto de serviços e infraestrutura que compõem o saneamento urbano, é motivo de crescente preocupação das administrações municipais, estaduais e também do governo federal.

Dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) mostram que em 2018 foram produzidas, no Brasil, 79 milhões de toneladas de RSU. Deste total, foram coletados cerca de 92%, ou 72,7 milhões de toneladas. Porém, apenas 43,3 milhões de toneladas de RSU foram dispostas em locais adequados, como aterros sanitários. Portanto, um montante de aproximadamente 29,5 milhões de toneladas de RSU são dispostos inadequadamente em lixões e aterros controlados. O mesmo estudo mostra que quase três quartos das cidades no Brasil promovem algum tipo de coleta seletiva. Porém, o serviço muitas vezes não atinge a área total dos municípios onde se encontram. Os resíduos orgânicos coletados de forma seletiva por cooperativas e associações de catadores acompanhadas pela Associação Nacional dos Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis (ANCAT) representam apenas 0,8% do total coletado (ABRELPE, 2018).

A composição gravimétrica do RSU no Brasil é de aproximadamente 51,4% para matéria orgânica, 31,9% para materiais como plástico, vidro, metal e papel, que podem ser reciclados, além de 16,7% de rejeitos e materiais que ainda não possuem condições de serem reciclados (BRASIL, 2011).

### 2.1.3. Dados em Santa Catarina

O Estado de Santa Catarina encontra-se na região Sul do Brasil, fazendo limites com Paraná, Rio Grande do Sul, Oceano Atlântico e com a Argentina. Com uma população de 6,9 milhões de habitantes, possui o 3º melhor IDH do Brasil, com o índice de 0,774 e uma renda per capita de R\$1.632,00 (IBGE, 2010, 2020).

O Plano Estadual de Resíduos Sólidos de SC (PERS/SC), elaborado em 2018 em conformidade com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, permite ao estado o acesso a recursos da União para a aplicação no gerenciamento sustentável dos RSU. O Estado de Santa Catarina foi o primeiro estado brasileiro a desativar seus lixões, no ano de 2004, mesmo que ainda não os tenha eliminado, conforme determina a PNRS. O que ocorre na prática é o abandono da área sem a implementação das devidas medidas de controle ambiental e de recuperação da área degradada.

Segundo dados do PERS/SC de 2018, um montante de 1.826 toneladas foram gerados, o que fez com que o Estado de Santa Catarina atingisse a média diária de geração de 0,73 kg por habitante. Do total gerado, recolheu cerca de 94,3%, com uma cobertura de coleta de 93,5% da população. Das cidades atendidas pela coleta de lixo, cerca de 96,9% o fazem com coleta porta a porta e o restante por pontos de entrega voluntário.

O método mais utilizado para tratamento do RSU é sua disposição em aterros sanitários. A reciclagem dos resíduos representa uma pequena parcela do tratamento utilizado por alguns poucos municípios do estado. Os tipos de reciclagem utilizadas pelas prefeituras são a compostagem dos orgânicos e o beneficiamento dos resíduos secos recicláveis. A coleta seletiva está disponível para 58,9% da população. Quando não reciclados, 100% do RSU são destinados para aterros sanitários (SC, 2018).

#### 2.1.4. Dados em Garopaba

Garopaba, com uma população de 23.579 habitantes, é uma cidade litorânea do sul de Santa Catarina. Conhecida por suas belas praias, é destino turístico de milhares de pessoas de várias partes do Brasil e também de turistas vindos do exterior, com destaque para os argentinos, fazendo com que a geração de resíduos aumente significativamente na estação do verão, devido ao grande aumento da população local. No ano de 2017 foram recolhidos cerca de 1,5 mil toneladas mensais de RSU na alta temporada, enquanto na baixa temporada o montante recolhido foi de 800 toneladas. Garopaba não possui aterro sanitário e o RSU, que é gerenciado por empresa privada, é levado até a cidade de Biguaçu, na região metropolitana da capital Florianópolis (GAROPABA 2017; IBGE 2019 ).

#### 2.1.5. Impactos do resíduo sólido urbano

A disposição de RSU em aterros ocasiona impactos ambientais, sociais e à saúde humana. Para o meio ambiente e saúde humana, o RSU em aterros gera lixiviado, que contamina o solo e pode contaminar águas superficiais e o lençol freático, afetando a qualidade da água. A matéria orgânica aterrada sofre decomposição anaeróbica gerando biogás, principalmente o gás metano ( $CH_4$ ), considerado o segundo gás mais importante entre os responsáveis pelo aquecimento global, além de ser nocivo se inalado e potencialmente explosivo. O local onde são aterrados tornam-se locais atrativos para animais e insetos transmissores de doenças. Já o impacto social é evidenciado pelo aumento da atividade de catadores de materiais recicláveis. Apesar da importância do papel de catadores no cenário da reciclagem de materiais no Brasil, inclusive com o reconhecimento da profissão, a atividade ainda carece de uma melhor adequação dentro do sistema de gerenciamento de resíduos para garantir direitos trabalhistas e minimizar os riscos à saúde aos quais estes trabalhadores são expostos (GOUVEIA, 2012)

O lixiviado, conhecido popularmente como chorume, é a combinação de efluentes produzidos quando a água e outros líquidos vazam através dos resíduos orgânicos e inorgânicos sólidos e líquidos depositados em aterros sanitários e lixões. Em geral não possuem uma formulação única, pois sua composição varia, por

exemplo, de acordo com o material de origem e o tempo de vida do aterro ou lixão. O lixiviado possui, portanto, carga de material orgânico e inorgânico, além de outras substâncias tóxicas oriundas de resíduos industriais e até mesmo perigosos depositados indevidamente nos aterros e lixões. A maior preocupação ambiental decorrente do depósito de RSU em aterros ou lixões é a contaminação de águas subterrâneas e superficiais pelo lixiviado (GOMES, 2009; KJELDSEN, CHRISTOPHERSEN, 2001; FORGIE, 1988).

## 2.2. Compostagem

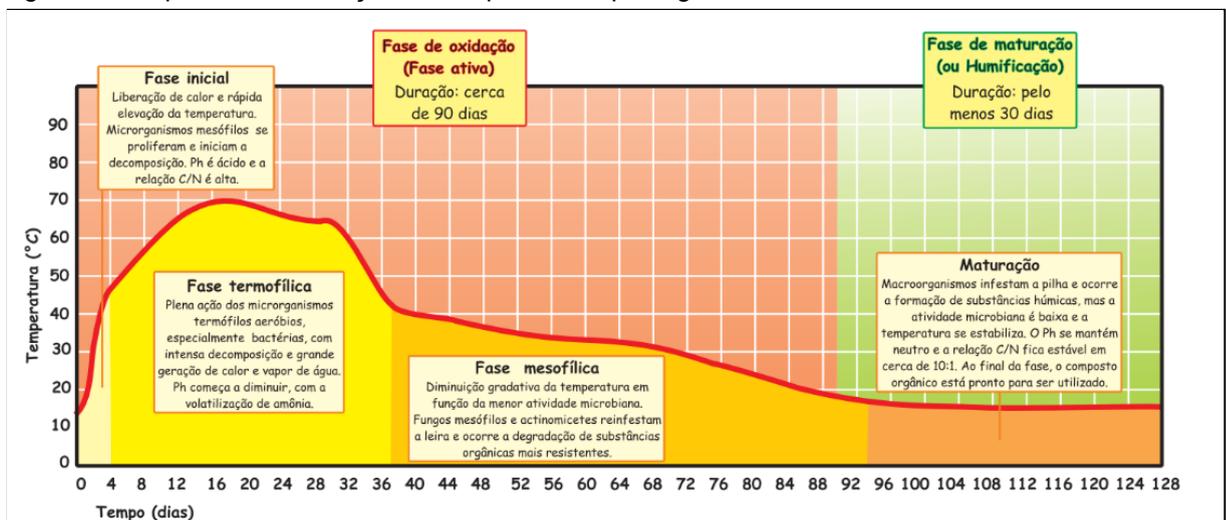
Como solução para o tratamento adequado da fração orgânica dos RSU, destacam-se os processos de digestão anaeróbica, por meio de biodigestores, e a digestão aeróbia, através da compostagem (PANDEY et al, 2016).

A compostagem pode ser definida como a decomposição aeróbia exotérmica da fração sólida heterogênea da matéria orgânica, liberando, além de substâncias minerais, CO<sub>2</sub> e vapor d'água, produzindo adubo orgânico estável (PROSAB, [s.d.]).

O processo é dividido em quatro fases (figura 1):

- fase inicial, a mais curta do processo, caracterizada pela rápida elevação da temperatura, podendo chegar a 45 °C, decorrente do crescimento das colônias de microrganismos mesófilos e consequente aumento do trabalho de decomposição;
- fase termofílica, com duração de cerca de um quarto do tempo total do processo, quando as temperaturas variam de 50 a 65 °C, dada a intensa degradação de material por microrganismos termófilos;
- fase mesófila, a fase mais longa do processo, quando a temperatura e a umidade diminuem gradativamente, onde há a decomposição de matéria orgânica mais resistente através de microrganismos mesófilos;
- quarta fase, chamada de maturação ou humificação, quando ocorre a estabilização da temperatura próxima à temperatura ambiente e a neutralização do pH (MMA, 2017).

Figura 1: Temperatura em função do tempo de compostagem.



Fonte: MMA, 2017

Para se obter um composto orgânico de boa qualidade, é importante estabelecer no início do processo uma proporção adequada de materiais ricos em carbono e nitrogênio. Na prática, esta relação se estabelece misturando-se 2/3 em volume de materiais ricos em carbono (serragem, folhas secas e palha, por exemplo), com 1/3 de materiais ricos em nitrogênio (cascas de frutas, verduras e folhas verdes, por exemplo), o que representa quimicamente uma relação C/N de 30:1 (MMA, 2017).

Os principais métodos de compostagem (figura 2) são:

- a) sistemas abertos com leiras revolvidas manualmente;
- b) sistemas abertos com leiras revolvidas mecanicamente;
- c) sistemas abertos com leiras estáticas e ar natural;
- d) sistemas abertos com leiras estáticas e bombeamento de ar;
- e) sistemas fechados através de reatores biológicos.

Nos sistemas abertos estáticos, a pilha de resíduo é acomodada sobre dutos perfurados para bombeamento de ar, sem reviramento.

Nos sistemas abertos com leiras revolvidas, a aeração é obtida por convecção e difusão pelo revolvimento da massa de resíduos.

Nos reatores, o resíduo é disposto em compartimentos fechados, evitando assim o contato com águas pluviais, não gerando grandes quantidades de lixiviado, permitindo também o controle dos fatores que influenciam o processo (PROSAB, [s.d.]).

Figura 2: Principais métodos de compostagem.



Fontes: (a) MOREIRA; DE LIMA CARVALHO; GÜNTHER, 2010; (b) Global Repair Ltd.; (c) TEIXEIRA, 2004; (d) Waste Advantage Magazine; (e) Novid Co.

O tempo de compostagem nos sistemas tradicionais é consideravelmente alto, podendo levar de 60 a 120 dias, dependendo das condições do tempo. Ademais, a demanda por grandes áreas, a sujeição às condições climáticas, além

da incerteza da inativação de patogênicos, tornam-se desafios a serem superados para melhorar a prática e a aplicabilidade do processo. Por estas razões, os reatores biológicos são a forma mais controlada de realizar compostagem (PANDEY et al., 2016).

### 2.3. Reatores biológicos

Os reatores biológicos aeróbios para compostagem são desenvolvidos com a finalidade de minimizar os desafios da compostagem, criando um ambiente controlado, eliminando também a influência das condições do tempo. Além desses benefícios, é possível reduzir o tempo de compostagem para cerca de 8 a 10 horas. No entanto, para que isto ocorra, é extremamente necessário o monitoramento e controle de vários fatores que influenciam no processo, como temperatura, tempo das fases termofílicas, quantidade e tipo de inoculante adicionado, concentração da umidade, relação de carbono para nitrogênio, oxigenação da mistura, o pH e o tamanho da partícula do resíduo (AJMAL et al., 2020; PANDEY et al., 2016).

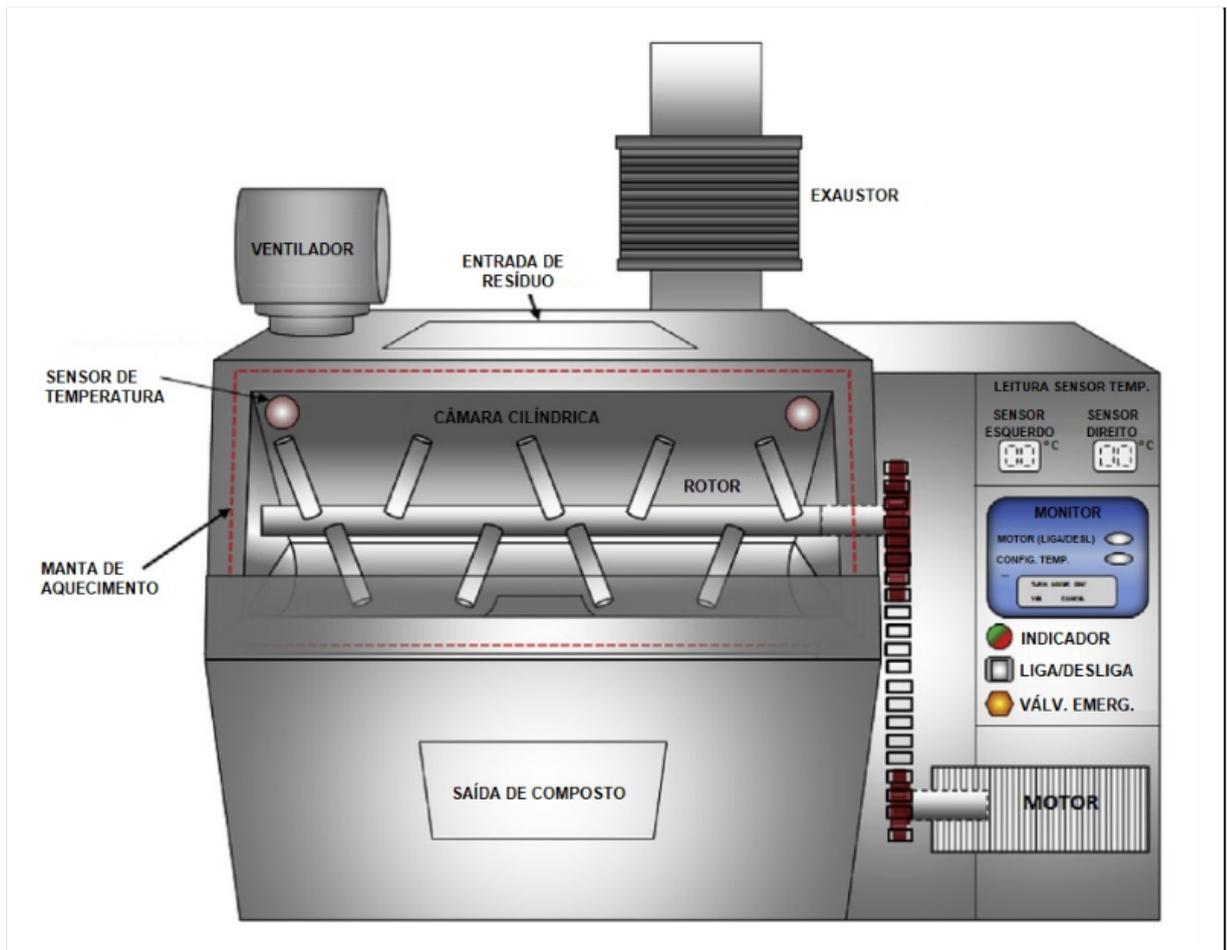
Para Pandey et al. (2016), a temperatura é o principal fator que influencia no processo e na qualidade final do composto, sendo a manutenção em torno de 65 °C, na fase termofílica, fundamental para a inativação de microorganismos patogênicos. A concepção de um reator deve partir da ideia de criar um ambiente fechado onde é possível adicionar calor e fornecer oxigênio artificialmente ao resíduo. O reator pode ser estático ou possuir reviramento. Além disso, para Ajmal et al. (2020), é necessário fornecer a quantidade de calor ideal para economizar tempo e demanda por energia. Chia et al. (2020), explica que o tamanho da partícula de resíduo é fator que afeta a aeração, indicando a importância de um pré tratamento para triturar e homogeneizar o resíduo.

O reator é um equipamento fechado, automatizado, alimentado por energia, usualmente elétrica e dotado de sensores e sistemas de aquecimento, reviramento e aeração para controlar e acelerar o processo de compostagem. Pode produzir composto por batelada ou por fluxo. Para funcionar, é abastecido com uma massa de resíduos com determinada proporção de C/N, como mencionado na figura 3 e uma determinada temperatura ideal para a colônia de microorganismos inoculada, caso se use inoculante, como mencionado na figura 3.

Se o processo ocorrer sem inoculante, define-se uma faixa de temperatura genérica, de 50 a 65 °C. Embora o reator apresentado por Pandey et al. (2016) (figura 3), não apresenta controle de umidade, existem sistemas como os apresentados por Coelho (2013) e Palmisano (1993) que o fazem, utilizando sensores para a verificação do parâmetro e um sistema de ventilação para aeração em caso de excesso de umidade.

A ventilação também possui a função de transferência do ar atmosférico para o interior do equipamento executando o controle da temperatura e fornecendo oxigênio. O sistema de reviramento tem a função de homogeneização, auxiliando os processos de controle de temperatura, umidade e oxigenação da massa resíduo.

Figura 3: Exemplo de reator para compostagem em escala piloto.



Fonte: PANDEY et al, 2016

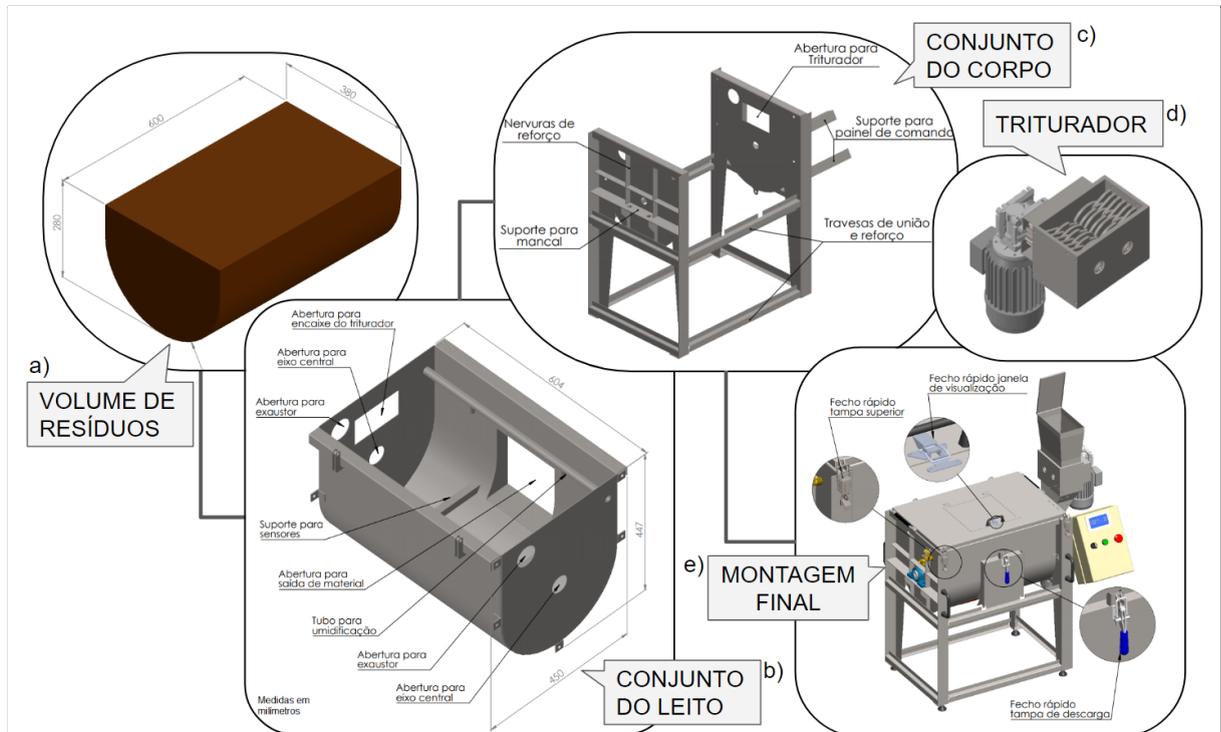
### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Projeto da carcaça

A estrutura do reator foi modelada com o auxílio do *software* de CAD 3D. O resultado do modelamento de equipamentos em CAD 3D é apresentado na forma de desenho técnico, seguindo normas e padrões definidos por organizações como a *ISO (International Organization for Standardization)*. No Brasil, as NBRs, que estão de acordo com a ISO, definem a norma geral, layouts e dimensões da folha de desenho, a caligrafia técnica, escala, representações, entre outras (FERREIRA, FALEIRO e SOUZA, 2008).

A figura 4 apresenta o resumo das etapas da metodologia de projeto da carcaça, onde foram definidos o volume útil e a orientação do fluxo de material no reator (Figura 4a), assim como todos os mecanismos e estruturas necessários para o funcionamento (Figura 4b-e).

Figura 4: Etapas de projeto do reator.

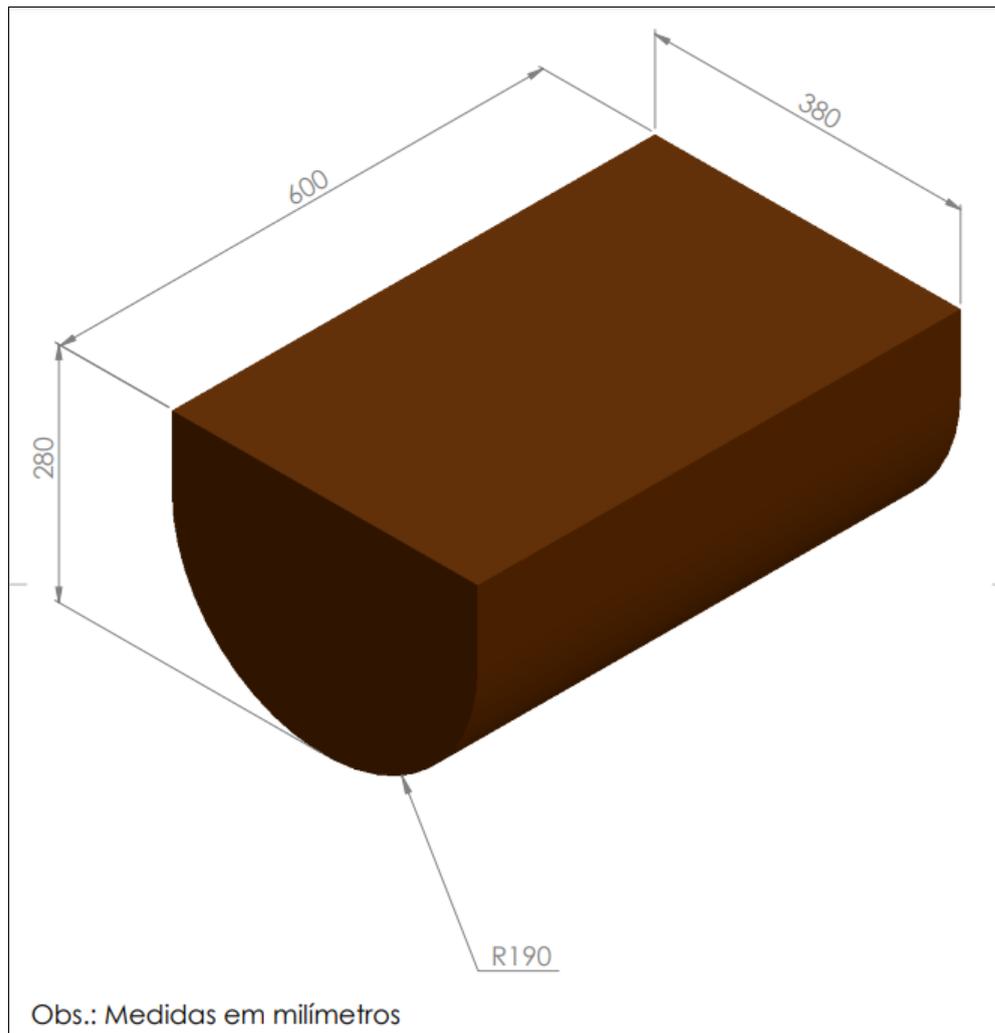


Fonte: o autor

O ponto de partida da criação da carcaça foi o dimensionamento da massa de resíduos a ser reciclada, partindo da ideia do formato cilíndrico horizontal escolhido

previamente, para proporcionar um melhor reviramento e distribuição do resíduo em seu interior, além da noção do espaço ocupado e da proporcionalidade do equipamento final pretendido. Assim, obteve-se o formato e as dimensões ilustradas na figura 5.

Figura 5: modelagem da massa de resíduos a ser ocupada no reator.



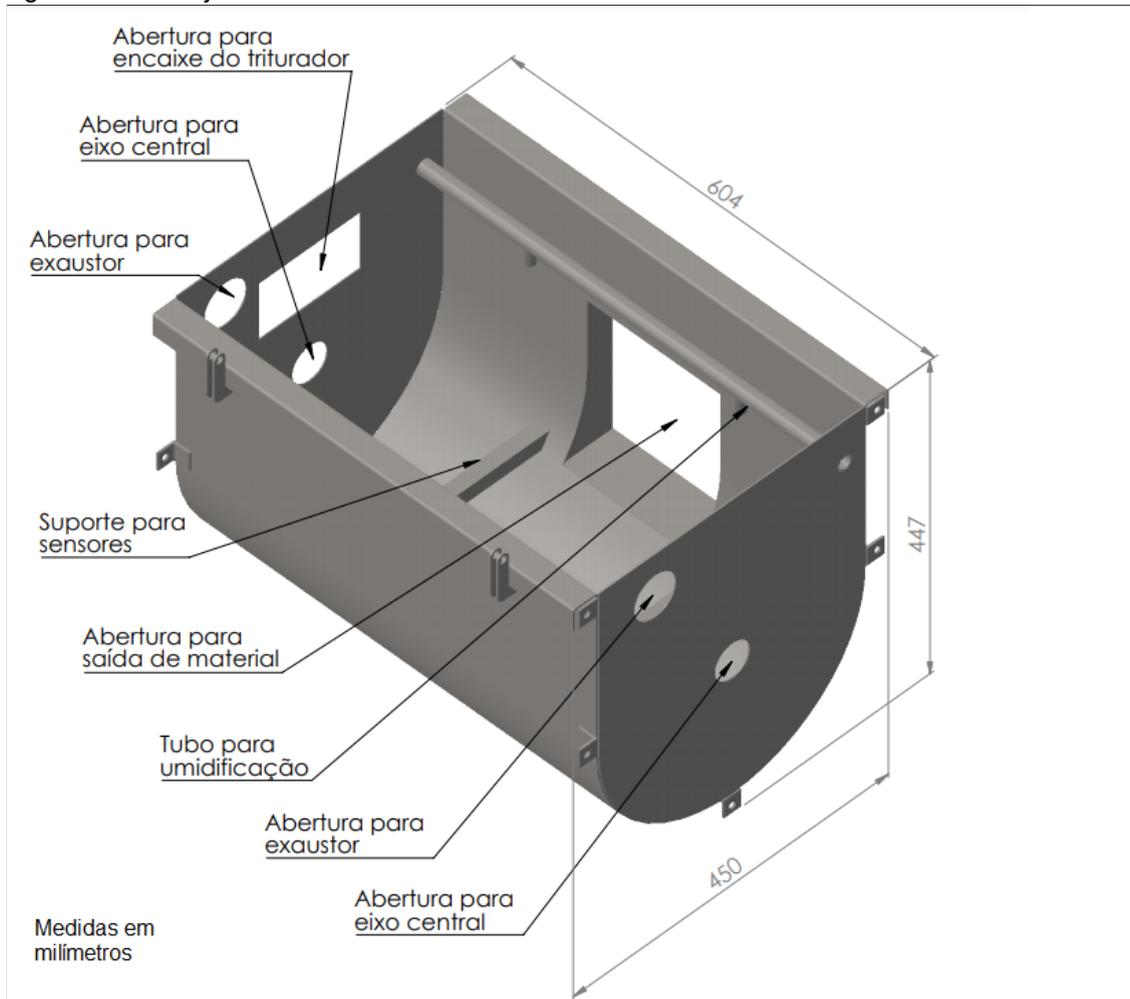
Fonte: o autor

A carcaça foi, portanto, desenvolvida a partir das dimensões obtidas no modelo acima ilustrado, de dentro para fora, ou seja, pensando na necessidade de comportar uma carga pré definida de material, que neste caso é de 40 kg de resíduo por fluxo, considerando a densidade média de  $800 \text{ kg/m}^3$ , conforme Melo, Sautter e Janissek (2009), para na sequência se desenvolver todos os mecanismos periféricos que viabilizem o funcionamento do reator.

Com a definição do volume interno com suas dimensões, tem-se, por

consequência, o formato e as dimensões de seu invólucro, que neste caso foi chamado de leito do reator. Além de desempenhar a função de reservatório, o leito do reator precisou comportar o movimento de revolvimento do resíduo, mantendo todo o material confinado em seu interior, não só impedindo que o mesmo pudesse ser lançado para fora do equipamento, como também diminuindo interferência de fatores do ambiente externo. Neste subconjunto, houve também a necessidade de se inserir elementos de suporte e fixação para os componentes periféricos, como suporte de sensores, suporte para injetores de água, ventilação e tampas de fechamento frontal e superior, que compõem alguns dos conceitos do reator, conforme ilustrado na figura 6.

Figura 6: Subconjunto do leito do reator.

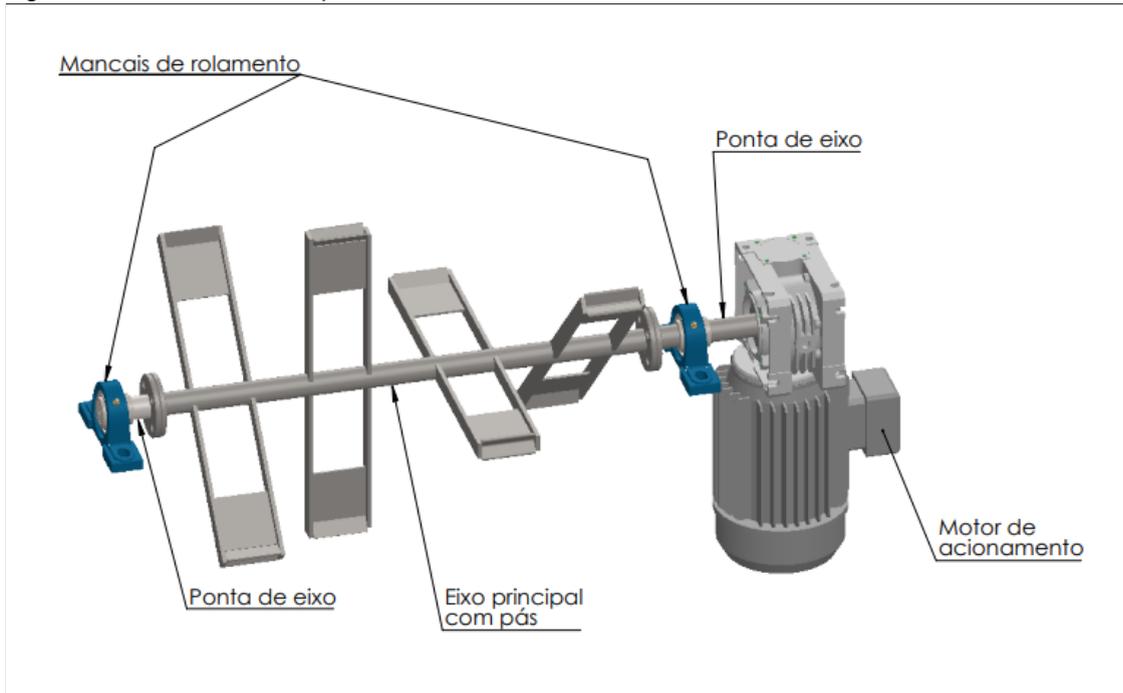


Fonte: o autor

Na sequência do projeto, o componente desenvolvido foi um eixo transversal rotativo com pás. Optou-se por um tubo em aço inox 304 onde foram soldadas

quatro linhas de hastes perpendiculares ao tubo e aos pares, dispostas diametralmente opostas. Complementando o conjunto, foram desenvolvidas pontas de eixo flangeadas, que serão conectadas à mancais de rolamento tipo pedestal, além da conexão com o motor de acionamento em uma das extremidades, como mostra a figura 7 a seguir.

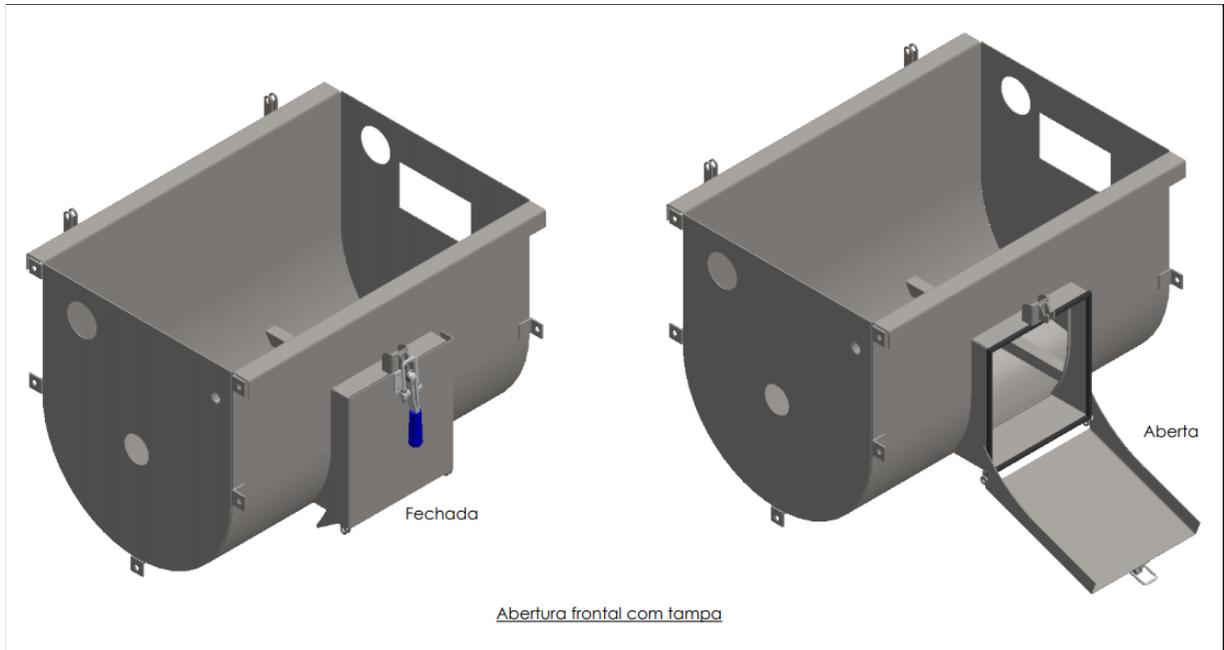
Figura 7: Eixo central com pás do reator.



Fonte: o autor

Uma abertura frontal no conjunto do leito foi inserida e fechada com uma tampa articulada fixada por parafusos com travamento através de um grampo de aperto rápido tensor. A figura 8 a seguir mostra a solução obtida para a tampa frontal de vedação e retirada do composto pronto.

Figura 8: Abertura frontal de descarga do composto.

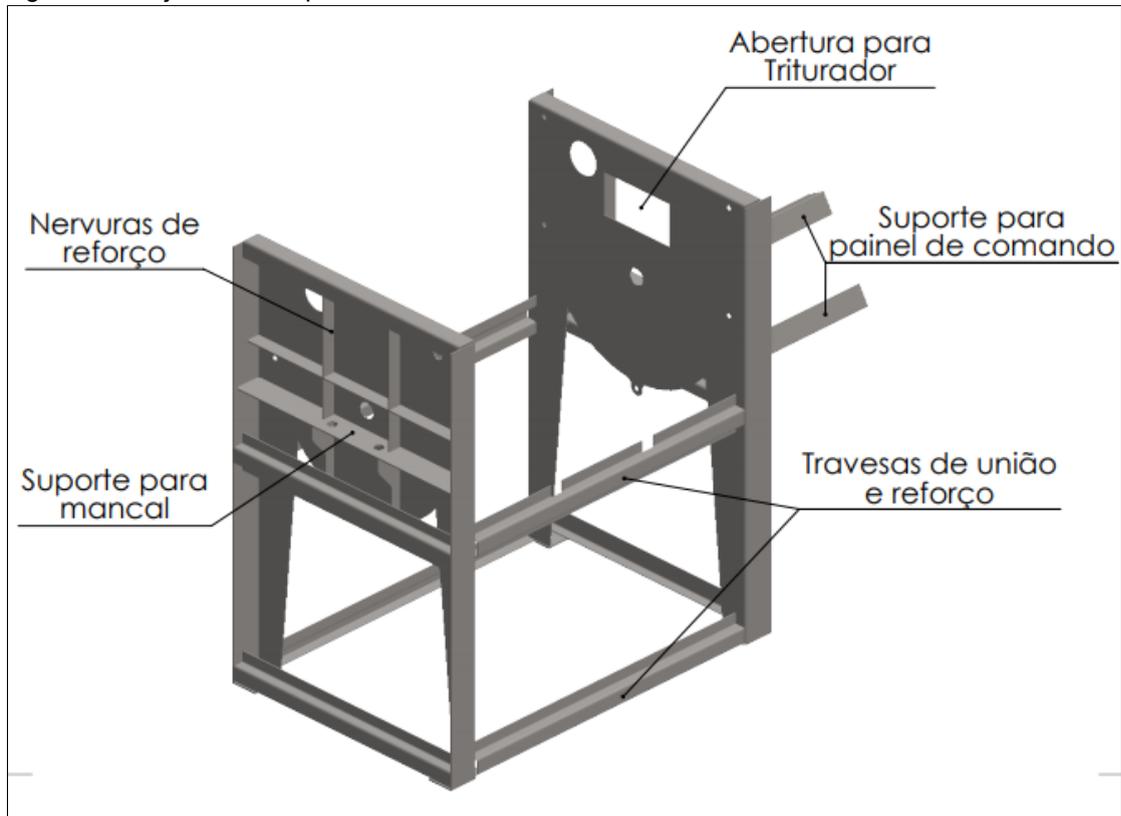


Fonte: o autor

Até este ponto do desenvolvimento, para evitar a corrosão ao longo do tempo, o material estrutural escolhido foi aço inoxidável, já que a massa de resíduos que estará em constante contato com as partes, sofre variações de pH durante o processo de compostagem.

Definida a unidade principal do equipamento, foi necessário criar a estrutura de apoio e sustentação para sua operação. Para isso, a estrutura soldada, ilustrada na figura 9, chamada de corpo do reator, foi desenvolvida baseada na ideia de cavaletes para apoiá-lo ao chão. Nas faces laterais do conjunto foram inseridas nervuras para reforço estrutural e apoios para os mancais de rolamentos do eixo rotativo com pás.

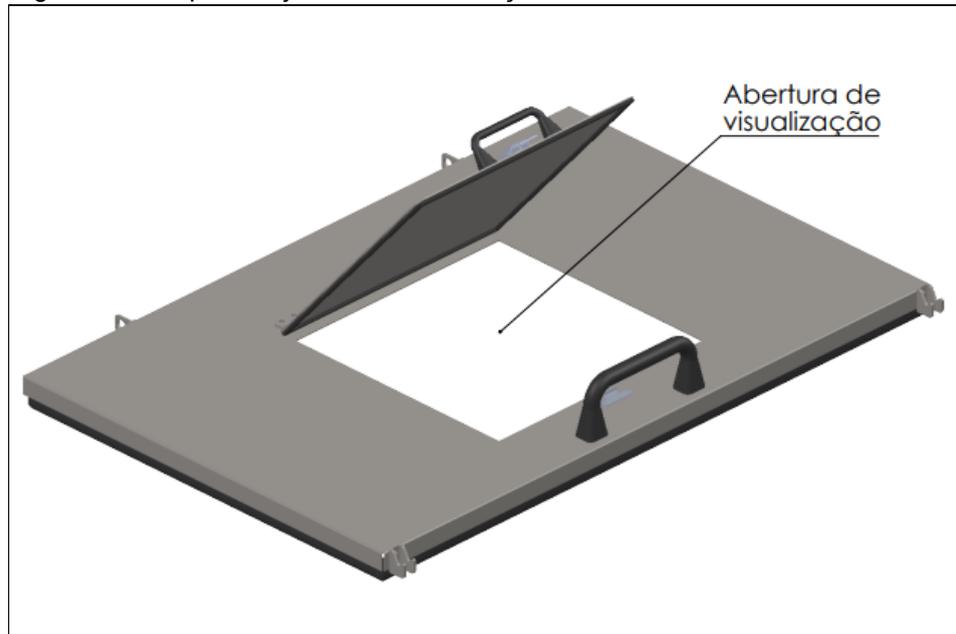
Figura 9: Conjunto do corpo do reator.



Fonte: o autor

Esta estrutura também serviu de apoio para a montagem da tampa superior, do painel de comando, do motoredutor que aciona o eixo com pás e também do triturador, um conjunto de pré-processamento de resíduos. Uma tampa (figura 10), para abertura superior do leito precisou ser modelada, para efetivar o fechamento e a vedação do conjunto do leito durante a operação e uma pequena janela de visualização foi inserida para que se possa acompanhar o processo com menor interferência.

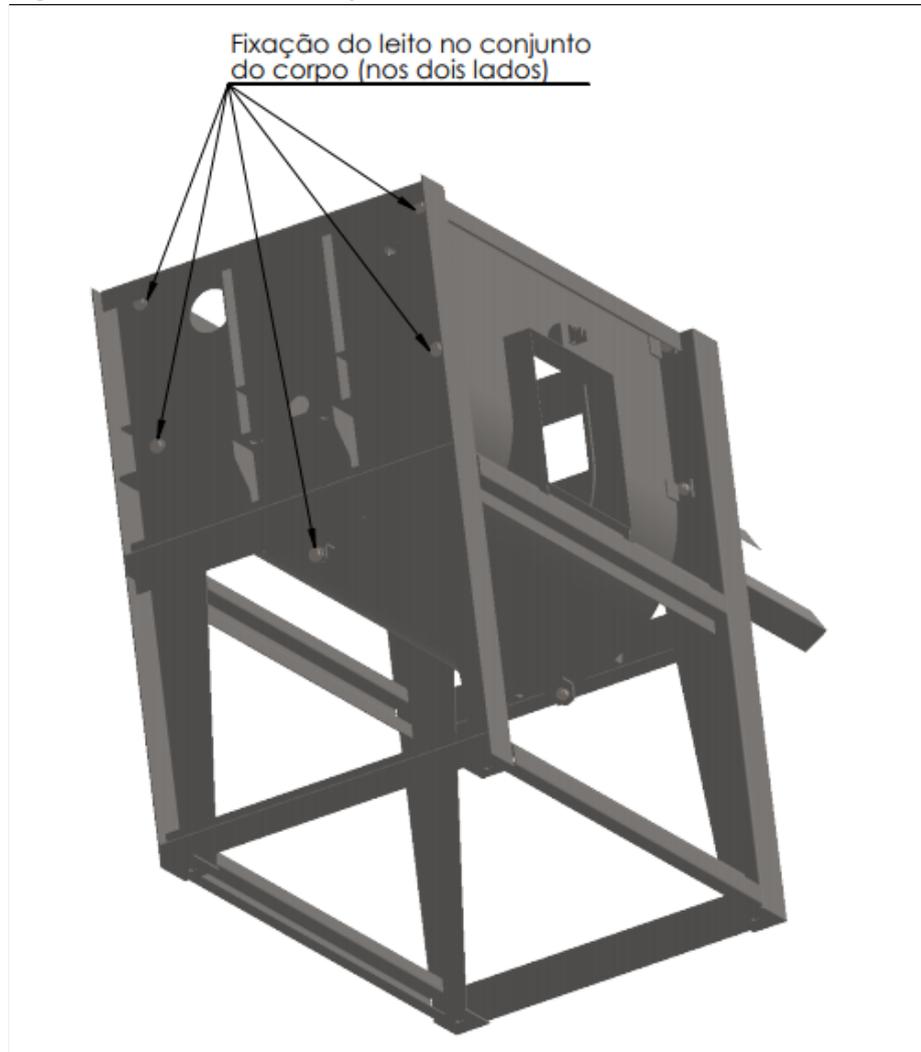
Figura 10: Tampa com janela de visualização do reator.



Fonte: o autor

Para a união dos subconjuntos do leito e do corpo foram utilizados elementos de fixação como parafusos sextavados, porcas e arruelas (figura 11).

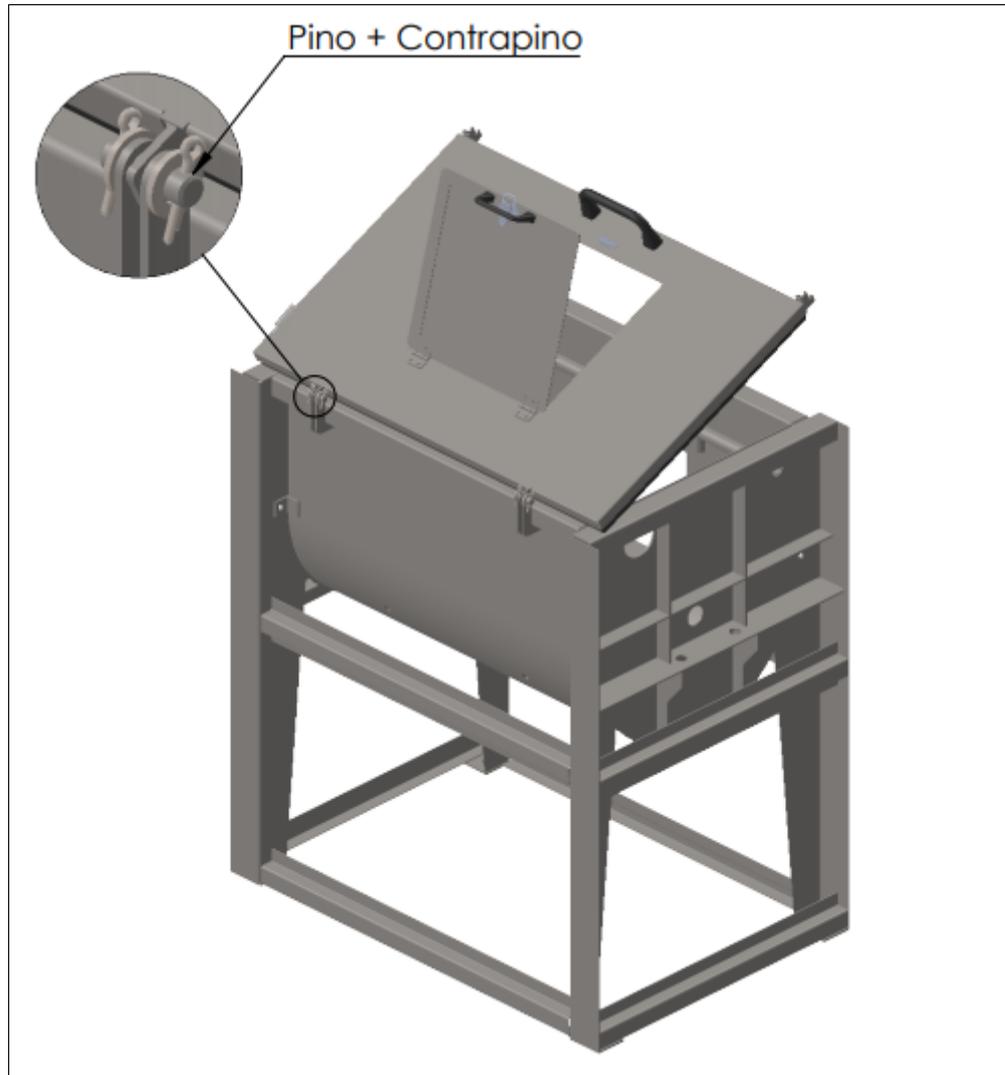
Figura 11: União dos subconjuntos do reator.



Fonte: o autor

A montagem da tampa com o conjunto do leito foi feita de forma articulada e acontece por meio de pino e contrapino montados na parte traseira (figura 12).

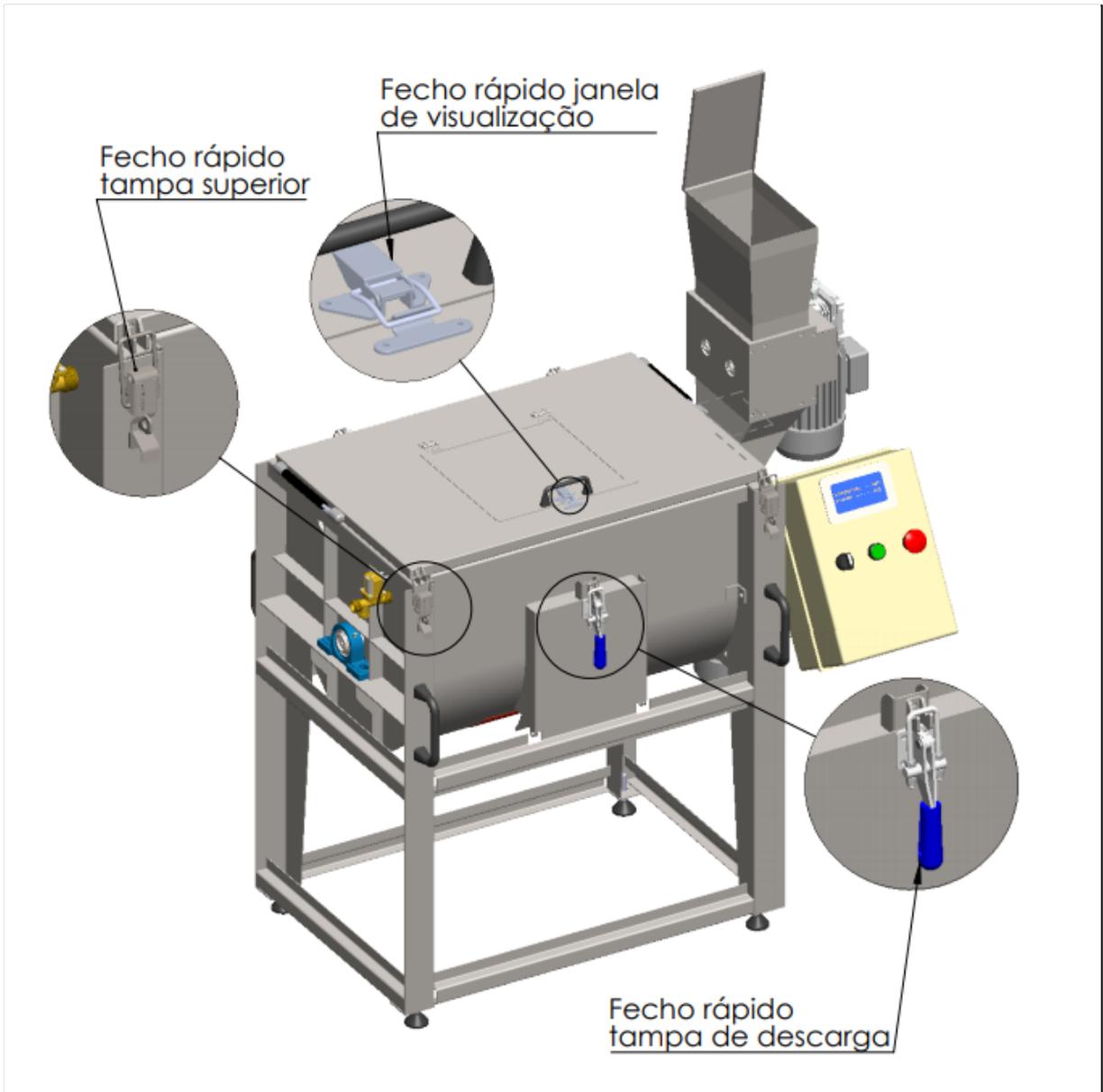
Figura 12: Articulação da tampa superior do reator.



Fonte: o autor

Para mantê-la fechada, dois fechos rápidos tipo grampo de pressão presos na borda frontal da tampa foram utilizados, proporcionando praticidade e rapidez na operação. A mesma solução foi adotada para a tampa da abertura de visualização e para a tampa da saída frontal (figura 13).

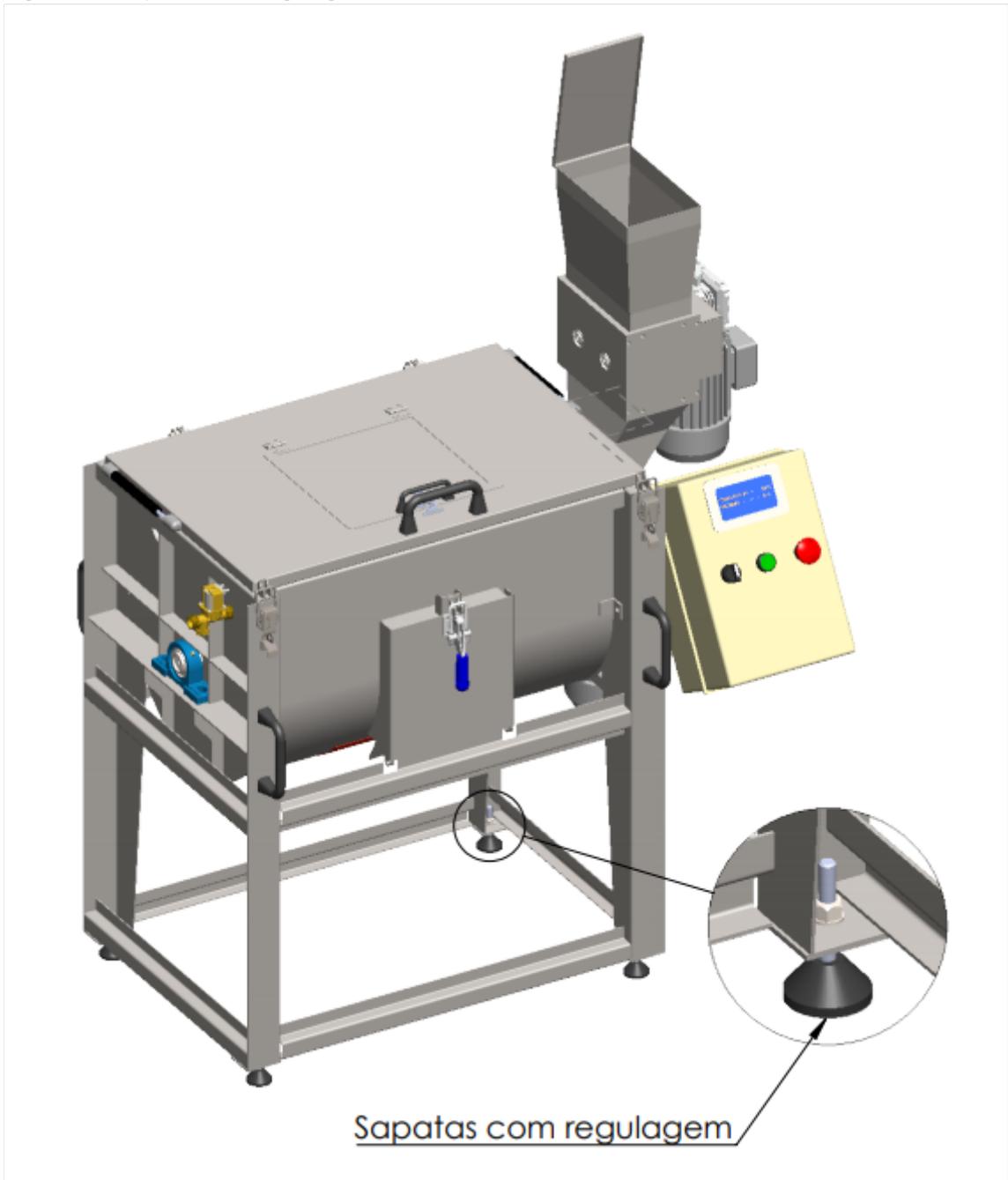
Figura 13: Fecho rápido de pressão.



Fonte: o autor

Para auxiliar na vedação e diminuir o ruído, borrachas foram usadas nas interfaces de contato das tampas. Sapatas de borracha com ajuste de altura instaladas na base do conjunto do corpo auxiliam na absorção de impactos e dão estabilidade ao equipamento (figura 14).

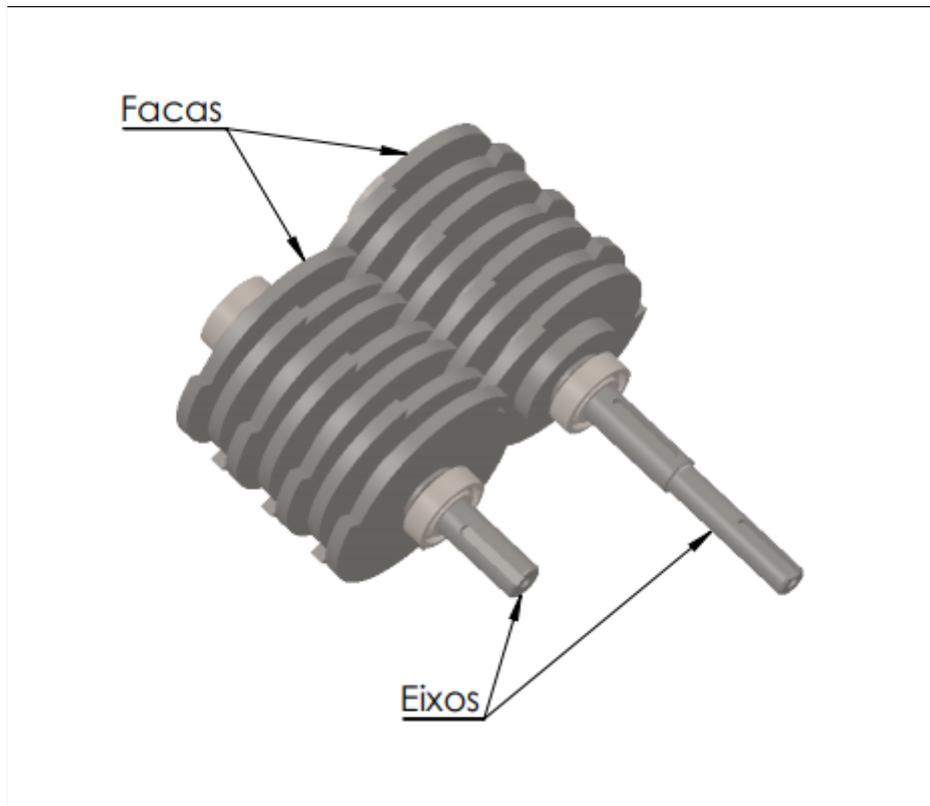
Figura 14: Sapatas com regulagem.



Fonte: o autor

Para finalizar a modelagem digital em 3D do reator, um triturador externo foi projetado de forma a permitir que o resíduo triturado possa ser adicionado diretamente na câmara interna, mesmo que o equipamento se encontre em operação. Funciona pelo mesmo princípio de moinhos de martelo de dois eixos, onde são instalados discos intercalados que funcionam como facas (figura 15).

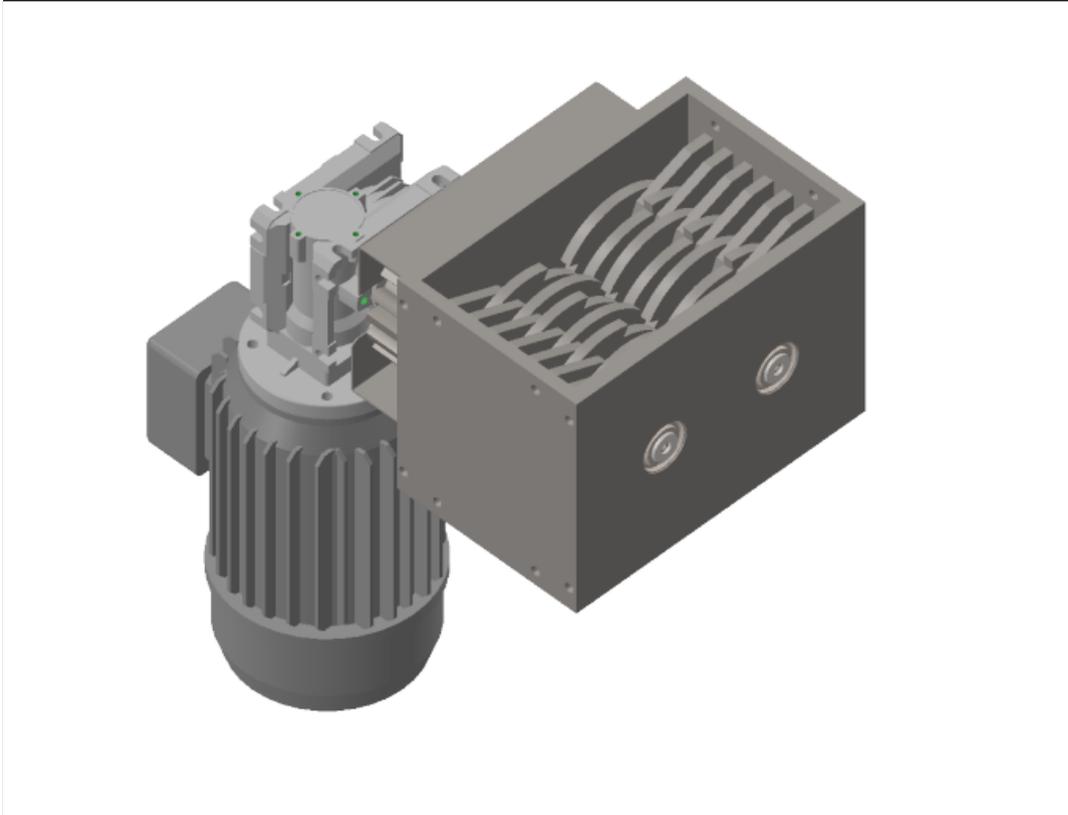
Figura 15: Eixo duplo do triturador.



Fonte: o autor

A estrutura do triturador foi formada por quatro chapas que envolvem lateralmente o par de eixos, ficando abertas as partes superior e inferior, para entrada e saída de material, respectivamente (figura 16).

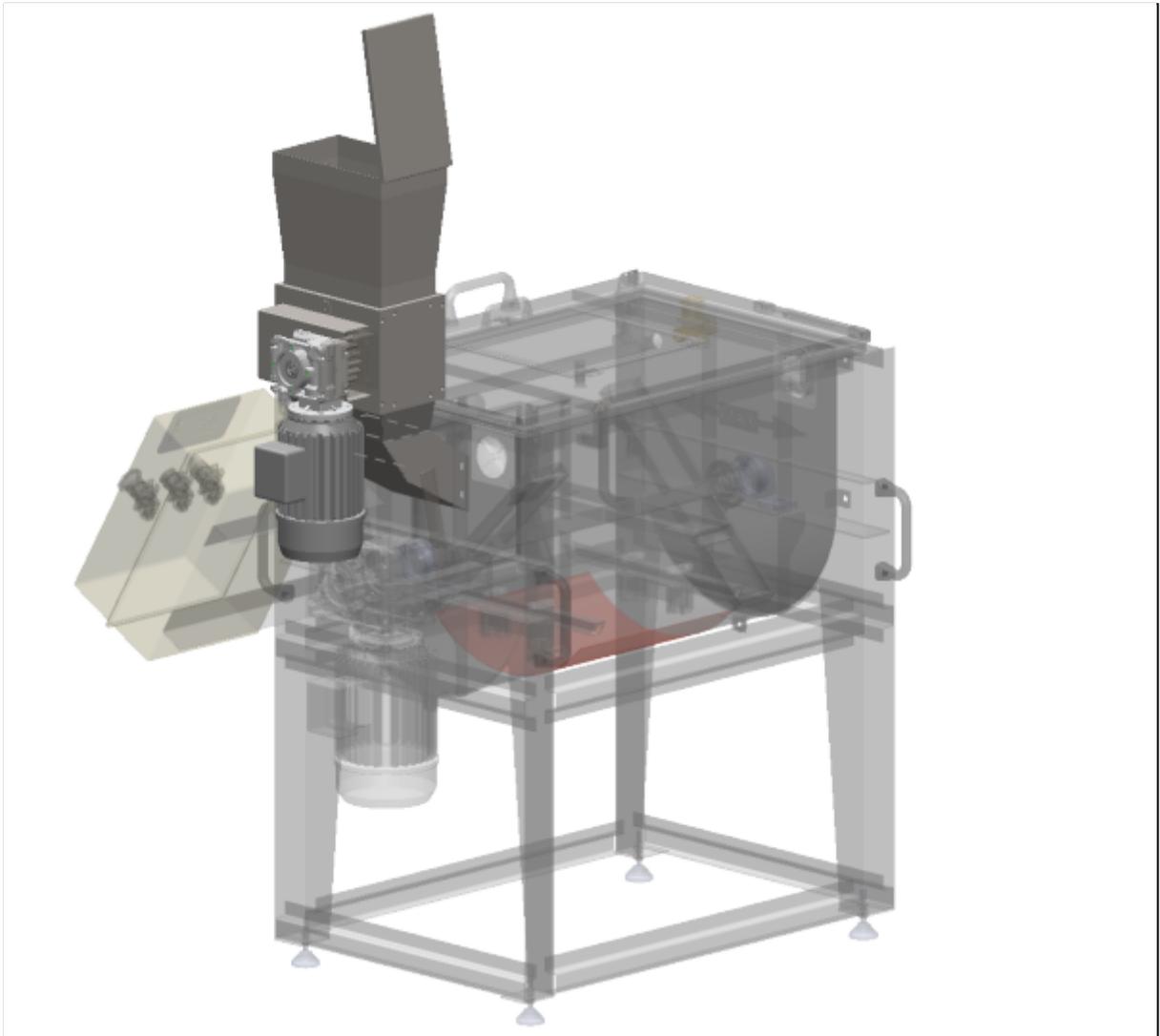
Figura 16: Triturador sem as calhas.



Fonte: o autor

Uma calha em formato de funil foi acoplada na entrada, para facilitar a alimentação do triturador com resíduo e uma outra calha na parte inferior coleta o material triturado introduzindo-o dentro do reator (figura 17).

Figura 17: Triturador com as calhas.



Fonte: o autor

### 3.2. Construção da carcaça

A fabricação da carcaça foi realizada em uma indústria do setor metal mecânico na cidade de Capivari de Baixo - SC, especializada na fabricação, montagem e manutenção industrial de estruturas e equipamentos. A primeira etapa da fabricação consistiu na análise do projeto pelo setor de Planejamento e Controle da Produção (PCP), que definiu quais os processos e ferramentas foram necessários para a fabricação. As etapas principais que englobam todo o processo foram a obtenção, caldeiraria, pintura e montagem final.

Na etapa de obtenção, a matéria prima foi transformada da sua forma mais simples como placas, perfis e tubos de aço em peças para formação dos conjuntos na etapa posterior. As placas foram submetidas em processo de corte por calor em

equipamentos geralmente automatizados, que reproduziram na matéria prima o mesmo formato geométrico em escala 1:1 das chapas projetadas via *software*. Após serem cortadas, as chapas puderam passar por equipamento de conformação mecânica como dobradeira e calandra.

Além de corte, dobra e calandra, algumas chapas precisaram passar por processos de usinagem para que fossem adicionados furos rosqueados e furos com precisão, para a montagem de rolamentos, por exemplo. Perfis de aço como os redondos e em “L” foram processados em serra, torno e fresa, obtendo eixos e outros componentes. Tubos de aço, depois de processados também por serra, torno ou fresa, foram transformados em elementos estruturais, dutos e eixos.

A etapa de caldeiraria consistiu em utilizar as peças criadas pela etapa anterior, unindo-as para criar os subconjuntos que formaram o equipamento final. Para isso, a técnica utilizada é a solda MIG (Metal Inerte Gás), por oferecer maior produtividade, quando materiais consumíveis são fundidos na região de contato entre as peças pela passagem de corrente elétrica. Nesta etapa, foram utilizados gabaritos para garantir que os subconjuntos formados possuíssem exatamente as mesmas medidas definidas no projeto.

Após estabelecidos todos os subconjuntos, juntamente com as peças que não necessitam de união por solda, a fabricação entra em processo de limpeza e acabamento superficial. Primeiramente, executa-se o processo de jateamento, quando um material abrasivo é propulsionado por ar comprimido em alta velocidade contra a superfície das peças, removendo sujeira, respingos de solda e materiais contaminantes, preparando-as para pintura ou, no caso das peças de aço inoxidável, conferindo uma aparência uniforme e limpa. A pintura é efetuada nos componentes de aço comum, ou não inoxidáveis, a fim de proporcionar uma maior resistência à corrosão, prolongando sua vida útil e criando uma boa aparência para o produto final.

Terminadas as etapas de caldeiraria e tratamento superficial, a fabricação do reator segue para a etapa de montagem final. Neste momento, além de todos os itens fabricados apresentados, agrega-se aos conjuntos, itens comerciais padronizados, como elementos de fixação, mancais, rolamentos, puxadores, válvulas, motores e outros componentes elétricos. Um painel de comando controla todas as funções, com base em um programa pré-estabelecido.

## **4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

### **4.1. Projeto da carcaça**

Os desenhos técnicos foram necessários para a fabricação e obtidos ao final do modelamento completo do reator. Todos os componentes do equipamento foram modelados e os itens não comerciais foram detalhados na forma de desenho técnico.

Partindo do dimensionamento da massa de resíduos a ser reciclada, obteve-se a unidade principal onde se dará o processo da compostagem, chamada de leito do reator.

A forma construtiva cilíndrica horizontal foi proposta em função da facilidade de movimentação e mistura da massa de resíduos. A otimização do espaço necessário também foi fator de decisão na escolha deste formato em relação a um modelo vertical, que depende da ação da gravidade e requer maior espaço interno para um eixo com rosca helicoidal que transporta os resíduos de baixo para cima, e ao chegarem no topo da rosca, eles descem por gravidade pelas laterais do leito vertical e entram novamente na rosca, completando o ciclo de funcionamento. O APÊNDICE A apresenta o detalhamento do conjunto do leito do reator, com suas respectivas medidas construtivas e tabela de materiais.

Com base nas dimensões do leito do reator criou-se sua estrutura suporte para apoiá-lo ao piso, chamada de corpo (APÊNDICE B), utilizando chapas de aço dobradas nas extremidades laterais e superior para aumentar sua resistência mecânica e unidas por quatro travessas em chapa de aço carbono dobradas também com função de criar resistência ao conjunto. Este conjunto possui aberturas para montagem de ventiladores, dispostas em lados opostos para proporcionar uma melhor circulação de ar dentro do leito.

O eixo transversal rotativo com pás (APÊNDICE C) foi modelado seguindo as dimensões do leito, com formato que possibilitou revirar o resíduo durante sua rotação, executando o revolvimento de resíduos para sua homogeneização. Os mancais de apoio do eixo são fixados no conjunto do corpo, na parte externa, para diminuir o atrito e permitir a rotação do eixo quando em movimento. O eixo com as extremidades flangeadas têm a função de montagem e desmontagem do conjunto do eixo rotativo, criando uma condição simples e de fácil execução.

A abertura na parte frontal no conjunto do leito (APÊNDICE A), posicionada desta maneira para facilitar o acesso, foi inserida com a finalidade da retirada do composto pronto e vedação do compartimento contra vazamento deste material durante o funcionamento do reator. Na interface da abertura do leito com a tampa, um debrum de borracha fará o complemento da função de vedação e retenção do material processado.

A abertura na parte superior, apresentada no APÊNDICE A, tem a função de permitir a adição de resíduos e inoculantes, por exemplo, além dos serviços de manutenção, montagem e desmontagem dos componentes internos.

Criou-se também um triturador externo (APÊNDICE D), que fará o pré-processamento do resíduo a fim de garantir que este material seja uniforme e tenha tamanho máximo limitado pelo espaçamento entre as facas montadas nos eixos do triturador. A calha de entrada armazena o material a ser triturado e a calha de saída conduz o resíduo triturado para dentro do compartimento do leito.

Os acionamentos, tanto do eixo com pás quanto do triturador, foram realizados por conjuntos de motores elétricos de indução de quatro pólos monofásicos com tensão de 220 Volts, com caixas de redução do tipo rosca sem fim.

Foi utilizado, para o eixo com pás, um motor com potência de 0,33 cv (cavalo-vapor), ou 243 W (Watts), com caixa de redução de 1:80, obtendo na saída do redutor uma velocidade de aproximadamente 20 Rotações por Minuto (RPM), ou seja, cada volta completa demora 3 segundos. No momento da definição deste parâmetro, percebeu-se que essa velocidade pode estar acima da ideal (entre 5 e 10 RPM). Isso será verificado no momento dos testes com o reator e caso se confirme, pode-se ainda instalar um módulo de inversor de frequência, que é um componente eletrônico capaz de variar a rotação do motor, sem que haja perda no torque final.

No conjunto do acionamento dos eixos do triturador optou-se por um motor de 0,16 cv, ou 118 W, com caixa de redução de 1:60, o que forneceu uma velocidade na saída para os eixos de 30 RPM, ou seja, cada volta completa dura 2 segundos. A montagem dos motores e dos redutores no conjunto foram apresentados no APÊNDICE D.

O conjunto completo do reator é ilustrado na figura 18 a seguir, onde pode-se perceber que este reator permitirá reciclar um volume de 40 kg de resíduos, a iniciar pela trituração para homogeneização da granulometria. Durante o processo o reator fará o reviramento da massa de resíduos através do seu eixo transversal com pás,



## 4.2. Construção da carcaça

Após a conclusão do projeto, foi gerada uma lista completa com os materiais necessários à fabricação do equipamento e seus respectivos desenhos com especificações técnicas.

Na etapa de fabricação, os materiais foram divididos em duas partes. Uma das partes se refere às peças que precisaram ser fabricadas conforme os desenhos fornecidos, como chapas e perfis metálicos, com medidas inerentes às necessidades do projeto. Estes materiais foram submetidos a processos de caldeiraria, utilizando máquinas, processos e profissionais específicos da indústria metal-mecânica. A outra parte se refere à materiais padronizados pelo mercado, os elementos de máquina, como por exemplo, motores, elementos de fixação (parafusos, porcas e arruelas), mancais e rolamentos.

Em função da adequação ao orçamento disponível para a execução do projeto, a primeira parte da lista foi enviada para orçamento em indústrias do setor metal-mecânico. O orçamento e compra dos elementos de máquina foi realizado utilizando pesquisas realizadas através da internet. Fabricou-se as peças criadas para este projeto pela indústria e, após aquisição dos elementos de máquina, realizou-se a montagem final de forma independente da indústria, diminuindo assim o custo final de fabricação.

A lista de materiais, tanto das peças que precisaram ser fabricadas de forma específica para este projeto, quanto dos materiais padronizados, os elementos de máquina, com os respectivos valores obtidos e o custo final do equipamento podem ser conferidos no APÊNDICE E. O custo das peças fabricadas foram dados por quilograma de material fabricado, enquanto os elementos padronizados foram obtidos por unidade ou metro linear. Um resumo dos custos é apresentado na tabela 1 a seguir.

Tabela 1: Custos gerais de fabricação do reator

DESCRIÇÃO	VALOR
Fabricação da carcaça - aço comum	R\$ 1.924,00
Fabricação da carcaça - aço comum com usinagem	R\$ 1.105,00
Fabricação da carcaça - aço inox	R\$ 1.385,00
Motores	R\$ 1.322,00
Redutores	R\$ 1.111,00
Manta térmica	R\$ 900,00
Elementos de máquina	R\$ 278,00
Eletrônica*	R\$ 1.355,00
Outros	R\$ 147,00
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 9.527,00</b>

\*Valor estimado. Não faz parte dos objetivos deste trabalho implementar a parte eletrônica.

Fonte: o autor

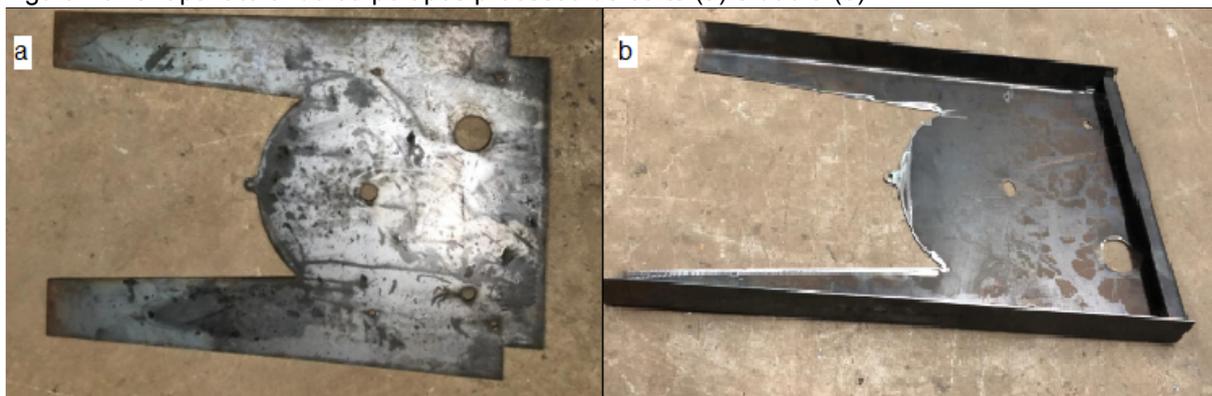
A fabricação da carcaça foi realizada utilizando métodos convencionais e amplamente difundidos para a criação de equipamentos mecânicos na indústria metal-mecânica, tendo como referência os desenhos técnicos gerados na fase de projeto. Como o Câmpus Garopaba do IFSC não dispunha de oficina com os equipamentos necessários para a fabricação, além de não ter sido possível utilizar a estrutura de outros campus em cidades próximas, em função da paralisação das atividades presenciais por conta dos decretos consequentes da pandemia causada pelo COVID-19, foi necessário buscar alternativas nas indústrias das cidades vizinhas.

Após a escolha da empresa que faria a fabricação da primeira parte da lista de componentes, realizou-se uma reunião com sua equipe técnica, a fim de discutir os detalhes dos processos de fabricação. Chegou-se à conclusão de que seria possível manufaturar as peças solicitadas utilizando a capacidade técnica disponível, sem a necessidade de se realizar qualquer modificação, confirmando também que a etapa de projeto foi bem sucedida.

Seguindo a definição dos processos pelo setor de planejamento e controle da produção, as matérias primas como placas, tubos e perfis de aço foram submetidos a processos de erosão por temperatura, corte, dobra, calandra e usinagem, para dar origem às peças que seriam utilizadas na próxima etapa da fabricação. A figura 19 a seguir mostra a chapa lateral do conjunto do corpo do reator. Esta peça, bem como todas as demais peças no formato de chapas, foram obtidas pelo processo de erosão por altas temperaturas. Para a peça apresentada na figura a seguir, além do corte (a), também foi executado o processo de dobra (b) para chegar ao formato

final. Pode-se observar nas imagens alguns vestígios deixados pelos processos de obtenção, como riscos e manchas, aparentando um estado de má qualidade. Porém, estes são comuns desta etapa dos processos. As etapas de acabamento superficial e pintura que antecedem a fase final de montagem têm também a função de eliminar estas marcas.

Figura 19: Chapa lateral do corpo após processo de corte (a) e dobra (b)



Fonte: o autor

Todos os parâmetros de máquina utilizados nos processos fabris foram fornecidos através das especificações contidas nos desenhos técnicos entregues à fábrica. Arquivos gerados na fase de modelagem são carregados e lidos diretamente pelas máquinas responsáveis pela execução dos processos. A correta execução confirmada pelas imagens comprovaram que os arquivos gerados e as especificações fornecidas estavam de acordo com as capacidades de trabalho da fábrica.

Em seguida, as peças produzidas foram unidas por processos de solda e por elementos de fixação, formando os subconjuntos principais que comporiam o equipamento. Nesta etapa, verificou-se que somente a utilização de gabaritos não seriam suficientes para prosseguir com a fabricação, pois o alinhamento do eixo com a furação presente no conjunto do corpo e leito dependeria da montagem com os mancais de apoio e seus elementos de fixação.

Este alinhamento também permitiu posicionar de forma correta as chapas de apoio dos mancais nas chapas laterais do conjunto do corpo. O fato significou a necessidade de se rever a sequência do planejamento, onde todos os itens comerciais deveriam ter sido entregues à fábrica para permitir algumas pré-montagens e proceder com eventuais ajustes. A consequência de maior impacto

neste fato foi o atraso no cronograma de entrega da carcaça.

Na figura 20 abaixo pode-se observar o subconjunto do leito do reator na pré-montagem com o subconjunto do corpo, apresentando processos como calandra, onde a chapa assume o formato cilíndrico e solda, fazendo a união da chapa calandrada com as demais peças que compunham o subconjunto.

Figura 20: Conjuntos do leito e corpo pré-soldados



Fonte: o autor

A figura 21 exhibe as peças do triturador após o processo de corte. Com formato arredondado à esquerda na imagem são as facas que rotacionam junto como o eixo cortando o resíduo ao friccioná-lo contra as peças em formato de “C” apresentadas à direita. Inicialmente, o entendimento da empresa foi de que não seria possível fabricar o conjunto do triturador, por se tratar de um equipamento que lá ainda não havia sido fabricado nada parecido. Porém, após uma reunião inicial, foi-lhes explicado cada detalhe da fabricação, mostrando que na verdade os procedimentos eram simples. Portanto, este trabalho também proporcionou benefícios para a própria empresa que fabricou, agregando novos conhecimentos e processos ao seu *know-how*.

Figura 21: Peças do triturador cortadas



Fonte: o autor

Na figura 22, podem ser observadas as calhas de entrada e saída de material do conjunto do triturador. Para estes subconjuntos também foram utilizados os processos de corte por erosão e dobra, para em seguida uni-las por solda. Estes processos foram replicados para a fabricação da maior parte das peças e conjuntos do reator fornecidos pelos processos de caldeiraria da empresa contratada. A modelagem do reator na fase de projeto precisou considerar a viabilidade de fabricação de acordo com as capacidades de máquinas e processos disponíveis na indústria, o que se confirmou pela execução sem dificuldades de todos os componentes.

Figura 22: Calhas do triturador pré-soldadas



Fonte: o autor

Antes de proceder com a montagem final, os subconjuntos passariam pela etapa de tratamento e acabamento superficial, recebendo o processo adequado para a aplicação de pintura. As partes de aço carbono simples seriam pintadas na cor preta fosca, enquanto as partes fabricadas em aço inox seriam jateadas.

Porém, como este projeto foi executado no período entre o 2º semestre de 2020 e o 1º semestre de 2021, durante a pandemia causada pelo COVID-19, os atrasos ocasionados pela pandemia fizeram com que não fosse possível finalizar a construção da carcaça antes da finalização deste trabalho. A pandemia também influenciou diretamente os custos de matéria-prima em função da alta nas cotações do dólar e da diminuição da oferta de produtos. Como exemplo, o valor do serviço de caldeiraria para aço comum orçado em Novembro de 2020 era de R\$ 35,00 por quilograma de material fabricado, incluindo a matéria-prima, passando para R\$ 44,10 por quilograma em Janeiro de 2021, um aumento de mais de 20%, o que elevou a cotação de fabricação inicial de R\$ 3.660 passando para cerca de R\$

4.400, inviabilizando alguns planejamentos iniciais. Além dos custos, o cronograma de execução também foi afetado, em função das restrições impostas a nível municipal, estadual e nacional, inclusive para as atividades acadêmicas.

Aos subconjuntos e às peças fabricadas seriam agregados os elementos de máquinas comerciais padrão como mancais, parafusos, grampos de fixação, entre outros, além de componentes elétricos, para formar o equipamento completo.

Até o momento da finalização deste trabalho, o reator encontrava-se em fase final de caldeiraria, aguardando os itens comerciais para finalizar a pré-montagem e a posterior etapa de acabamento superficial. A figura 23 apresenta a condição em que encontrava a construção da carcaça pela empresa. Pode-se observar a ausência do eixo principal e os eixos do triturador, além dos motores e alguns elementos de máquina.

Figura 23: Forma final do reator na fabricação



Fonte: o autor

Assim, o segundo objetivo deste trabalho em construir a carcaça projetada foi atingido parcialmente, por conta das consequências geradas pela pandemia do COVID-19 como trabalho remoto, atrasos no recebimento de matéria prima pela

empresa, mudança no orçamento de fabricação da carcaça, que exigiu novas conversas para realinhar a proposta, a alta do dólar e ainda os atrasos em adquirir todas as peças sobressalentes para a montagem final.

## 5. CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi desenvolvido o projeto de um reator biológico de fluxo horizontal para reciclagem de resíduos sólidos orgânicos, o que ocorreu conforme esperado. Foram gerados todos os desenhos necessários à construção e após alguns ajustes em função das consequências geradas pela pandemia do COVID-19, o projeto do reator foi enviado para fabricação, o que ocorreu de forma parcial.

Para trabalhos futuros, recomenda-se:

- Finalização do reator;
- Montagem da parte eletrônica e testes de funcionamento;
- Verificação da necessidade do inversor e da chave reversora, pois é preciso testar se o sentido único de giro e a velocidade do eixo com pás serão adequados;
- Testes sucessivos com o reator após a finalização da montagem, validando os parâmetros dimensionados para os conjuntos de motores e redutores, ou indicando a necessidade de alteração destes parâmetros para atender aos requisitos do funcionamento adequado do reator.

Mesmo que o cronograma do trabalho e os resultados tenham sido afetados em função da pandemia, foi possível atingir os resultados de forma satisfatória.

## REFERÊNCIAS

ABRELPE, 2018, **PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL**, Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/>&gt;. Acesso 20 De mar. 2020.

AJMAL, Muhammad et al. Optimization of pilot-scale in-vessel composting process for various agricultural wastes on elevated temperature by using Taguchi technique and compost quality assessment. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 140, p. 34-45, 2020. Acesso em 02 Mar. 2021.

BRASIL / IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Contagem da População** 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/garopaba/panorama>. Acesso em: 03 mar. 2021.

BRASIL / IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Índice de Desenvolvimento Humano (IDH):** 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/pesquisa/37/0>. Acesso em: 03 mar. 2021.

BRASIL / IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Rendimento nominal mensal domiciliar per capita:** 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/panorama>. Acesso em: 03 mar. 2021.

BRASIL, **Política Nacional de Resíduos Sólidos**, Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a política nacional de resíduos sólidos. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2010. Acesso em 23 fev. 2021

BRASIL. (2020). Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. **Atualiza o marco legal do saneamento básico**. Brasília, DF, 15 jul. 2020.

CHIA, Wen Yi et al. Sustainable utilization of biowaste compost for renewable energy and soil amendments. **Environmental Pollution**, p. 115662, 2020. Acesso em 02 Mar. 2021.

COELHO, Vinicius Teixeira. **DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE UMA COMPOSTEIRA ELETRÔNICA PARA USO RESIDENCIAL**. Florianópolis: [s.n.], 2013. Disponível em: [http://www.professorpetry.com.br/Ensino/Defesas\\_Pos\\_Graduacao/Defesa41\\_Vinicius\\_Teixeira\\_Coelho\\_Desenvolvimento\\_de\\_um\\_Protótipo\\_de\\_uma\\_Composteira\\_Eletrônica\\_para\\_Uso\\_Residencial.pdf](http://www.professorpetry.com.br/Ensino/Defesas_Pos_Graduacao/Defesa41_Vinicius_Teixeira_Coelho_Desenvolvimento_de_um_Protótipo_de_uma_Composteira_Eletrônica_para_Uso_Residencial.pdf). Acesso em: 26 mar. 2020.

FERREIRA, Regis de Castro; FALEIRO, HELOINA TERESINHA; SOUZA, Renata Fonseca de. Desenho técnico. **Apostila de circulação interna da Escola de Agronomia e Eng. de Alimentos da Universidade Federal de Goiás**. Goiânia: UFG, 2008. Acesso em 02 fev. 2021

FIGUEIRA JÚNIOR, Edson Alves et al. Projeto industrial para aeração automática de leiras de compostagem orgânica. 2012. Acesso em 19 Mar. 2021

FORGIE, D.J.L.; **Selection of the Most Appropriate Leachate Treatment Methods: Part 1: A Review of Potential Biological Leachate Treatment Methods**. Water Quality Research Journal 1 May 1988; 23 (2): 308–328. Acesso em: 19 Mar 2021

GAROPABA. COLETA de lixo. Município de Garopaba, Garopaba, 2017. Acesso em: 28 fev. 2021.

GLOBAL REPAIR LTD., Compost Windrow Turner Model #509, jan 2021. Disponível em: <http://www.globalrepair.ca/509%20compost%20turner.htm>. Acesso em 25 Mar. 2021.

GOMES, Luciana Paulo et al. **Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. Acesso em 07 Mar. 2021

GOUVEIA, Nelson. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciênc. saúde coletiva**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 6, p. 1503-1510, June 2012. Acesso em 10 Mar. 2021.

KAZA, Silpa et al. **What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050**. World Bank Publications, 2018. Acesso em 26 fev. 2021

KJELDSEN, Peter; CHRISTOPHERSEN, Mette. Composition of leachate from old landfills in Denmark. **Waste Management & Research**, v. 19, n. 3, p. 249-256, 2001. Acesso em 16 Mar. 2021

MELO, Lucas Araújo de; SAUTTER, Klaus Dieter; JANISSEK, Paulo Roberto. Estudo de cenários para o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos de Curitiba. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, n. 4, p. 551-558, 2009. Acesso em: 19 Mar 2021.

MOREIRA, Ana Maria Maniero; DE LIMA CARVALHO, Lígia; GÜNTHER, Wanda M. Risso. Composteira experimental em ambiente institucional: instrumento de educação ambiental e busca da sustentabilidade. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 6, n. 12, 2010. Acesso em 13 fev. 2021

NOVID INCORPORATED, Novi-comp in-vessel composting, Disponível em: <https://novid.ca/in-vessel-composting/>, abr 2021. Acesso em : 11 Abr. 2021.

OLIVEIRA, Arlene Maria Gomes; DE AQUINO, A. M.; CASTRO NETO, Manoel T. de. Compostagem caseira de lixo orgânico doméstico. **Embrapa Agrobiologia-Circular Técnica** (INFOTECA-E), 2005. Acesso em 19 Mar. 2021.

PANDEY, Pramod K. et al. A new closed loop heating system for composting of green and food wastes. **Journal of cleaner production**, v. 133, p. 1252-1259, 2016. Acesso em 21 Jan 2021.

Palmisano, A. C., Maruscik, D. A., Ritchie, C. J., Schwab, B. S., Harper, S. R., & Rapaport, R. A. (1993). A novel bioreactor simulating composting of municipal solid waste. **Journal of Microbiological Methods**, 18(2), 99–112. [https://doi.org/10.1016/0167-7012\(93\)90026-E](https://doi.org/10.1016/0167-7012(93)90026-E)

PROSAB. **MANUAL PRÁTICO PARA A COMPOSTAGEM DE BIODSÓLIDOS**. Londrina: [s.n.], [s.d.]. Disponível em:

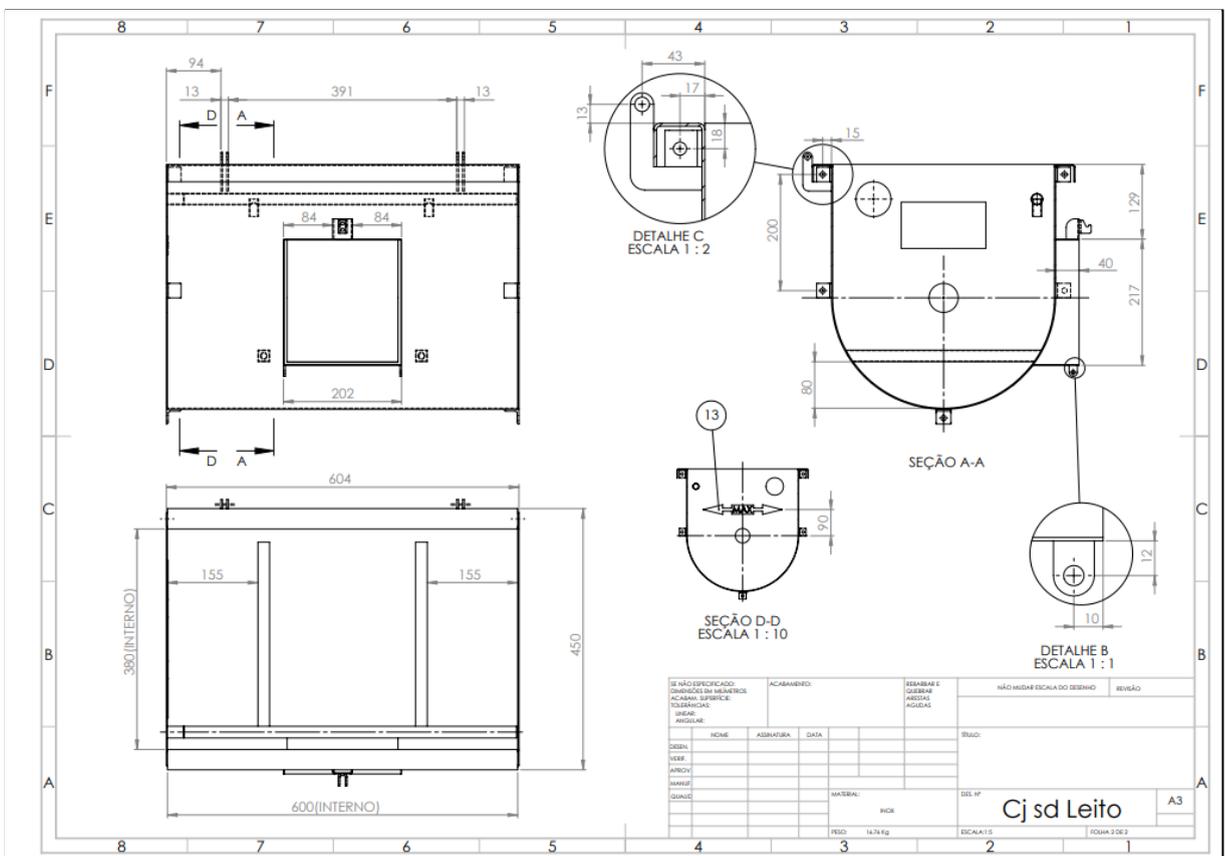
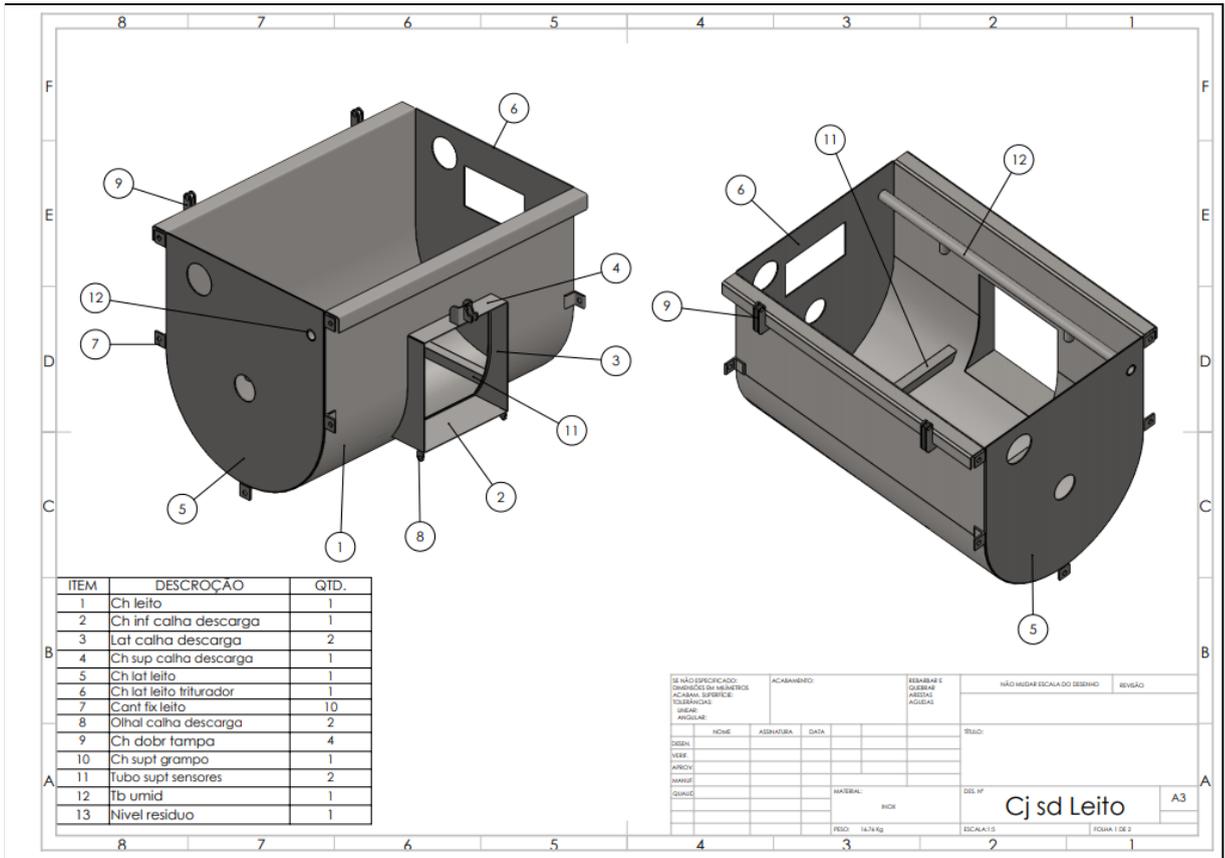
<[http://www.finep.gov.br/apoio-e-financiamento-externa/historico-de-programa/prosa\\_b/produtos](http://www.finep.gov.br/apoio-e-financiamento-externa/historico-de-programa/prosa_b/produtos)> . Acesso em: 25 mar. 2020.

SANTA CATARINA (Estado). **Plano estadual de resíduos sólidos de Santa Catarina**: contrato administrativo nº 12/2016. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável, Diretoria de Saneamento e Meio Ambiente. Florianópolis: SDS, 2018. Acesso em 15 Fev. 2021

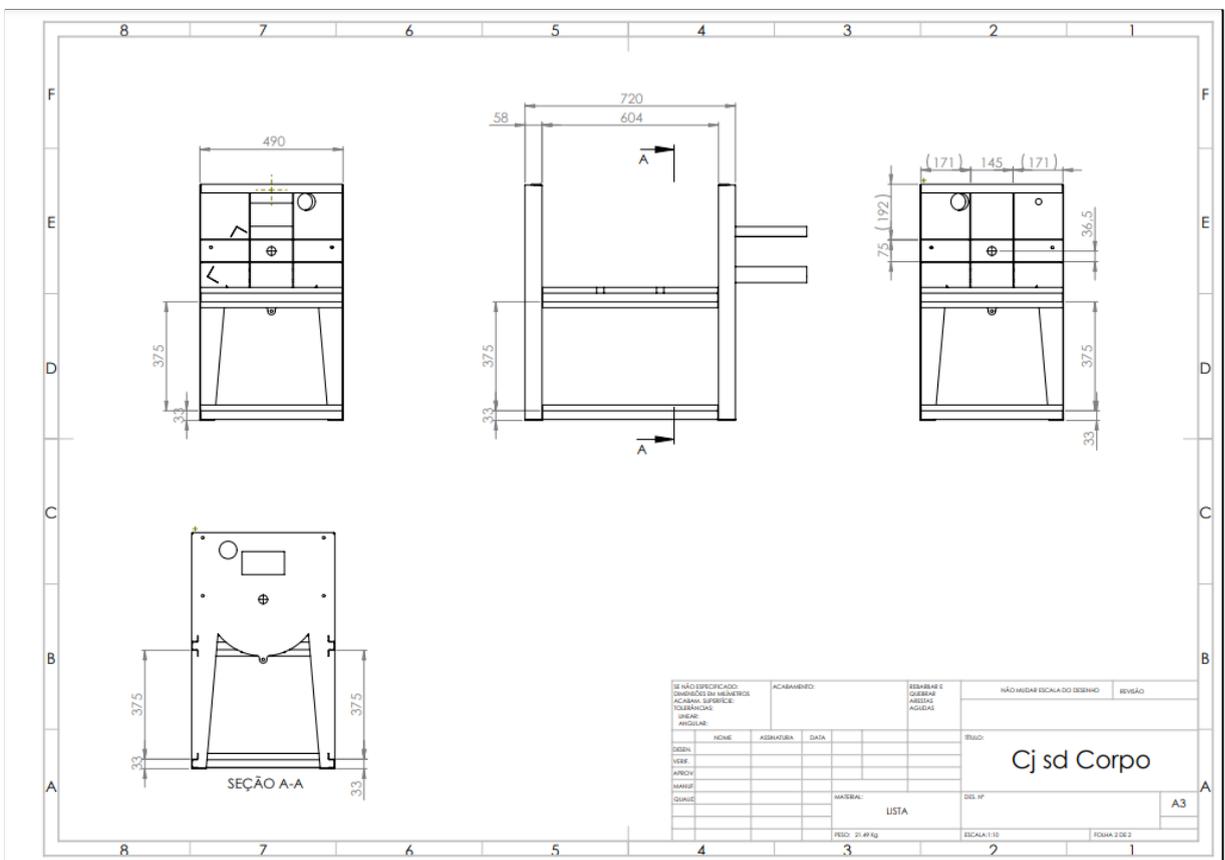
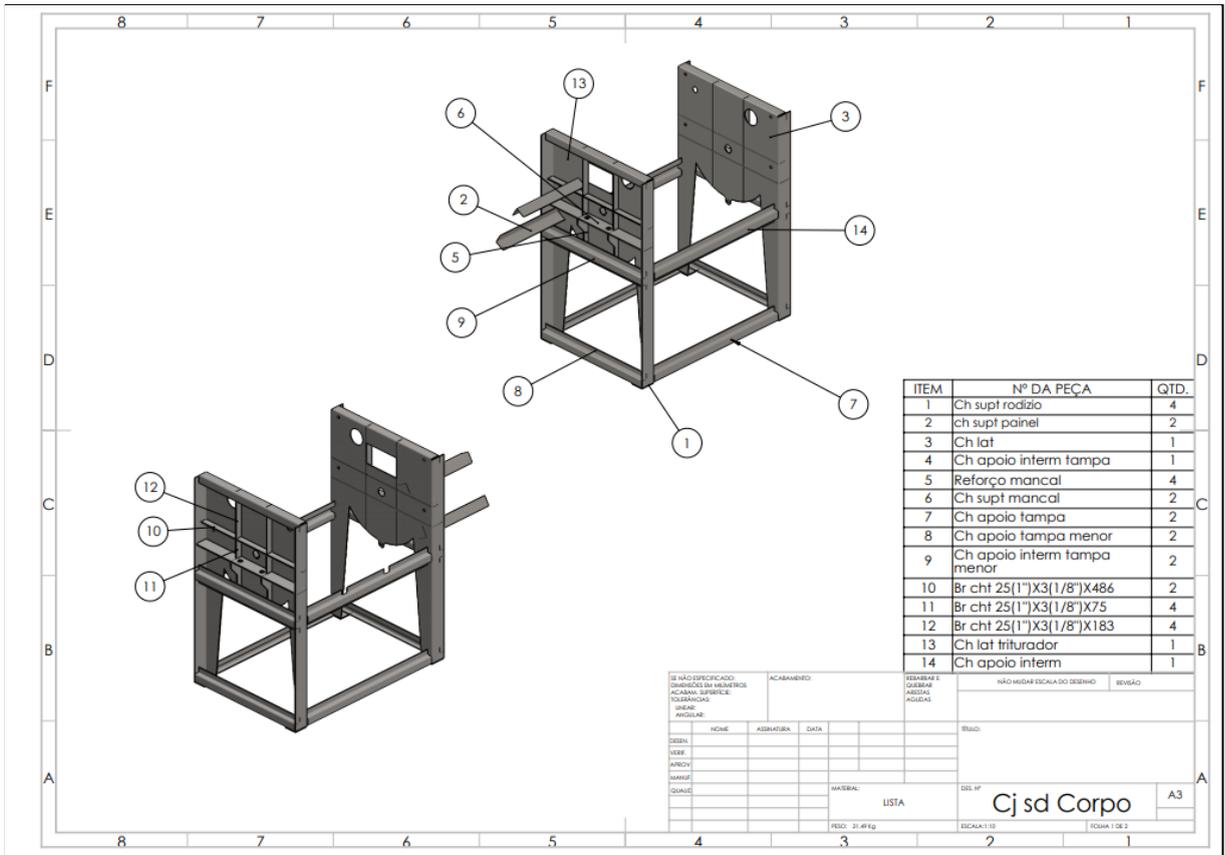
TEIXEIRA, Leopoldo Brito et al. Processo de compostagem, a partir de lixo orgânico urbano, em leira estática com ventilação natural. **Embrapa Amazônia Oriental-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2004. Acesso em 09 fev. 2021

WASTE ADVANTAGE MAGAZINE. Aerated Static Pile Composting, Disponível em: <https://wasteadvantagemag.com/organic-recycling-second-of-two-parts-the-15-benefits-of-aerated-static-pile-composting/>, jan 2016. Acesso em 25 Mar. 2021.

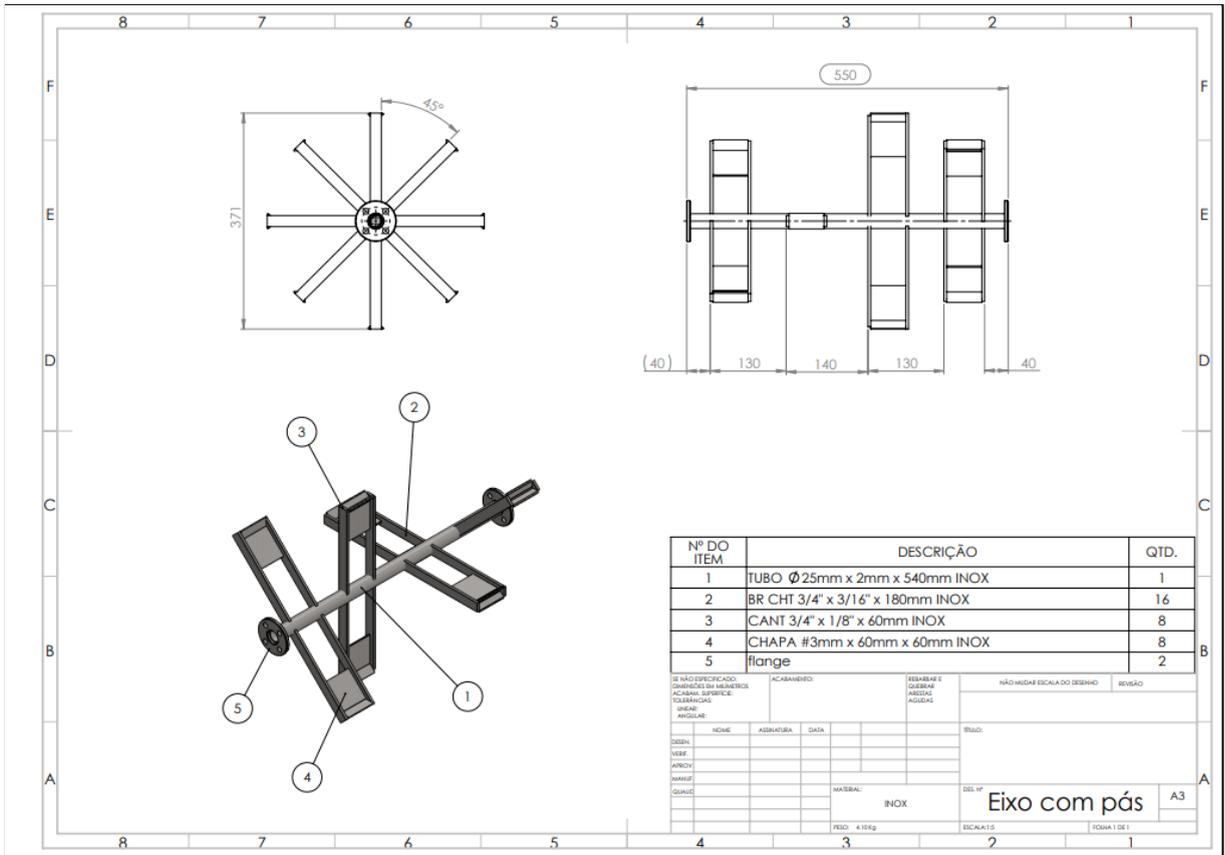
### APÊNDICE A – Conjunto do Leito do Reator



### APÊNDICE B – Conjunto do Corpo do Reator



### APÊNDICE C – Eixo com pás do Reator





### APÊNDICE E – Orçamento dos materiais

ITEM	DESCRIÇÃO	PESO (kg)	QTD	R\$/UNID (kg)	R\$
1	Olhal calha descarga	0,00	2	R\$ 88,20	R\$ 0,02
2	Pino dobr tampa	0,02	2	R\$ 56,70	R\$ 2,27
3	Nivel residuo	0,04	2	R\$ 88,20	R\$ 7,06
4	Ch supt grampo	0,04	1	R\$ 44,10	R\$ 1,76
5	Ch dobr tampa	0,04	4	R\$ 44,10	R\$ 7,06
6	Pá	0,05	8	R\$ 88,20	R\$ 35,28
7	Ch supt rodizio	0,07	4	R\$ 44,10	R\$ 12,35
8	Ch sup calha descarga	0,08	1	R\$ 88,20	R\$ 7,06
9	Ch pá	0,09	8	R\$ 88,20	R\$ 63,50
10	Lat calha descarga	0,10	2	R\$ 88,20	R\$ 17,64
11	Reforço mancal	0,10	4	R\$ 44,10	R\$ 17,64
12	Ch inf calha descarga	0,12	1	R\$ 44,10	R\$ 5,29
13	Haste da pá	0,13	16	R\$ 88,20	R\$ 183,46
14	flange	0,13	4	R\$ 88,20	R\$ 45,86
15	Ch supt mancal	0,18	2	R\$ 44,10	R\$ 15,88
16	Eixo movido	0,18	1	R\$ 88,20	R\$ 15,88
17	ch supt painel	0,19	2	R\$ 44,10	R\$ 16,76
18	Ch moldura tampa visualiz	0,19	1	R\$ 44,10	R\$ 8,38
19	Ch refç tampa	0,25	2	R\$ 44,10	R\$ 22,05
20	Tb umid	0,39	1	R\$ 88,20	R\$ 34,40
21	Tubo eixo	0,49	1	R\$ 88,20	R\$ 43,22
22	Eixo motor	0,54	1	R\$ 88,20	R\$ 47,63
23	Ch tampa visualiz	0,56	1	R\$ 44,10	R\$ 24,70
24	Ch apoio tampa menor	0,67	2	R\$ 44,10	R\$ 59,09
25	Ch apoio tampa	0,81	2	R\$ 44,10	R\$ 71,44
26	Ch apoio interm tampa menor	0,83	2	R\$ 44,10	R\$ 73,21
27	Ch apoio interm tampa	1,01	2	R\$ 44,10	R\$ 89,08
28	ch moldura tampa descarga	1,50	1	R\$ 44,10	R\$ 66,15
29	Ch leito	10,81	1	R\$ 88,20	R\$ 953,44
30	tampa	4,09	1	R\$ 44,10	R\$ 180,37
31	Ch lat	6,46	2	R\$ 44,10	R\$ 569,77
32	Arr esp trit	0,00	4	R\$ 44,10	R\$ 0,18
33	Ch esp eixo trit	0,10	14	R\$ 44,10	R\$ 61,74
34	Ch esp lat trit	0,22	14	R\$ 44,10	R\$ 135,83
35	Ch faca trit	0,34	14	R\$ 44,10	R\$ 209,92
36	Ch frontal trit	2,00	2	R\$ 56,70	R\$ 226,80
37	Ch lat trit	1,21	2	R\$ 44,10	R\$ 106,72
38	Ch prot engrenagens	0,29	1	R\$ 44,10	R\$ 12,79
39	Eixo motor trit	0,47	1	R\$ 56,70	R\$ 26,65
40	Eixo movido trit	0,39	1	R\$ 56,70	R\$ 22,11
41	Moega inf cj sd	1,00	1	R\$ 44,10	R\$ 44,10
42	Moega sup cj sd	1,00	1	R\$ 44,10	R\$ 44,10
43	Tampa trit	0,28	1	R\$ 44,10	R\$ 12,35

**AÇO / AÇO INOX**

ITENS AVULSOS	44	Rolamento simples de esferas 6003 ZZ	4	R\$ 14,00	R\$ 56,00
	45	Engr z40 m2	2	R\$ 98,00	R\$ 196,00
	46	Mancal UCP204	2	R\$ 32,00	R\$ 64,00
	47	Dobradiça	4	R\$ 20,00	R\$ 80,00
	48	Puxador menor	1	R\$ 10,00	R\$ 10,00
	49	Fecho rápido tampa visualiz	1	R\$ 15,00	R\$ 15,00
	50	borrachas de vedação	1	R\$ 5,00	R\$ 5,00
	51	MOTOREDUTOR 0,33 CV 4P REDUÇÃO 1:80	1	R\$ 1.426,00	R\$ 1.426,00
	52	MOTOREDUTOR 0,16 CV 4P REDUÇÃO 1:60	1	R\$ 1.052,00	R\$ 1.052,00
	53	Grampo de aperto rápido	1	R\$ 15,00	R\$ 15,00
	54	Tubo exaustão	1	R\$ 5,00	R\$ 5,00
	55	Ventilador Ø100	2	R\$ 75,00	R\$ 150,00
	56	Bico aspersor	2	R\$ 15,00	R\$ 30,00
	57	Luva bico umid	2	R\$ 15,00	R\$ 30,00
	58	Puxador	5	R\$ 10,00	R\$ 50,00
	59	Botão Emergência	1	R\$ 25,00	R\$ 25,00
	60	Lampada ind ligado	1	R\$ 10,00	R\$ 10,00
	61	Pistão	2	R\$ 10,00	R\$ 20,00
	62	Tela exhaust	2	R\$ 5,00	R\$ 10,00
	63	Sapata	4	R\$ 8,00	R\$ 32,00
	64	Solenóide 1-2 12v	1	R\$ 50,00	R\$ 50,00
	65	fecho rapido	2	R\$ 10,00	R\$ 20,00
	66	caixa comando	1	R\$ 150,00	R\$ 150,00
	67	debrum saida	1	R\$ 5,00	R\$ 5,00
68	Reducao 100 x 50	1	R\$ 5,00	R\$ 5,00	
69	luva 50 x 40	1	R\$ 5,00	R\$ 5,00	
70	mangueira	1	R\$ 50,00	R\$ 50,00	
71	Manta térmica	1	R\$ 900,00	R\$ 900,00	
72	Parafuso, porca, arruela...	1	R\$ 105,04	R\$ 105,04	
73	Eletrônica	1	R\$ 1.355,00	R\$ 1.355,00	
				TOTAL	R\$ 9.527,00