

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

THIAGO CASTRO CARVALHO

**PROPOSTA DE RETROFIT PARA UM EQUIPAMENTO DE RECICLAGEM DE
EMBALAGEM LONGA VIDA**

GUARAPUAVA

2023

THIAGO CASTRO CARVALHO

**PROPOSTA DE RETROFIT PARA UM EQUIPAMENTO DE RECICLAGEM DE
EMBALAGEM LONGA VIDA**

**RETROFIT PROPOSAL FOR A LONG-LIFE PACKAGING RECYCLING
EQUIPAMENT**

Trabalho de conclusão de curso de Graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica da Coordenação de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Henrique Ajuz Holzmann.

GUARAPUAVA

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

THIAGO CASTRO CARVALHO

**RETROFIT DE UMA MÁQUINA DE RECICLAGEM DE EMBALAGEM LONGA
VIDA**

Trabalho de conclusão de curso de Graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica da Coordenação de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 05 de dezembro de 2023.

Henrique Ajuz Holzmann
Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Guarapuava

André Luiz Soares
Doutor em Engenharia de Produção
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Guarapuava

Luiz Fernando Rigatti
Doutor em Engenharia Mecânica
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Guarapuava

GUARAPUAVA

2023

Dedico este trabalho aos meus pais, Nilson e Maria,
pois deram-me suporte incondicional em toda minha trajetória acadêmica.
São alicerce da minha vida e dos meus princípios éticos e morais.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos não só que contribuíram diretamente para esse estudo, mas a todas as pessoas que de alguma forma, contribuíram com a minha formação acadêmica como um todo.

Aos meus pais Nilson Costa Carvalho e Maria Cristina Trevisan de Castro por todo o suporte incondicional em toda minha trajetória acadêmica, sem eles nada seria possível. Sou integralmente grato por tudo, tenho vocês como referência desde o princípio da minha formação como ser humano. Tenho orgulho de ser filho de grandes seres humanos como vocês.

À toda minha grande família que fez parte de muitos momentos especiais, e confortou-me durante todos os finais de ano em que pude voltar para minha cidade natal, todos vocês são muito especiais para mim.

A minha melhor amiga e companheira Alessandra Sakuramoto, agradeço por me apoiar e estar comigo independente da situação, e por se fazer presente em um dos momentos mais difíceis de minha vida, com certeza, sua presença durante o período pandêmico foi essencial para que eu não desistisse de meus sonhos e objetivos.

Ao Veggie que se fez presente desde o início da minha jornada acadêmica, me confortando e trazendo paz em momentos de solidão, e à Penny que completou a família com sua alegria. Juntos trazendo momentos de amor e bagunça para minha vida.

Ao meu professor orientador Henrique Holzmann por todo o auxílio prestado na execução deste estudo, e por toda atenção durante o desenvolvimento do projeto, muito obrigado.

À banca de avaliadores por aceitar fazer parte deste momento tão especial.

Ao meu grupo de amigos Cringe Groups que foram fundamentais durante minha jornada, proporcionando sempre uma boa companhia, boas risadas, e ótimas noites de jogatinas, “Amigões diff”.

A todas as organizações que fiz parte durante minha jornada acadêmica, em especial a Bateria Lobatuque que se fez presente desde o início, sendo a primeira família a me acolher em Guarapuava. À Actus EJ, Atlético Lobo, DCE e Comissão dos animais.

Ao senhor Manuel, responsável pela confecção do equipamento e disponibilização para ser objeto desse estudo, espero que eu tenha contribuído entregando o melhor que pude fazer nesse trabalho.

A todos os amigos que colecionei durante minha vida e minha jornada acadêmica que sem dúvidas contribuíram para minha formação como ser humano.

Aos meus colegas de trabalho de estágio que contribuíram com minha formação profissional, me proporcionando um grande aprendizado prático dos conceitos vistos durante o curso e fazendo o ambiente de trabalho ser mais leve.

Por fim, mas não menos importante. A toda a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, seus professores e seus servidores. Sou imensamente grato a todos vocês.

Viva a educação pública e de qualidade!

“A natureza pode suprir todas as necessidades do
homem, menos a sua ganância.”.
(GANDHI, ANO DESCONHECIDO).

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo realizar a proposta de *retrofit* de um equipamento de reciclagem de embalagens longa vida. Posto isso, apresenta as embalagens que dispõem de um processo de reciclagem complexo devido a sua composição em camadas, mas que trazem inúmeros benefícios para as indústrias, e apresenta também o grande impacto ambiental causado, caso seu descarte seja feito de maneira incorreta, assim como o impacto ambiental causado pela geração dos resíduos sólidos urbanos como um todo. Deste modo, o processo de reciclagem dessas embalagens tem suma importância e para que esse processo seja feito de forma eficiente, os equipamentos usados na reciclagem também precisam ser eficientes. Assim, através da engenharia reversa e da coleta de medidas *in loco*, foi possível realizar a modelagem tridimensional do desagregador e da formadora. Fundamentado na literatura, na experiência obtida durante o curso, e no *benchmark* realizado para direcionar o processo de desenvolvimento de melhorias, realizou-se o apontamento dos pontos de melhoria de construção e a proposta de *retrofit*, finalizando com a modelagem tridimensional bem-sucedida da nova proposta.

Palavras-chave: desagregador; embalagem; formadora; retrofit.

ABSTRACT

This work aims to propose the retrofit of long-life packaging recycling equipment. In doing so, it presents packaging materials that undergo a complex recycling process due to their multilayer composition. Despite the complexity, these materials offer numerous benefits to industries. The work also highlights the significant environmental impact resulting from incorrect disposal of these packages and the broader environmental consequences of urban solid waste generation. Therefore, the recycling process for these packages is of utmost importance. For this process to be efficient, the recycling equipment must also be effective. Through reverse engineering and on-site measurements, the three-dimensional modeling of the hidrapulper and the former was successfully achieved. Drawing from literature, coursework experience, and benchmarking conducted to guide the development process, construction improvement point was identified, and a retrofit proposal was formulated. The process concludes with the successful three-dimensional modeling of the new proposal.

Keywords: hidrapulper; packaging; former; retrofit.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Geração de Resíduos Per Capita em 2016..... | 10 |
| Figura 2 - Recicláveis secos recuperados em 2020..... | 12 |
| Figura 3 – Materiais reciclados através da logística reversa em 2022 | 12 |
| Figura 4 - Disposição das camadas da embalagem longa vida asséptica..... | 13 |
| Figura 5 – a) Sacola produzida de papel reciclado b) Kit de brindes corporativos produzidos de papel reciclado c) Móvel produzido de papel reciclado..... | 15 |
| Figura 6 – <i>Drum pulper</i> | 15 |
| Figura 7 – <i>Hidrapulper</i> | 16 |
| Figura 8 – Rotores para sistemas de desagregação com baixa, média e alta consistência..... | 17 |
| Figura 9 – Formadora de papel industrial | 18 |
| Figura 10 – Diagrama de etapas do processo de reciclagem das embalagens longa vida..... | 20 |
| Figura 11 – a) <i>Hidrapulper</i> Hergen b) Rotores Hergen..... | 22 |
| Figura 12 - Componentes do desagregador Metal Service..... | 23 |
| Figura 13 - Desagregador em funcionamento | 23 |
| Figura 14 - Diferenças de fluxo do modelo "O" e "D" | 24 |
| Figura 15 - Relação de dimensões..... | 24 |
| Figura 16 - Desagregador Leizhan..... | 25 |
| Figura 17 - Rotores e peneiras | 26 |
| Figura 18 - Desagregador "D" | 27 |
| Figura 19 - Desagregador e tanque formador – vista 1..... | 28 |
| Figura 20 - Desagregador e tanque formador - vista 2..... | 28 |
| Figura 21 - Vista em corte do desagregador..... | 29 |
| Figura 22 - Formadora de papel | 30 |
| Figura 23 – Detalhes da formadora..... | 31 |
| Figura 24 – <i>Retrofit</i> do desagregador..... | 41 |
| Figura 25 - <i>Retrofit</i> da aleta | 41 |
| Figura 26 – <i>Retrofit</i> do rotor | 42 |
| Figura 27 – <i>Retrofit</i> da peneira..... | 43 |

| | |
|--|-----------|
| Figura 28 – <i>Retrofit</i> do apoio do motor e proteção da correia | 44 |
| Figura 29 – <i>Retrofit</i> do pé de apoio | 44 |
| Figura 30 – <i>Retrofit</i> da parte superior da formadora..... | 45 |
| Figura 31 – <i>Retrofit</i> do tanque da formadora..... | 46 |
| Figura 32 – <i>Retrofit</i> do sistema – vista 1 | 46 |
| Figura 33 – <i>Retrofit</i> do sistema – vista 2..... | 47 |
| Fotografia 1 – a) Tela na formadora b) Papel formado..... | 30 |
| Fotografia 2 – a) Desagregador – vista 1 b) Desagregador – vista 2 | 32 |
| Fotografia 3 – Interior do tanque | 33 |
| Fotografia 4 – a) Rotor - vista 1 b) Rotor - vista 2..... | 34 |
| Fotografia 5 – a) Tambor b) Tambor dentro do desagregador | 35 |
| Fotografia 6 – Fixação da mangueira com arames | 35 |
| Fotografia 7 – a) Fixação do motor b) Partes móveis | 36 |
| Fotografia 8 – Chaveta..... | 37 |
| Fotografia 9 – Parte superior da formadora..... | 38 |
| Fotografia 10 – a) Tanque da formadora b) Interior do tanque | 39 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Faixas de geração média de resíduos por região em 2016..... | 10 |
| Tabela 2 – <i>Hidrapulper Standard</i> | 25 |
| Tabela 3 – Especificações <i>hidrapulper</i> Leizhan | 25 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------|---|
| 2D | Bidimensional |
| 3D | Tridimensional |
| ABRELPE | Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais |
| CAD | Desenho assistido por computador |
| CEMPRE | Compromisso Empresarial para Reciclagem |
| DIN | Instituto Alemão para Normatização |
| IPLA | <i>International Partnership for Local Authorities</i> |
| ISWA | <i>International Solid Waste Association</i> |
| NBR | Norma Brasileira |
| NR | Norma Regulamentadora |
| RSU | Resíduos sólidos urbanos |
| SNIS | Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento |
| UTFPR | Universidade Tecnológica Federal do Paraná |

SUMÁRIO

| | | |
|----------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 7 |
| 1.1 | Objetivo geral..... | 8 |
| 1.2 | Objetivos específicos..... | 8 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 7 |
| 2.1 | Dados de reciclagem..... | 9 |
| 2.2 | Composição das embalagens longa vida..... | 13 |
| 2.3 | Processos de separação e reciclagem..... | 15 |
| 2.4 | Modelagem 3D..... | 20 |
| 3 | DESENVOLVIMENTO DA PROPOSTA..... | 22 |
| 3.1 | <i>Benchmark</i> de equipamentos semelhantes..... | 22 |
| 3.2 | Apresentação do processo..... | 27 |
| 3.3 | Detalhamento dos componentes e pontos de melhoria de construção | 31 |
| 3.3.1 | Desagregador..... | 31 |
| <u>3.3.1.1</u> | <u>Tanque.....</u> | <u>32</u> |
| <u>3.3.1.2</u> | <u>Aletas.....</u> | <u>33</u> |
| <u>3.3.1.3</u> | <u>Rotor.....</u> | <u>33</u> |
| <u>3.3.1.4</u> | <u>Peneira.....</u> | <u>34</u> |
| <u>3.3.1.5</u> | <u>Suporte do motor e correia.....</u> | <u>36</u> |
| <u>3.3.1.6</u> | <u>Chaveta.....</u> | <u>36</u> |
| 3.3.2 | Formadora..... | 37 |
| <u>3.3.2.1</u> | <u>Parte superior.....</u> | <u>37</u> |
| <u>3.3.2.2</u> | <u>Tanque.....</u> | <u>38</u> |
| 3.4 | Propostas do <i>retrofit</i>..... | 39 |
| 3.4.1 | Desagregador..... | 39 |
| <u>3.4.1.1</u> | <u>Tanque.....</u> | <u>39</u> |

| | |
|--|-----------|
| 3.4.1.2 Aletas | 41 |
| 3.4.1.3 Rotor..... | 42 |
| 3.4.1.4 Peneira | 42 |
| 3.4.1.5 Suporte do motor e correia..... | 43 |
| 3.4.1.6 Chaveta | 44 |
| 3.4.1.7 Pé de apoio | 44 |
| 3.4.2 Formadora..... | 45 |
| 3.4.2.1 Parte superior..... | 45 |
| 3.4.2.2 Tanque | 45 |
| 3.4.3 Sistema completo | 46 |
| 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 49 |
| REFERÊNCIAS..... | 49 |
| APÊNDICE A – Folhas de desenho do equipamento | 54 |
| APÊNDICE B – Folhas de desenho do retrofit do equipamento | 59 |

1 INTRODUÇÃO

A sustentabilidade e a responsabilidade com as questões ambientais têm sido um dos assuntos principais nas discussões mundiais, pois com o aumento populacional, há conseqüentemente o aumento da industrialização e do consumo, resultando em uma maior produção de resíduos sólidos urbanos (RSU). Com o aumento nos resíduos, há uma maior necessidade de um planejamento e de um desenvolvimento sustentável, onde a reciclagem tem suma importância, pois os recursos naturais são finitos e seu uso é limitado.

Tetra Pak é a empresa destaque na fabricação de embalagens para alimentos líquidos, desenvolvendo uma embalagem cartonada em forma de tetraedro, que inspirou o nome da empresa (TETRA PAK, 2008). Atualmente, o termo “embalagem Tetra Pak” na linguagem informal, virou sinônimo de embalagem cartonada, que também é chamada de longa vida ou multicamadas. No ano de 2021 foram vendidas 192 bilhões de embalagens Tetra Pak no mundo, onde 50 bilhões foram coletadas e enviadas e reciclagem (TETRA PAK, 2022). No Brasil, neste mesmo ano, cerca de 100 mil toneladas de embalagens longa vida foram direcionadas para a reciclagem, e de acordo com a associação Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE) o percentual total dessas embalagens recicladas no Brasil em 2021 foi de 35,9% (TETRA PAK, 2022 e CEMPRE, 2023).

O processo de reciclagem desse tipo de embalagem é complexo devido a sua composição, pois são constituídas de papel, polietileno (plástico) e alumínio, estruturados em multicamadas, que aumentam a capacidade de conservação dos alimentos, mantendo o baixo custo, o que as valorizam na indústria alimentícia, fazendo com que essas embalagens ganhem cada vez mais espaço nas prateleiras dos mercados. Segundo CEMPRE (2023) esse processo de reciclagem acontece em duas etapas, primeiramente é retirado o papel e posteriormente ocorre o tratamento do polietileno junto ao alumínio, podendo ser reciclados de diversas maneiras diferentes.

Inúmeras vantagens são dispostas à indústria com a utilização de embalagens cartonadas, porém, apenas 35,9% delas foram recicladas em 2021 (CEMPRE, 2023). Este baixo índice de reciclagem ainda é um problema, pois caso não seja feito o descarte correto, o impacto ambiental é extremamente elevado, visto que o período de decomposição desses materiais na natureza é longo. Em 2005 a *Consumers*

International juntamente com o Ministério do Meio Ambiente, Ministério da Educação e o Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor, fizeram uma adaptação do *Manual de educación en consumo sustentable*, onde afirma que o tempo de decomposição do papel é de 3 a 6 meses, do alumínio mais de 200 anos, e do plástico mais de 400 anos (BRASIL, 2005).

No processo de separação do papel, as embalagens cartonadas são colocadas em um equipamento chamado *hidrapulper*, ou desagregador, análogo a um liquidificador gigante. No processo as fibras de papel são hidratadas, separando-as do laminado restante (alumínio + plástico) pela agitação em uma solução aquosa e sem produtos químicos, logo após, as fibras são purificadas e pode-se dar sequência ao ciclo da reciclagem do papel (MARTINS, 2013), a formação do papel, que esse dá num equipamento denominado de formadora, por fim, ocorre a etapa de secagem.

Desta forma, esse trabalho busca realizar a proposta de um *retrofit*¹ de um equipamento de reciclagem das embalagens cartonadas, que realiza a separação da fibra de papel dos materiais remanescentes, e a confecção da folha de papel reciclado, produto deste ciclo de reciclagem.

1.1 Objetivo geral

Propor o *retrofit* no desagregador e na formadora de um equipamento de produção de papel cartão através da reciclagem de embalagens longa vida.

1.2 Objetivos específicos

- Realizar a engenharia reversa dos equipamentos de reciclagem;
- Coletar medidas dos equipamentos;
- Executar modelagem tridimensional (3D) dos equipamentos de reciclagem;
- Realizar uma pesquisa de mercado de máquinas semelhantes;
- Apontar os pontos de melhoria de construção;
- Propor melhorias nos equipamentos para otimização do processo;
- Aplicar as melhorias na modelagem tridimensional.

¹ Define-se “retrofit” como “colocar novas peças ou equipamentos depois de algum tempo de uso, especialmente para melhorar sua segurança e seu funcionamento” (Collins COBUILD Advanced Learner’s Dictionary, 2023).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Dados de reciclagem

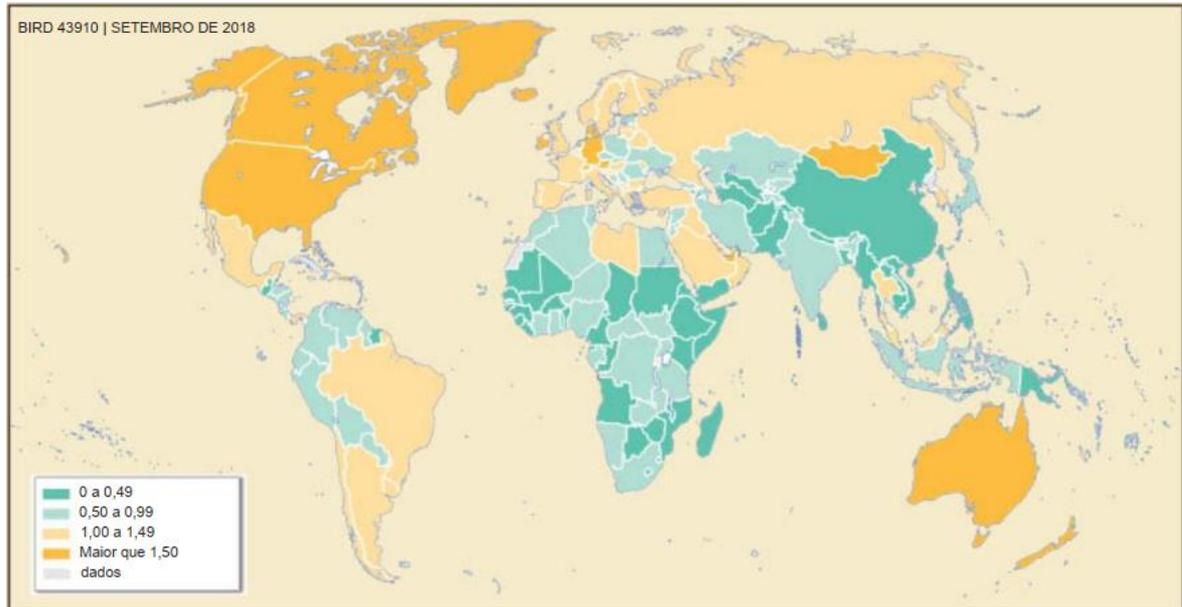
A Norma Brasileira (NBR) 10004:2004 define os resíduos sólido como sendo resíduos, no estado sólido ou semissólido, resultantes de fontes industriais, domésticas, hospitalar, comercial, agrícola e de serviços de varrição (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004). A Lei Federal nº 12.305 de 2010 instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, onde em seu Artigo 13 classifica os RSU como sendo resíduos domiciliares e de limpeza urbana, os domiciliares são aqueles originários de atividades domésticas em residências urbanas, e os resíduos de limpeza urbana, são aqueles originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas, dentre outros serviços de limpeza urbana (BRASIL, 2010).

A Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) é uma associação voltada ao mercado de gestão de resíduos, conquistou a representação da *International Solid Waste Association* (ISWA) no Brasil, sendo sede da Secretaria Regional para a América do Sul da *International Partnership for Local Authorities* (IPLA) (ABRELPE, 2023). Desde 2013 a ABRELPE publica anualmente o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil trazendo os dados atuais sobre a gestão de RSU no país, a última publicação traz dados referentes ao ano de 2022, onde apesar de trazer uma curva regressiva se comparado a 2021, ano em que a pandemia do COVID-19 estava em seu auge (as pessoas encontravam-se em uma situação de isolamento social, respectivamente gerava-se mais resíduos domésticos), os números ainda são expressivos. No ano de 2022 gerou-se um total de 81,8 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos, correspondendo a 224 mil toneladas diárias, com uma média per capita de 1,043 kg (ABRELPE, 2022).

O *What a Whast* agrega dados sobre a gestão dos resíduos sólidos no mundo em um relatório publicado pelo Banco Mundial, o relatório mais atual é o *What a Whast 2.0* publicado em 2018 trazendo dados relativos a 2016. Segundo esse relatório e como mostra a Figura 1, o Brasil se enquadra na faixa de produção de 1,00 a 1,49 kg de RSU gerados per capita por dia, o que é superior à média estimada para 2016 de 0,74 kg per capita por dia (KAZA *et al.*, 2018). Ainda, segundo a ABRELPE (2016) o

número exato de geração de RSU per capita por dia no Brasil nesse mesmo ano foi de 1,04 kg.

Figura 1 - Geração de Resíduos Per Capita em 2016



Fonte: Adaptado Kaza *et al.*, (2018)

A Tabela 1 traz a média da geração de resíduos per capita mundial separadas por faixas regionais, onde mais uma vez, no índice “América Latina e Caribe” cujo Brasil está inserido, ele se encontrava acima da média, que é de 0,99 kg per capita ao dia.

Tabela 1 - Faixas de geração média de resíduos por região em 2016

| Região | Média de 2016 |
|---------------------------------|---------------|
| África Subsaariana | 0,46 |
| Ásia Oriental e Pacífico | 0,56 |
| Ásia Meridional | 0,52 |
| Médio Oriente e Norte da África | 0,81 |
| América Latina e Caribe | 0,99 |
| Europa e Ásia Central | 1,18 |
| América do Norte | 2,21 |

Fonte: Adaptado Kaza *et al.*, (2018)

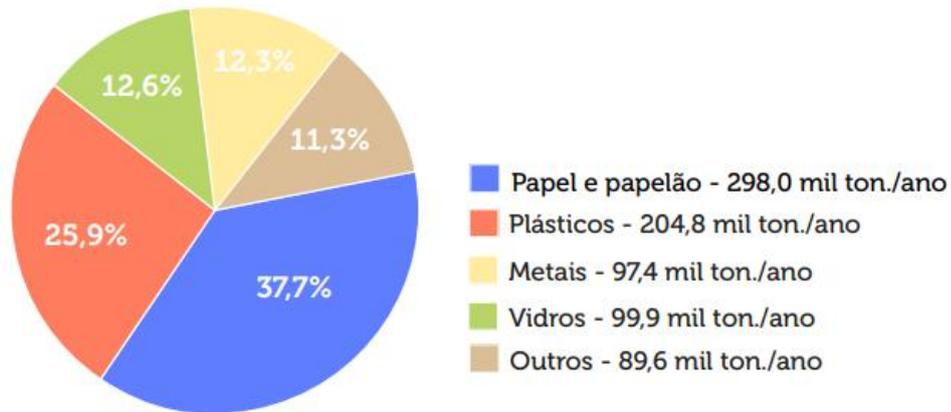
Comparando os dados de 2016 e 2022 mostrados, o Brasil se manteve quase igual em relação a quantidade de RSU per capita por dia, o aumento foi de aproximadamente 0,29%, mas apesar de ter tido um crescimento pequeno, ainda é um resultado expressivo, pois vale destacar que a população também vem aumentando durante os anos. A quantidade de RSU gerada em 2016 no Brasil segundo a ABRELPE (2016) foi de 78,3 milhões de toneladas, ou seja, 2022 demonstrou um aumento de aproximadamente 4,28%, um aumento mais significativo.

Apesar de uma geração expressiva de RSU, em 2022 o Brasil teve 61% (46,6 milhões de toneladas) desses resíduos encaminhados à destinação ambientalmente adequada. Por outro lado, 39% (29,7 milhões de toneladas) desses resíduos tiveram uma destinação inadequada, incluindo aterros controlados e lixões que ainda seguem operando em todo o país (ABRELPE, 2022).

O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) é o maior e mais importante sistema de informações do setor de saneamento do país (BRASIL, 2022a), ele coleta dados de serviços de limpeza urbana e manejo dos RSU anualmente, e os disponibiliza. O último Diagnóstico Temático: Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos publicado até o momento refere-se ao ano de 2020, esta edição contemplou 82,4% dos 5570 municípios de Brasil. Com uma aproximação para contemplar todos os municípios, o SNIS estimou a recuperação de 1,07 milhão de toneladas/ano de massa de recicláveis sólidos secos no Brasil em 2020, o que representa 5,3% do total potencialmente recuperável. (BRASIL, 2022a e BRASIL, 2022b).

Em 1377 municípios o SNIS trouxe dados com a identificação da composição desses reciclados, esses dados não representam o país como um todo, mas apresenta uma boa estimativa média para tal. Os dados estão apresentados na Figura 2.

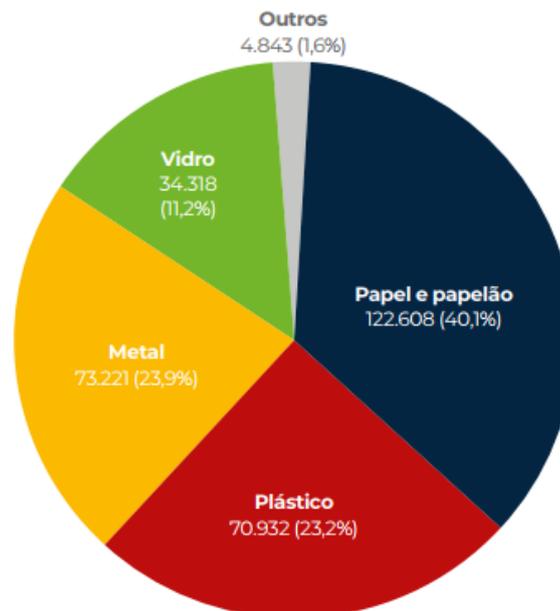
Figura 2 - Recicláveis secos recuperados em 2020



Fonte: BRASIL (2022b)

Os dados da Figura 3 são da Central de Custódia da Logística Reversa de Embalagens referentes ao ano de 2022 com resultados até o mês de novembro, esses dados são mostrados pela ABRELPE no Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2022. Diferentemente da Figura 2, estes dados mostram o total de materiais reciclados somente pelos programas de logística reversa de embalagens em geral, programas fundamentais da reciclagem e que trazem grandes resultados (BRASIL, 2022b).

Figura 3 – Materiais reciclados através da logística reversa em 2022



Fonte: Central de Custódia da Logística Reversa de Embalagens 2022 apud ABRELPE (2022).

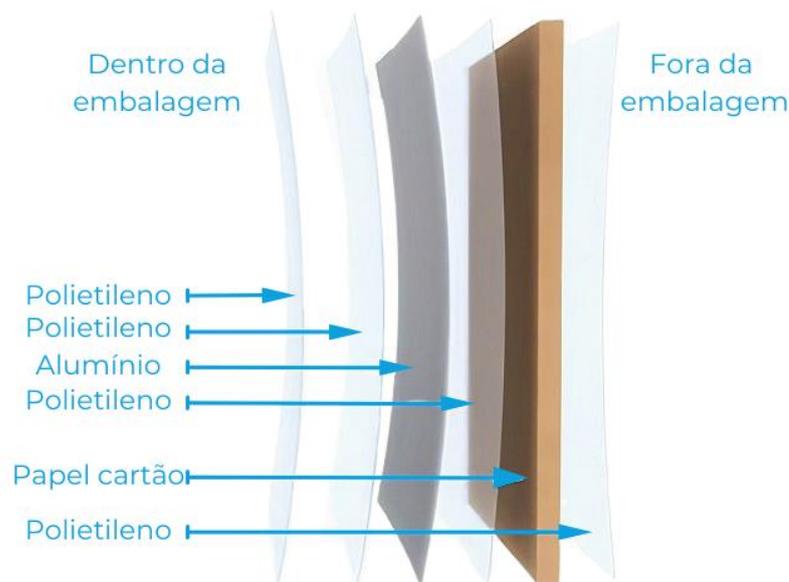
A partir dos números da geração de RSU no Brasil, fica clara a real necessidade da conscientização e da reciclagem no mundo contemporâneo, pois quanto maior a população, conseqüentemente, maior será a produção de resíduos

gerados. Analisando as Figuras 2 e 3, observava-se que, apesar de retratarem diferentes anos, a proporção entre os materiais tende a se manter aproximada a menos que ocorram mudanças significativa no cenário de embalagens. É evidente que, em ambos os casos, o material de maior relevância nessa proporção é o papel/papelão, portanto, o papel/papelão é um ponto chave neste estudo. Ainda, 3 das 4 categorias de materiais definidos se fazem presentes na composição das embalagens longa vida.

2.2 Composição das embalagens longa vida

As embalagens longa vida tem a disposição das camadas representadas na Figura 4, podendo variar de acordo com o portfólio de embalagens e seus fornecedores. Na embalagem existem quatro camadas de polietileno, uma camada de alumínio e uma camada mais robusta de papel-cartão.

Figura 4 - Disposição das camadas da embalagem longa vida asséptica



Fonte: Adaptado de Tetra Pak (2023)

O papel-cartão representa 75% do peso total da embalagem, sendo o principal componente a formá-las, tendo a função de proporcionar estabilidade, resistência e suavidade para a superfície de impressão. O polietileno de baixa densidade representa 20% do peso e proporciona proteção contra umidade externa além de permitir que a folha de alumínio grude no papel-cartão, já o alumínio que é a matéria-prima menos presente, representando 5% do peso, tem a função de proteger da luz e

do oxigênio, o alimento contido na embalagem, garantindo que o valor nutricional e o sabor estejam inalterados em temperaturas ambientes (TETRA PAK, 2023 e UEMURA, 2017).

As funcionalidades dos materiais presentes na embalagem fazem com que se crie uma barreira física, impedindo não só a entrada da luz, mas do ar, de umidade, de odores externos, e microrganismos, preservando além do sabor e valor nutricional, o aroma dos alimentos contidos na embalagem. Além disso, faz com que se dispense o uso de conservantes e de refrigeração, reduzindo os custos referentes a energia elétrica necessária no armazenamento, e no transporte com caminhões frigoríficos (CEMPRE, 2022). Muitas empresas além da Tetra Pak produzem embalagens longa vida assépticas, como por exemplo a Sig Combibloc, Mondi, Uflex, Elopak etc.

Os processos de reciclagem das embalagens longa vida são complexos, pois as mesmas não podem ser recicladas de maneira direta, sendo necessário um tratamento do material para que o laminado (polietileno e alumínio) se separe das fibras de papel, permitindo então a continuidade do processo de reciclagem. Segundo Robertson (2021) como o papel cartão constitui 75% do peso total das embalagens longa vida, a recuperação desse material tem sido foco principal da reciclagem dessas embalagens, assim como é o foco do presente trabalho.

Os produtos da reciclagem dessas embalagens são os mais diversos, do laminado remanescente de polietileno e alumínio são fabricados telhas, forros, tapumes, formas de cimento para construção civil, confecções de móveis, dentre outras utilidades. O papel que resta ao fazer a separação das fibras é comumente usado para fazer papel reciclado, porém esse não é o único produto que pode ser feito. A Figura 5 mostra alguns desses produtos, como por exemplo, sacola de papel, brindes corporativos, e se o papel for concebido com uma camada espessa, até mesmo móveis podem ser feitos. Ou seja, os produtos são muito versáteis, sua concepção depende das propriedades físicas do papel formado e da criatividade.

Figura 5 – a) Sacola produzida de papel reciclado b) Kit de brindes corporativos produzidos de papel reciclado c) Móvel produzido de papel reciclado



Fonte: a) SOARES (2016) b) WIBBELT (2011) c) ALVES (2017)

2.3 Processos de separação e reciclagem

Os primeiros sistemas e tecnologias implementados para a reciclagem das camadas da embalagem longa vida foram baseadas no *drum pulper* (Figura 6) que é um desagregador centrífugo horizontal, tendo ciclo contínuo, ou seja, as embalagens são inseridas de maneira constante, e a polpa de papel é retirada de forma contínua, o laminado restante é retirado ao final do sistema. Por assumir uma posição horizontal, esse equipamento necessita de uma grande área para sua instalação, além de um alto investimento inicial (NEVES, 2004).

Figura 6 – Drum pulper



Fonte: Andritz (2023)

Outro método é o vertical, que necessita de um menor investimento, e de uma menor área de instalação, esse é o método denominado de *hidrapulper*, ou desagregador, mostrado na Figura 7, que segundo Robertson (2021), é chamado assim devido as forças hidráulicas que agem durante a polpação. Esses *hidrapulpers* são equipamentos cilíndricos que funcionam com o mesmo princípio de um liquidificador, em sua base há um rotor que ajuda na desagregação das fibras de papel das camadas de plástico e alumínio, agitando mecanicamente a solução aquosa, fazendo com que haja a transformação da solução aquosa em uma polpa homogênea de água e papel, apenas restando o laminado de polietileno e alumínio na forma sólida. Segundo Martins (2013), esse é o método mais utilizado para reciclagem por via úmida.

Figura 7 – Hidrapulper



Fonte: Hergen (2023a)

Segundo Massucato (2012) esse equipamento pode ser de baixa (4% a 6%), média (8% a 12%) ou alta consistência (15% a 19%) a depender do rotor escolhido, mostrados na Figura 8. Essa consistência significa que, para a quantidade de água que se tem no tanque, é necessário que se tenha essa porcentagem de material seco. O tempo médio necessário a desagregação é de 30 a 40 minutos para que as fibras contidas na embalagem se soltem e fiquem suspensas (NEVES, 1999).

O tipo de rotor utilizado em um processo de fabricação de papel é um fator importante para determinar a qualidade da fibra resultante, influenciando nas características finas do papel (NEVES, 1999).

No processo de alta consistência, o material fibroso é desagregado de forma mais abrangente, o que pode ser uma desvantagem, pois é necessário reduzir a consistência para descarregar o hidrapulper. Já no processo de baixa consistência, há uma maior tendência ao corte e à redução das fibras, o que afeta as características do papel. No entanto, esse processo tem a vantagem de ser mais fácil de extrair o material fibroso (NEVES, 1999).

Além disso, o tipo de desagregação também influencia a capacidade de reciclagem da fibra. Rotores com cortes devem ser evitados, pois podem cortar e reduzir o polietileno com alumínio, que acaba passando pelos furos da peneira, que variam de 4 a 12 mm (NEVES, 1999 e NEVES, 2004). Os tipos de rotores são mostrados na Figura 8.

Figura 8 – Rotores para sistemas de desagregação com baixa, média e alta consistência



Fonte: Fernando Luiz Neves (2004)

A separação das fibras é feita no próprio desagregador após a desagregação. O material fibroso misturado à água é retirado por bombeamento pela parte inferior, passando pela peneira que evita a passagem do alumínio e do polietileno, enquanto o material fibroso continua no processo de reciclagem (NEVES, 1999). O rejeito que resta no tambor precisa ser retirado do desagregador, e segundo Massucato (2012), é feito através de uma saída lateral, cujo diâmetro da tubulação é de 12 a 16 polegadas.

Ao sair do desagregador, podem restar impurezas na polpa, ou seja, resquícios de polietileno e alumínio junto à mistura de papel. Para realizar essa separação mais refinada chamada de depuração, existem alguns métodos, tais como peneiras vibratórias, depuradores centrífugos, tambores classificadores, hidrociclones, e os denominados *purgapulpers* (BUGAGER, 1988 apud SANTOS,

2007). Cada um desses equipamentos têm o mesmo objetivo de retirar os resíduos indesejados de materiais adjacentes da polpa. Com o uso adequado desses equipamentos, é possível garantir uma maior qualidade e pureza da polpa.

Entre as etapas existem motores, componentes hidráulicos e pneumáticos, e tubos de conexões. Estes elementos são fundamentais para o correto funcionamento do transporte da polpa entre as etapas do processo de reciclagem, além desses equipamentos existem também os componentes elétricos que garantem o funcionamento dos componentes citados.

Com a polpa remanescente, realiza-se a etapa de formação da folha de papel. Nessa etapa, a polpa é levada através da tubulação e dos sistemas hidráulicos e pneumáticos para a formadora. A mistura de fibras de papel e água entra pela parte superior da formadora, caindo sobre uma tela fina, essa tela retém a polpa de papel enquanto a água é drenada por uma bomba hidráulica pela parte inferior, esse processo forma uma folha de papel úmida sobre a tela. A espessura dessa folha depende do ajuste feito na formadora, assim como da quantidade de polpa que será colocada na formadora.

Em ambientes industriais, a etapa de formação do papel acontece em grande escala e de forma contínua, a magnitude da máquina dependerá da demanda. A Figura 9 mostra uma mesa formadora de papel em escala industrial.

Figura 9 – Formadora de papel industrial



Fonte: Metal Service (2023a)

Após saírem desse processo, as folhas podem passar por uma etapa de prensagem se for o caso, para ajudar na remoção da água e/ou ajustar a grossura da folha de papel. A remoção de água nessa etapa é feita através de um processo

mecânico. Segundo Neves (2009) esse processo é feito geralmente por três prensas com cargas progressivas, e para conduzir a folha até as prensas são utilizados feltros que auxiliam na remoção da água, absorvendo-a.

Com as folhas de papel formadas, a última etapa do processo de reciclagem é a secagem, que pode ser feita deixando as telas à temperatura ambiente sem o auxílio de nenhum outro método, ou segundo Neves (2009), através de cilindros secadores que são alimentados com vapor, que conseqüentemente eleva o custo da produção e reduz o tempo de secagem. Ainda, segundo Dolny (2011) essa etapa é a maior consumidora de energia de todo o sistema. Por isso, quando não se trata do ambiente industrial, e produção de papel em grande escala, a secagem à temperatura ambiente é uma opção mais viável economicamente.

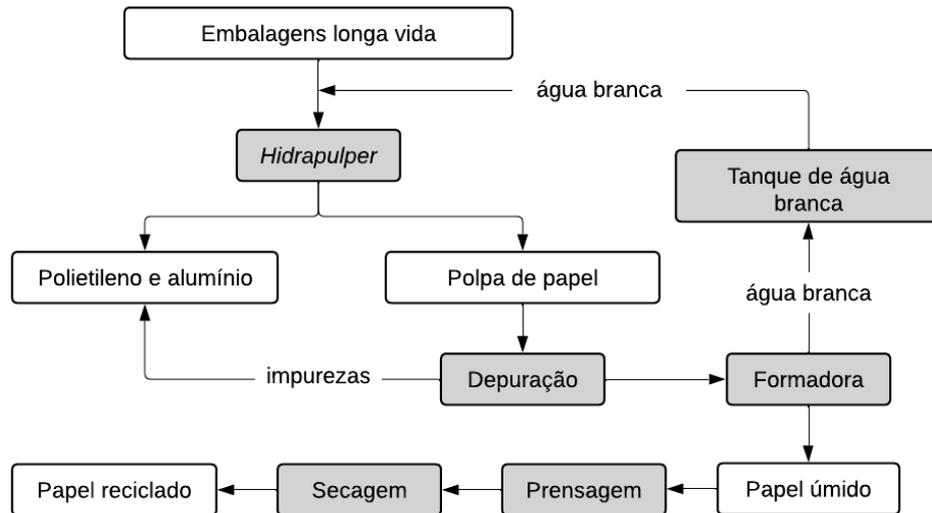
Outro fator importante é a destinação da água do processo, e segundo Dolny (2011), diferentes denominações são dadas à água dependendo da função desempenhada por ela, cujas principais denominações segundo o autor são:

- “Água fresca”: água recirculada que não tem contato com as fibras no processo, ou a água que vem do processo de tratamento de água;
- “Água morna”: tem as mesmas características da “água fresca”, porém com temperatura de pelo menos 30 °C;
- “Água branca”: água que contém fibras e aditivos, vindo da etapa de formação do papel, essa concentração de fibras e aditivos é de até 5000 ppm;
- “Água clarificada”: água já utilizada no sistema e que foi tratada (AMOROSO, 2020).

Geralmente, nos desagregadores utiliza-se água branca vinda do excesso de água da formadora de papel. Pode-se também utilizar água fresca nesse processo, porém essa substituição traduz-se em um aumento do impacto ambiental (DONLY, 2011). Por esse motivo, o uso da água branca nesta etapa é mais adequado.

Para uma melhor visualização do processo, tem-se na Figura 10 um diagrama dos processos da reciclagem. Vale lembrar que as etapas, e os métodos podem variar de acordo com a aplicação.

Figura 10 – Diagrama de etapas do processo de reciclagem das embalagens longa vida



Fonte: Autoria própria (2023)

Diante do levantamento de etapas do processo faz-se necessário trazer os dados aqui abordados e aplicá-los à máquina em questão nesse estudo, que foi desenvolvida de maneira artesanal, seguindo apenas a experiência do projetista.

Este estudo concentra-se nos equipamentos-chave do processo de reciclagem das embalagens longa vida: o desagregador e a formadora de papel. Esses equipamentos desempenham um papel fundamental na obtenção de um alto índice de aproveitamento e uma maior qualidade do produto formado. Portanto, é fundamental propor melhorias a fim de aumentar a eficiência desses equipamentos. No entanto, é importante considerar o custo-benefício de todo o processo, a introdução de novas máquinas, equipamento e/ou novos métodos implica em custos adicionais.

2.4 Modelagem 3D

O dinamismo, se dá principalmente por meio da tecnologia, que é peça fundamental para a competitividade do mercado. A aplicação da tecnologia nas tarefas diárias está cada vez mais comum, essa evolução tecnológica se faz presente nas mais diversas áreas do conhecimento, e na engenharia não é diferente, os programas existentes atualmente suprem a necessidade de facilitar o desenvolvimento de projetos, simulações, cálculos e análises.

Softwares destinados a confecção de projetos e desenhos assistido por computador (CAD) cumprem o papel de facilitadores, permitindo através de sua

interface, modelar objetos de forma tridimensional trazendo inúmeras vantagens, como a extrema precisão, diminuindo a incidência de erros humanos na criação de um projeto, realização de modificações e revisões rápidas, desta forma diminuindo o tempo de retrabalho, e a obtenção de dados precisos, de massa, volume, centro de gravidade etc., além de fornecer ferramentas de simulação precisas.

Segundo Speck (2005), essa ferramenta tornou quase obsoletas as ferramentas tradicionalmente usadas em desenhos, e segundo Köhn (2017), o conceito da modelagem 3D transformou permanentemente o mundo da engenharia mecânica. Essa ferramenta traz uma eficiência incomparável com as ferramentas tradicionais, pois há muitas ferramentas simplificadoras no processo, que permitem copiar, espelhar, extrudar, recortar etc., facilitando a criação de objetos complexos.

Pode-se afirmar que atualmente todas as empresas de engenharia consideram a integração de ferramentas CAD 2D (bidimensional) e 3D, tendo em vista, que essa integração é impulsionada pela busca da maior eficiência, competitividade e conseqüentemente, estabelecer melhores condições de se manterem competitivos no mercado nas diversas fases de projeto (SPECK, 2005).

A utilização da modelagem CAD nesse estudo é fundamental, trazendo uma visão macro e micro do equipamento, facilitando a visualização e o entendimento do processo, além de facilitar a aplicação da proposta de retrofit, tornando um processo menos complexo e mais eficiente.

3 DESENVOLVIMENTO DA PROPOSTA

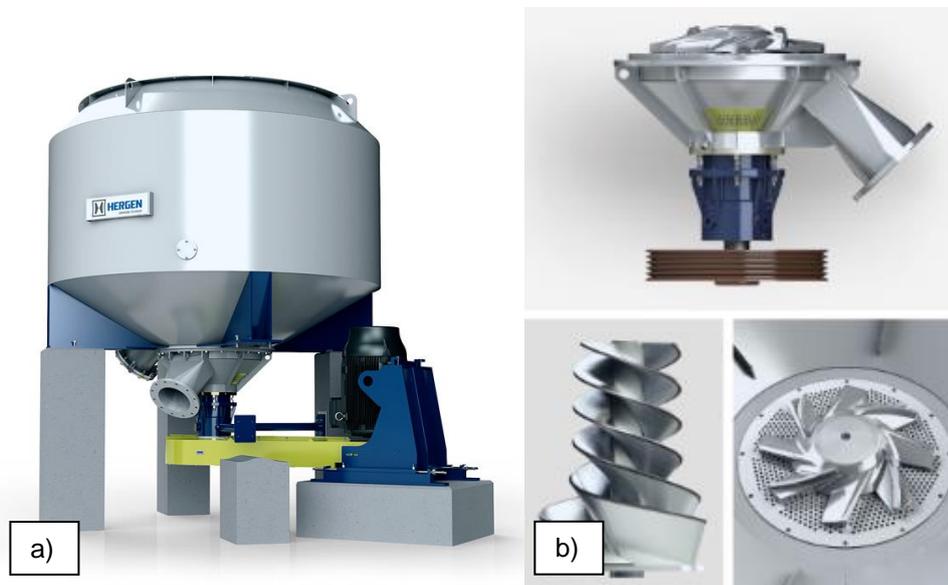
A metodologia foi dividida em 4 etapas, primeiramente realizou-se um *benchmark* de equipamentos semelhantes no mercado e de grandes indústrias, o que direciona o processo de desenvolvimento das melhorias. Após apresentou-se o processo atual do equipamento, com auxílio de modelagem CAD, realizado através da coleta de medições in loco, representando fidedignamente o equipamento real. Na sequência detalhou-se os componentes, juntamente com os pontos de melhoria de construção encontrados, com base no referencial teórico apresentado neste estudo, e no *benchmark*. Por fim, realizou-se a proposta do *retrofit*, juntamente com a modelagem CAD da nova proposta.

3.1 *Benchmark de equipamentos semelhantes*

Com a finalidade de comparar o atual equipamento com as máquinas já existentes, realizou-se um *benchmark*, obtendo um padrão referencial de qualidade e tomando como princípio os modelos já validados e aceitos comercialmente.

A Hergen é uma empresa do Rio Grande do Sul que está há 40 anos atuando na indústria de papel (HERGEN, 2023b). Seu *hidrapulper* é apresentado na Figura 11a e os rotores apresentados na Figura 11b, sendo de baixa ou alta consistência, as hélices dos rotores não possuem lâminas, justamente para não reduzir o tamanho do material adjacente.

Figura 11 – a) *Hidrapulper* Hergen b) Rotores Hergen



Fonte: Hergen (2023a)

A Metal Service localizada em Santa Catarina, fundada em 2001, trabalha com desagregação de alta e baixa consistência (Metal Service, 2023b). O conjunto de tanque e rotor é apresentado na Figura 12. A parte interna do tanque em funcionamento é mostrada na Figura 13.

Figura 12 - Componentes do desagregador Metal Service



Fonte: Metal Service (2023b)

Figura 13 - Desagregador em funcionamento



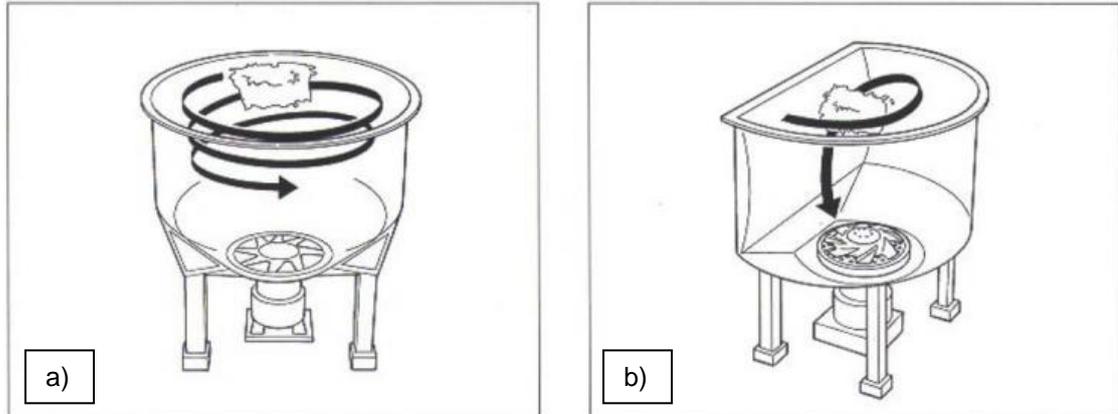
Fonte: Metal Service (2023b)

Nas pesquisas realizadas não foram encontrados catálogos desses produtos nas indústrias brasileiras, mesmo havendo indústrias que os confeccionam, por esse motivo, consultou-se catálogos de indústrias estrangeiras.

A Kadant Inc. é uma indústria líder global em processamento de fibras e produtos derivados, eles estão há mais de 100 anos fornecendo soluções para indústrias de processos. A empresa tem sede em Massachusetts, nos Estados Unidos

(KADANT, 2023). O catálogo traz informações relevantes de desagregadores, e um formato incomum no Brasil.

Figura 14 - Diferenças de fluxo do modelo "O" e "D"

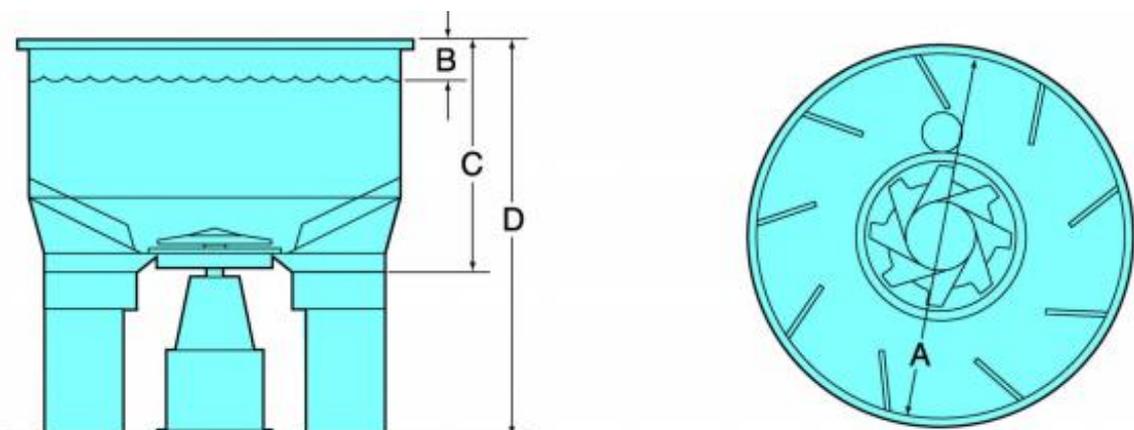


Fonte: Kadant (2007)

Na Figura 14a, tem-se o modelo comum do desagregador, o tanque em formato "O", já na Figura 14b temos o modelo "D". As setas indicam o caminho da embalagem até o rotor, ficando delimitado que no modelo "O" a embalagem demora mais tempo para chegar até o rotor, o que resulta em um tempo de desagregação maior, porém processa-se maior volume por batelada. No modelo "D" o caminho da embalagem até o rotor é mais curto, resultando num tempo menor de desagregação, porém num volume menor por batelada, e uma geometria mais complexa de se fabricar.

A Figura 15 mostra a relação das dimensões usadas na Tabela 2, que traz as medidas comerciais do desagregador Kadant modelo "O" também chamado de "Standard".

Figura 15 - Relação de dimensões



Fonte: Kadant (2007)

Tabela 2 – Hidrapulper Standard

| Tamanho (pés) | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 |
|--------------------------------------|------|------|------|------|------|
| A - Diâmetro interno do tubo (mm) | 2438 | 3048 | 3658 | 4267 | 4877 |
| C - Altura do tanque (mm) | 1829 | 2184 | 2667 | 2743 | 2845 |
| Volume operacional (m ³) | 6 | 11 | 20 | 27 | 35 |

Fonte: Adaptado de Kadant (2007)

Zhengzhou Leizhan Technology Paper Machinery Co., Ltd. é uma das principais empresas que fabricam equipamentos profissionais para utilização em processamento de celulose, com sede em Henan, na China, está há mais de 30 anos no mercado (LEIZHAN, 2023). Diferentemente do primeiro catálogo apresentado, este não especifica as medidas do desagregador, mas especifica a relação de volume e potência do motor. O desagregador e o rotor são apresentados na Figura 16, e a Tabela 3 traz as especificações de seus modelos.

Figura 16 - Desagregador Leizhan

Fonte: Leizhan (2018)

Tabela 3 – Especificações hidrapulper Leizhan

| Modelo | ZDS23 | ZDS24 | ZDS25 | ZDS26 | ZDS27 |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Volume normal (m ³) | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |
| Potência do motor (kw) | 55 | 110 | 160 | 185 | 220 |

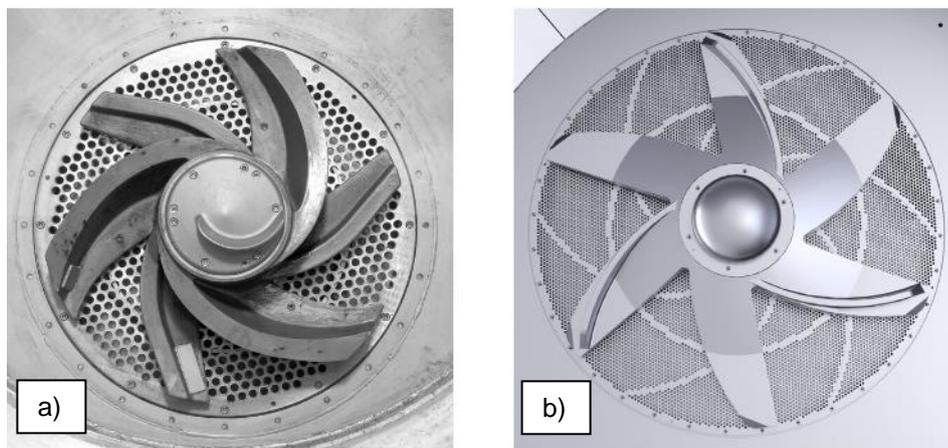
Fonte: Adaptado de Leizhan (2018)

Segundo Araujo (2004, *apud* SANTOS, 2013), as medidas dos rotores variam de acordo com a consistência da desagregação, mas em 90% das fábricas que operam com baixas e médias consistências, os rotores têm um diâmetro médio em relação ao tanque do hidrapulper, e grandes aletas dentro do tanque, além disso, “a instalação de grandes aletas ou chicanas na parte inferior do tanque melhoram as condições de agitação” (CAMPOS, 2012). O tanque mostrado na Figura 15, tem as aletas posicionadas na parte inferior, reforçando a tese de Campos (2012).

A relação entre o rotor e a peneira apresentou uma semelhança entre os projetos de diferentes empresas, em todos os casos a chapa é circular e tem um diâmetro igual ou próximo do rotor.

A Voith é uma empresa global de tecnologia, que está a mais de 150 anos no mercado, e conta com três divisões, a Voith Hydro, Voith Paper, e a Voith Turbo. (VOITH, 2023a). Na Figura 17 são apresentados dois diferentes rotores, a Figura 17a mostra um rotor para diversas aplicações, na Figura 17b, tem-se uma aplicação mais específica. Destaca-se que em ambos os casos que a peneira tem o diâmetro igual ao do rotor.

Figura 17 - Rotores e peneiras



Fonte: Voith (2023b)

Fundada em 1981 em Henan na China, a Yunda tem um papel de liderança profissional no design, pesquisa, desenvolvimento e fabricação de equipamentos de polpação (YUNDA, 2023b). Em seu desagregador do tipo “D” apresentado na figura 18, além das aletas na parte inferior, e do rotor com o diâmetro próximo do diâmetro da peneira, eles trazem uma proposta interessante, que é a elevação do rotor, deste modo há uma melhora na vida útil do rotor e da peneira, pois caso caia algum material

indevido no tanque, não danificará seus componentes, o que é útil em casos de reciclagem.

Figura 18 - Desagregador "D"



Fonte: Yunda (2023b)

A formadora de papel não se assemelha às máquinas industriais, pois na grande maioria, são desenvolvidas para manter a fabricação constante do papel em escala industrial, não havendo paridade com a formadora de papel deste estudo, por esse motivo, não foi realizada a pesquisa de mercado desse componente.

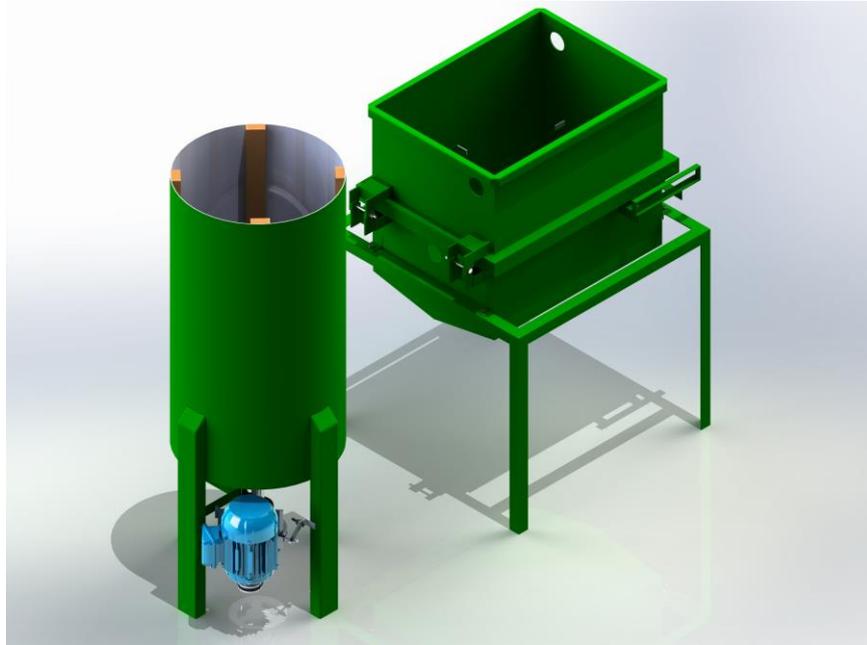
O *benchmark* possibilitou analisar equipamentos semelhantes, existentes e consolidados no mercado, de grandes indústrias, com isso, o processo do *retrofit* torna-se mais simples e objetivo, pois direciona para processos consolidados.

3.2 Apresentação do processo

Elaborou-se um projeto CAD do equipamento de reciclagem em questão, através do Solidworks, facilitando assim a visualização e o entendimento do projeto. O foco do estudo foi o desagregador e a formadora de papel, logo modelou-se em CAD esses dois componentes, como mostrado nas Figuras 19 e 20. Para esse processo, foi necessário a coleta de medidas *in loco* e desmontagem do equipamento, devido à ausência de um projeto prévio. Destaca-se que o equipamento foi construído levando em consideração apenas a experiência de seu construtor, sem um projeto. Para maiores detalhes do equipamento consultar o Apêndice A – Folhas de desenho

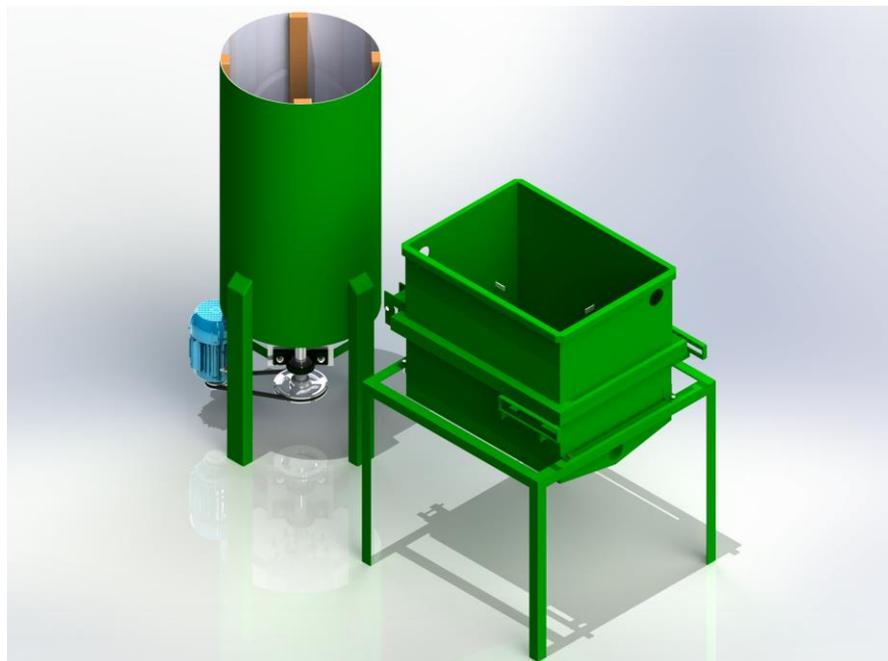
do equipamento, onde são apresentadas: I - Vista em corte e medidas básicas; II - Vista explodida do desagregador; III - Lista dos equipamentos do desagregador; IV - Vista explodida da formadora e lista de equipamentos.

Figura 19 - Desagregador e tanque formador – vista 1



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 20 - Desagregador e tanque formador - vista 2

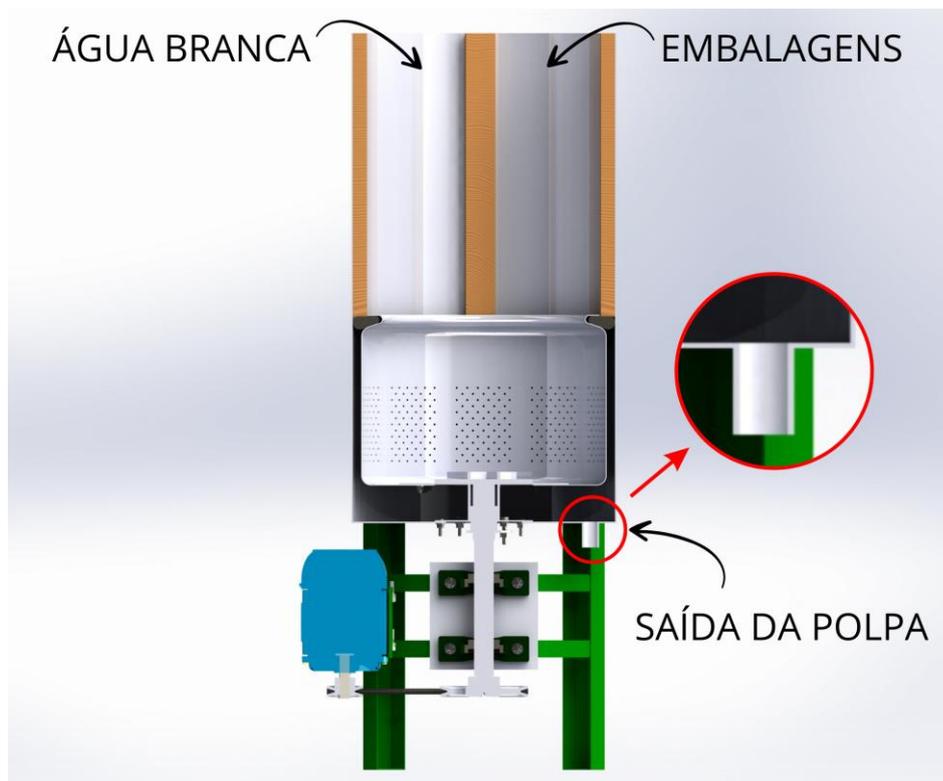


Fonte: Autoria própria (2023)

O processo de reciclagem no equipamento proposto inicia-se com a adição de água e das embalagens longa vida ao desagregador. Após o tempo de

desagregação, ou seja, quando a batelada é concluída, a polpa de água + papel é bombeada pelo orifício inferior, restando no interior do tanque apenas o material laminado (alumínio + polietileno). Para melhor visualização desse sistema, realizou-se a vista em corte do desagregador, apresentado na Figura 21.

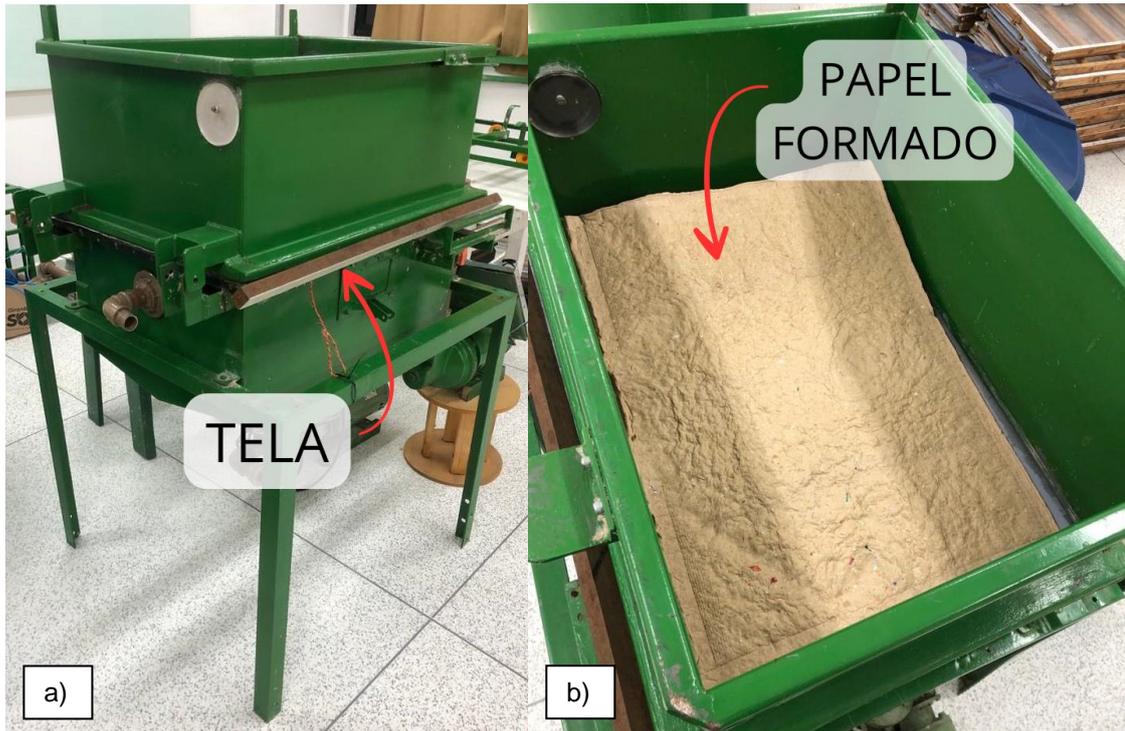
Figura 21 - Vista em corte do desagregador



Fonte: Autoria própria (2023)

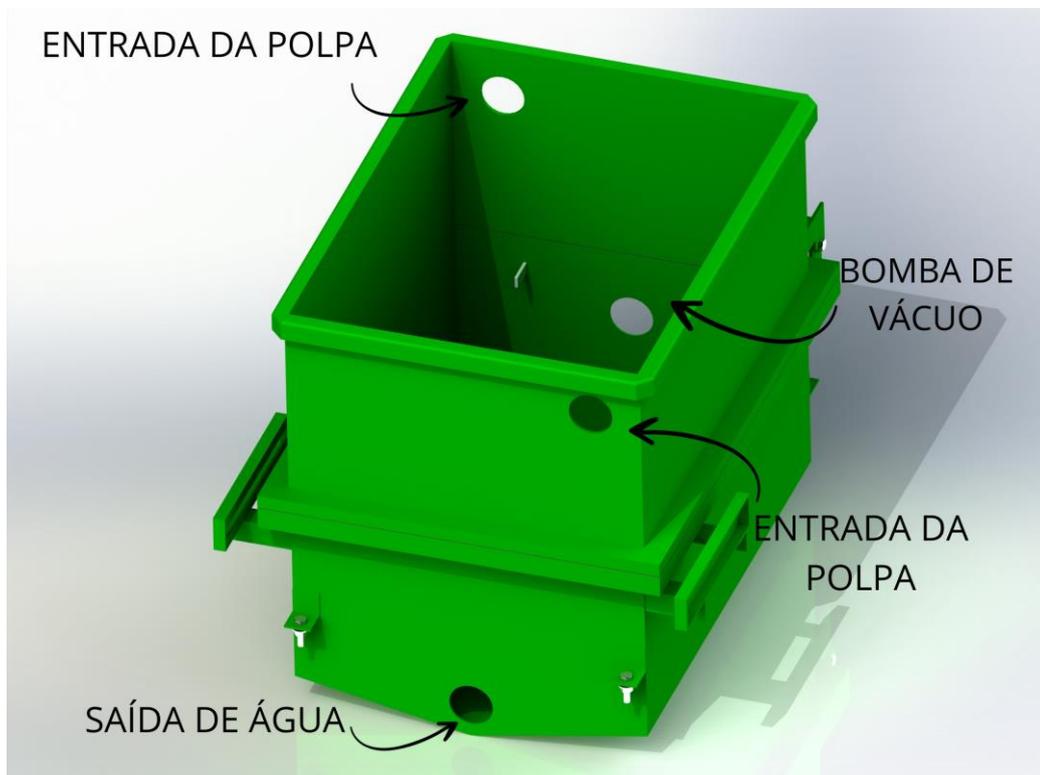
Após a desagregação da batelada, é necessário dar forma a massa de papel, para isso, prepara-se a formadora colocando a tela para papel nos suportes (Fotografia 1), após conecta-se a parte superior com a inferior da formadora, a massa então é bombeada para dentro da formadora pelos orifícios superiores, espalhando-se sobre a tela. A água atravessa por sucção, há uma bomba de vácuo instalada na parte inferior da formadora, retirando a umidade das fibras de papel sobre a tela, o que deixa o papel úmido mais preparado para a próxima etapa, reduzindo o tempo de secagem. A formadora e seus detalhes são apresentados nas Figuras 22 e 23.

Fotografia 1 – a) Tela na formadora b) Papel formado



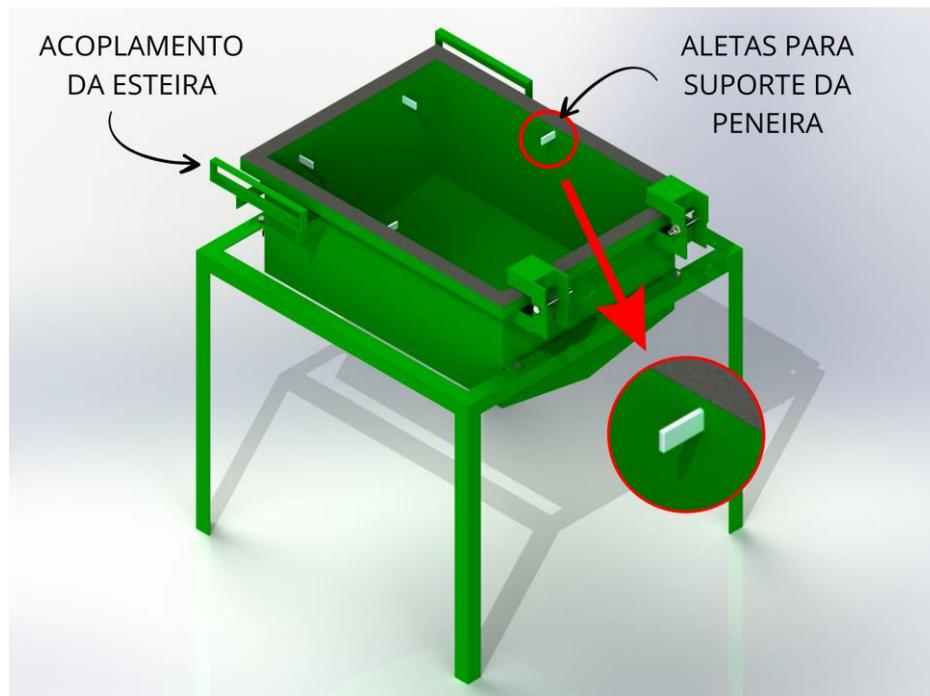
Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 22 - Formadora de papel



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 23 – Detalhes da formadora



Fonte: A autoria própria (2023)

Após a retirada da água restam sobre a tela apenas as fibras de papel, então abre-se a parte superior da formadora e a tela com o papel úmido é retirada manualmente pela esteira, sendo levado para a secagem, dando fim ao ciclo da reciclagem, resultando na folha de papel reciclada.

3.3 Detalhamento dos componentes e pontos de melhoria de construção

Nesse tópico apresentou-se as peças reais do equipamento, em fotografias, levantando os pontos de melhoria de construção dos componentes com base no referencial teórico, no *benchmark* e na experiência obtida durante o curso.

3.3.1 Desagregador

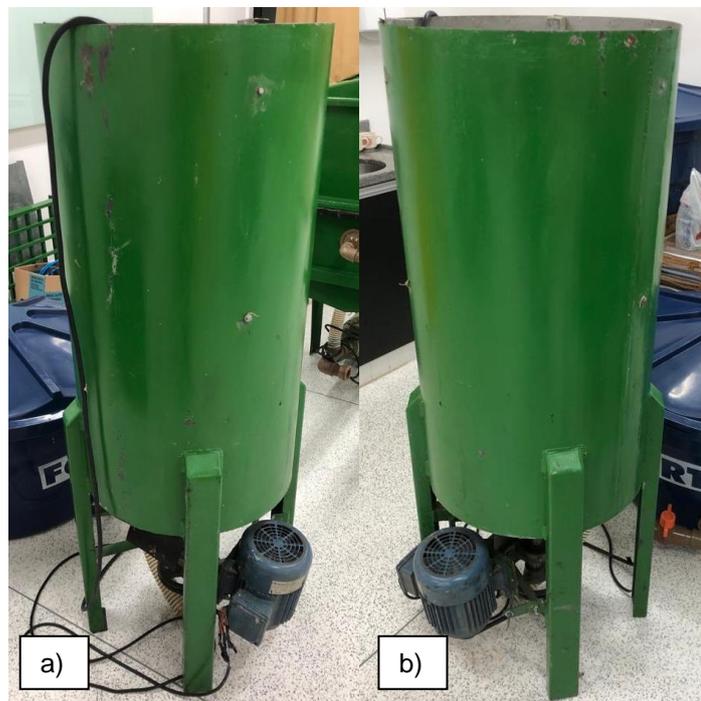
O desagregador é o equipamento que mais apresenta pontos de melhoria de construção, em contrapartida, é o que possui mais referências para comparação, por ser semelhante às máquinas industriais.

3.3.1.1 Tanque

O tanque do desagregador é completamente cilíndrico, com base no *benchmark* realizado, fica evidente que o tanque deve iniciar de forma cônica até tornar-se um cilindro, favorecendo o não respingo do material para fora do desagregador, isso porque os tanques comerciais não possuem tampa. Pode ainda iniciar de forma cilíndrica, mas em ambos os casos, quando próximo da base, o cilindro torna-se novamente um cone, a fim de direcionar todo o material interno para o rotor e à peneira, favorecendo o correto escoamento e a correta agitação do material.

Atualmente no equipamento não ocorre uma forma eficiente e prática de remover o rejeito que fica ao fundo no desagregador após a batelada, esse material então é retirado por cima, porém como o topo do tanque está a um metro e meio de altura, dificulta-se a retirada do material por parte do operador. O tanque é mostrado na Fotografia 2.

Fotografia 2 – a) Desagregador – vista 1 b) Desagregador – vista 2



Fonte: A autoria própria (2023)

3.3.1.2 Aletas

Três ripas de madeira foram adicionadas no interior do tanque do desagregador, elas fazem o papel das aletas, colocadas com o intuito de proporcionar melhores

condições de agitação da massa. Por essas aletas serem retangulares e não possuírem uma angulação adequada, como mostrado na Fotografia 3, acabam por piorar as condições de agitação ao invés de melhorá-las. Além disso elas são instaladas na parte superior do tanque, e para melhores condições, elas precisariam estar instaladas na parte inferior.

Outra condição insatisfatória dessas aletas instaladas é sua matéria, pois são feitas de madeira, o que leva a contaminação da massa, pois a madeira pode deixar resíduos na polpa de papel, prejudicando a qualidade do produto.

Fotografia 3– Interior do tanque



Fonte: Aatoria própria (2023)

3.3.1.3 Rotor

O rotor presente no projeto atual não favorece a agitação das fibras, pois as hélices não são anguladas e não tem uma altura considerável como mostrado na Fotografia 4. Deste modo não favorece a formação do vórtice como apresentado na Figura 13, o material então, não faz o caminho esperado como apresentado na Figura 14, o que acaba desfavorecendo a desagregação e aumentando o tempo de batelada.

O diâmetro do rotor atual é pequeno em relação ao diâmetro do tanque, e como visto no tópico 3.1, como o rotor é de baixa consistência, é comum que possua um diâmetro médio em relação ao tanque. Atualmente o rotor tem um diâmetro de 200 mm.

Fotografia 4 – a) Rotor - vista 1 b) Rotor - vista 2

Fonte: Autoria própria (2023)

3.3.1.4 Peneira

A peneira da grande maioria dos *hidrapulpers* comerciais, tem o mesmo diâmetro, ou diâmetro próximo ao do rotor, isso porque o movimento de rotação do rotor não permite que a polpa fique estagnada no furo da peneira causando o entupimento. Auxilia ainda o fluxo da polpa, pois caso a massa esteja escoando, e o material adjacente fique acumulado na entrada da peneira, a rotação do rotor abre passagem para o fluxo da polpa.

Atualmente no equipamento não existe uma peneira, o que faz sua função é um tambor de máquina de lavar roupas adaptado (Fotografia 5), esse tambor tem furos em toda a sua lateral, e sua base não fica próxima ao rotor como deveria. Além disso, os furos do tambor são de 4 mm, diâmetro mínimo recomendado, o que causa entupimento.

O tambor utilizado não possuiu o mesmo diâmetro externo do tanque do hidrapulper, ou seja, há um vão entre o tanque e o tambor, isso posto, quando o tanque recebe a água, esse vão é preenchido, ocasionando uma má formação da polpa, pois toda a água do sistema deveria estar em contato com as embalagens para formar uma polpa homogênea.

Esse afastamento do tambor em relação ao tanque adiciona outro componente ao sistema, a borracha de vedação mostrada na Fotografia 6, que neste

caso é feita com mangueira de irrigação, fixa ao sistema através de arames, além de ser um elemento contaminante à polpa por resíduos, ocasiona vazamentos podendo o rejeito escoar junto à polpa para a formação do papel.

Outro problema causado pelo afastamento do tambor é a perda de espaço para a desagregação, ou seja, uma redução produtiva do tanque. O volume atual do tanque é de $0,224 \text{ m}^3$, com a perda de espaço causado pelo tambor, esse volume passa a ser $0,198 \text{ m}^3$, ou seja, uma perda de aproximadamente 11,61% do volume produtivo

Fotografia 5– a) Tambor b) Tambor dentro do desagregador



Fonte: Autoria própria (2023)

Fotografia 6– Fixação da mangueira com arames



Fonte: Autoria própria (2023)

3.3.1.5 Suporte do motor e correia

O motor está colocado em uma chapa móvel, sendo fixado através de uma barra roscada como mostrado na Fotografia 7, levando ao aumento da vibração como um todo, as porcas que o prendem, acabam se soltando pela vibração do motor, então é necessário que se faça uma análise periódica de aperto. Essa chapa móvel foi desenvolvida com o intuito de tensionar a correia.

A correia fica exposta, e não há nenhuma proteção dessa parte móvel quando o equipamento está em funcionamento, e por ser uma parte acessível, pode causar um acidente.

Fotografia 7– a) Fixação do motor b) Partes móveis



Fonte: Autoria própria (2023)

3.3.1.6 Chaveta

A chaveta, para fixação da polia no motor foi executada com um parafuso cortado, assim como mostra a Fotografia 8, o ideal é que se tenha uma chaveta apropriada, pois com a força do motor, caso a chaveta seja muito rígida, pode acabar ocasionando o empenamento do eixo, e se o material for frágil, constantemente quebrará. Outro impeditivo são as manutenções, pois para a desmontagem do eixo e da polia foi necessário um esforço maior que o usual, por conta da chaveta inadequada e da ferrugem nos componentes.

Fotografia 8 – Chaveta



Fonte: Aatoria própria (2023)

3.3.2 Formadora

Na formadora, poucos pontos de melhoria de construção foram encontrados, pois é um equipamento de funcionamento e construção mais simples do que o desagregador. A formadora tem pontos para a entrada de massa, acoplamento da bomba de vácuo, e ponto de drenagem de água, a borracha de vedação é apropriada, e tem um sistema para alocação da esteira, que leva o papel até a fase de secagem.

O problema a ser corrigido é a exposição a água na bomba de vácuo, sendo indicado a colocação de um “chapéu” nesta região, para que reduza a possibilidade da entrada de água na bomba

3.3.2.1 Parte superior

O tanque superior apresenta peso elevado, e a cada folha de papel úmida formada, é necessário levantar a parte superior para a colocação de uma nova tela, e na sequência fechá-la para dar início ao processo novamente.

Ao produzir uma folha mais espessa, é necessário que se despeje maior quantidade de massa dentro da formadora, mas o volume atual da parte superior não permite essa utilidade.

Fotografia 9 – Parte superior da formadora



Fonte: Autoria própria (2023)

3.3.2.2 Tanque

No acoplamento da bomba de vácuo, o único impeditivo para a entrada de água no furo é ele ser acima do nível do escoamento, mas isso não impede que a água esorra para dentro do furo, o que pode ocasionar problemas na bomba de vácuo.

O furo para escoar a água é posicionado na parede do tanque e a 20 mm de altura da extremidade da parte inferior, isso causa o acúmulo de água parada dentro do tanque que precisa ser seca após a finalização do processo. Pelo mesmo motivo, o formato da parte inferior do tanque não favorece o escoamento da água. O tanque é apresentado na Fotografia 10.

Fotografia 10 – a) Tanque da formadora b) Interior do tanque



Fonte: Autoria própria (2023)

3.4 Propostas do *retrofit*

As propostas do *retrofit* foram feitas para cada componente em que há pontos de melhoria, apresentando também o CAD com as melhorias.

Todas as decisões tomadas para proposta de melhoria apoiam-se no referencial teórico e no *benchmark* deste estudo, porém destaca-se que a literatura consultada neste estudo e as máquinas comerciais, são industriais, logo para as otimizações aplicadas foram necessárias adaptações.

Para maiores detalhes do retrofit do equipamento consultar o Apêndice B – Folhas de desenho do retrofit do equipamento, onde são apresentadas: I - Vista em corte e medidas básicas; II - Vista explodida do desagregador e lista de equipamentos; III - Vista explodida da formadora e lista de equipamentos.

3.4.1 Desagregador

3.4.1.1 Tanque

Apesar de trazer benefícios, a mudança da geometria do tanque, para a geometria “D”, só faria diferença realmente para reciclagens industriais, onde o volume reciclado é alto, essa mudança aumentaria o custo de aplicação da proposta

de *retrofit* e não traria um retorno benéfico expressivo, pois o volume de produção atual por batelada é menor que $0,5 \text{ m}^3$.

Optou-se por utilizar-se da seguinte geometria: o tanque inicia-se cônico, para evitar respingos, tornar-se um cilindro, e ao final, tornar-se novamente cônico, convergindo para o rotor, assim como o tanque da Leizhan apresentado na Figura 16, deste modo direcionando a polpa para o rotor e facilitando a agitação e a formação do vórtice. O cone superior deve ser descartado para fins de cálculo de volume, pois serve somente para evitar o respingo, a água deve ser colocada no máximo até a borda superior do corpo cilíndrico.

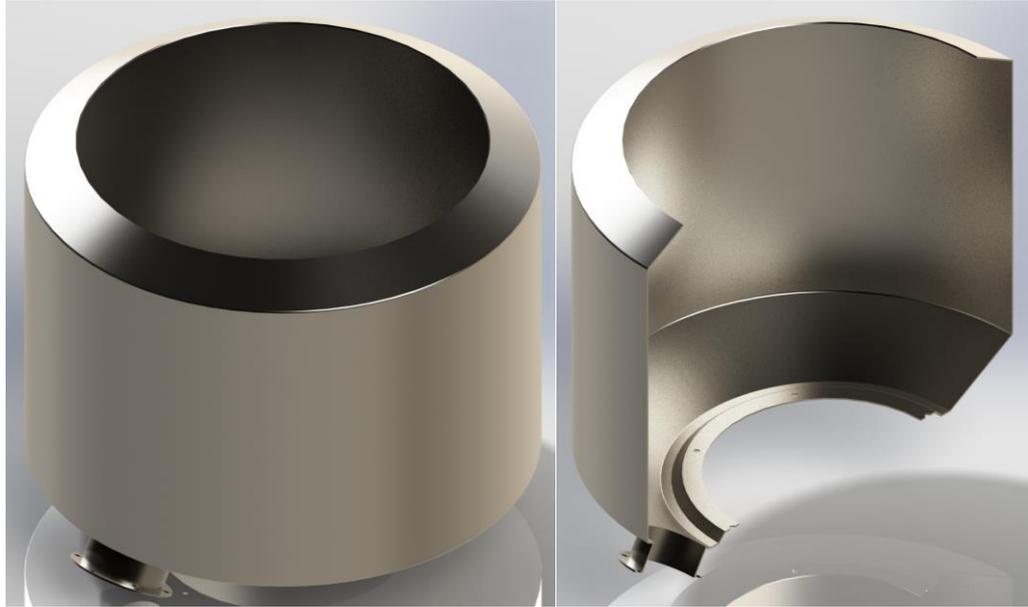
Outra mudança na geometria foi a elevação do rotor em 24 mm pois como o rotor tem um custo elevado, isso evita que algum material pesado entre em contato com as hélices, causando danos.

Incluiu-se no tanque, ao lado do rotor, uma saída para o rejeito, facilitando a retirada do material após a batelada, sem demandar muito esforço. O furo tem um diâmetro de 130 mm, proporcionando o correto escoamento da água com o rejeito para limpeza do tanque.

Na Tabela 2 não há linearidade entre as medidas dos tanques, porém quanto menor o tanque, tende a ser menor também a relação entre o diâmetro e a altura, com base nisso, utilizou-se a menor relação entre os tanques para o *retrofit*. Para uma altura útil de 600 mm, é necessário que se tenha um diâmetro de 800 mm, com isso o volume útil do tanque seria de $0,28 \text{ m}^3$, obtendo-se um ganho de aproximadamente 30% do volume do tanque atual.

O material escolhido para o tanque foi o aço inoxidável, suas propriedades o fazem ser o material mais adequado para esse tipo de aplicação, pois além de sua grande durabilidade, há também resistência a corrosão. A proposta do novo tanque é apresentada na Figura 24.

Figura 24 – Retrofit do desagregador



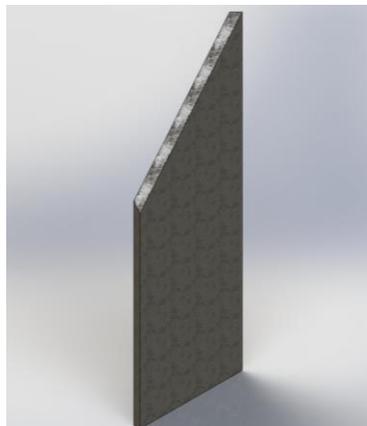
Fonte: Aatoria própria (2023)

3.4.1.2 Aletas

Para corrigir o problema do material, foi escolhido o aço inoxidável assim como no tanque, pelos mesmos motivos de durabilidade e resistência à corrosão.

As aletas devem ser instaladas ao fundo do tanque, para melhorar as condições de agitação, o padrão de instalação escolhido foi de 3 aletas distribuídas uniformemente ao fundo do tanque, e com inclinação de 45° em relação ao plano, inclinada na direção de rotação do rotor. Para o volume de produção do equipamento, essa adaptação será suficiente para a condição de agitação. A proposta da nova aleta é mostrada na Figura 25.

Figura 25 - Retrofit da aleta



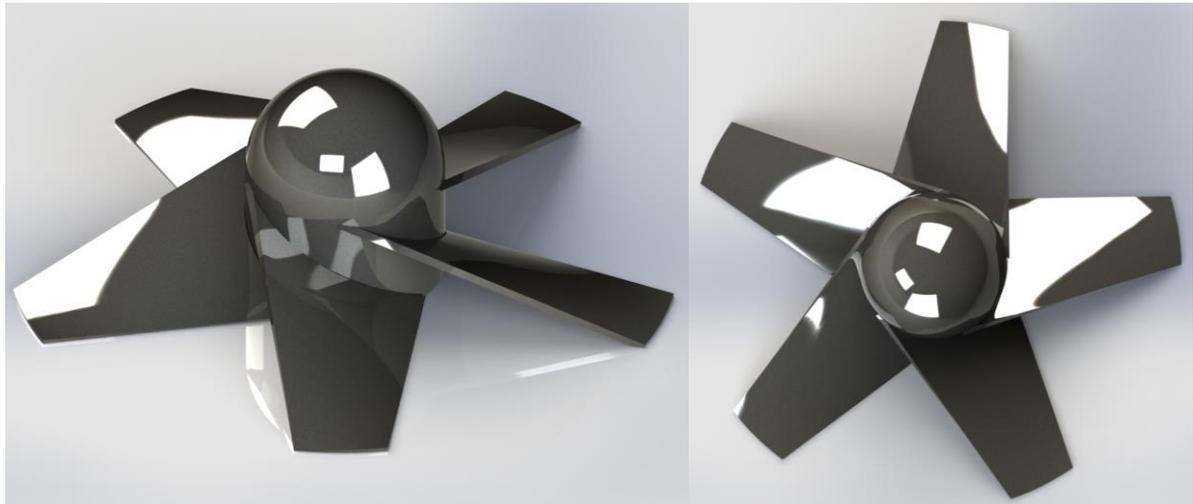
Fonte: Aatoria própria (2023)

3.4.1.3 Rotor

O rotor deve ter hélices com angulações corretas e a massa total adequada, aumentando a eficiência de produção, e reduzindo o tempo de batelada e o consumo de energia, além do que, as hélices não podem ser afiadas, não tendenciando o corte dos rejeitos, por este motivo recomenda-se a compra do rotor.

Para a proposta do *retrofit* optou-se por colocar um rotor com diâmetro de 400 mm de baixa consistência, metade do diâmetro do tanque, favorecendo melhores condições de agitação, e mantendo a consistência, não alterará o método de produção, e as propriedades, e ainda, a qualidade da fibra será superior. A proposta do novo rotor é mostrada na Figura 26.

Figura 26 – Retrofit do rotor



Fonte: Autoria própria (2023)

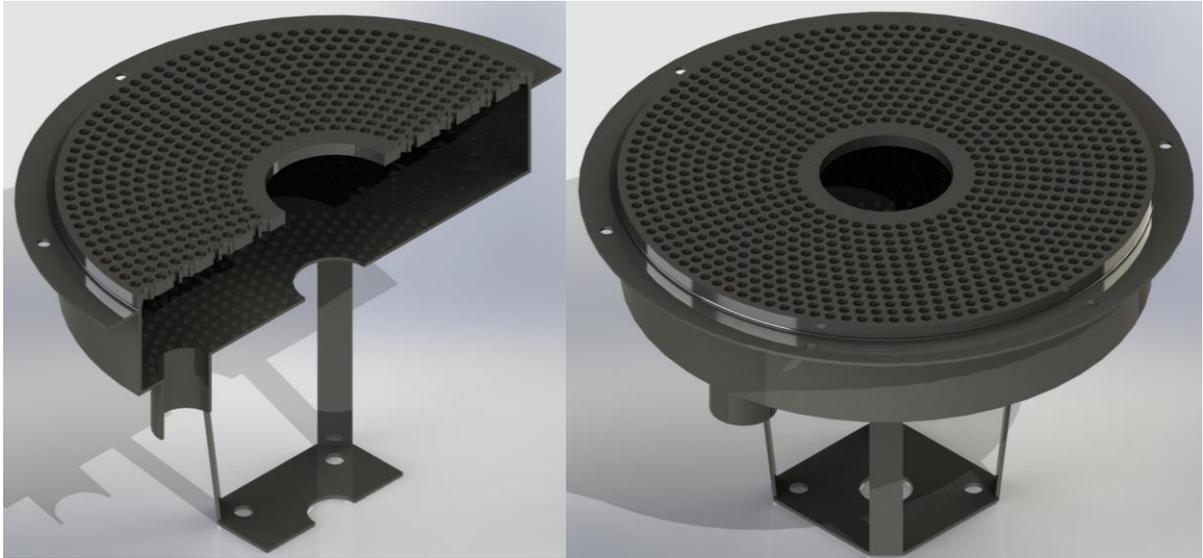
3.4.1.4 Peneira

Substituiu-se completamente o tambor por uma chapa perfurada, com essa simples solução resolve-se todos os problemas causados especificamente pelo tambor, como perda de volume, necessidade de uma borracha de vedação adaptada, e o vazamento.

Considerando o rotor de baixa consistência, optou-se por furos de 8 mm de diâmetro, e a peneira com diâmetro igual ao do rotor, de 400 mm, evitando o entupimento dos furos.

Outra solução foi ligar a peneira com o sistema estrutural de escoamento, assim fazendo um único sistema, além disso, o suporte ao mancal para o eixo também é fixo na estrutura que é mostrada na Figura 27.

Figura 27 – Retrofit da peneira



Fonte: Autoria própria (2023)

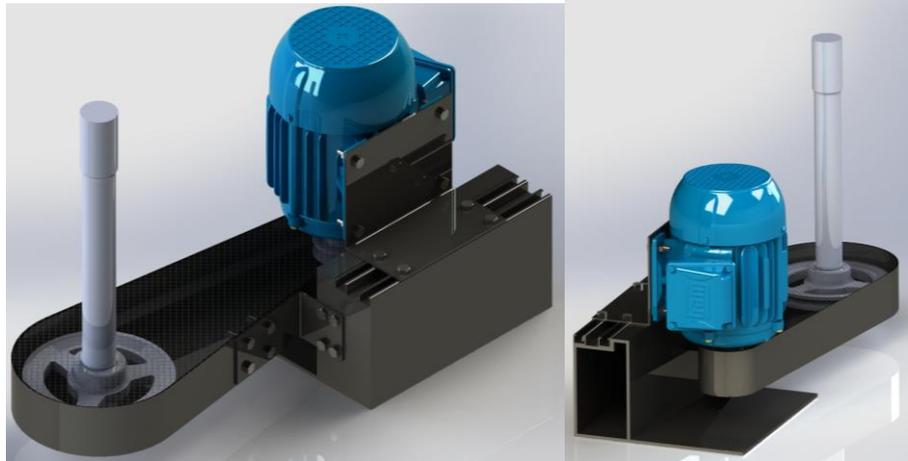
3.4.1.5 Suporte do motor e correia

O motor não deve estar acoplado nos apoios do equipamento, deste modo não ocasionará vibrações elevadas, fez-se então um sistema evitando este caso, e ainda, mantendo o sistema de tensionamento da correia.

Uma proteção foi feita em torno das partes móveis da correia e das polias, sanando o risco de acidentes.

A proposta do novo sistema de fixação e apoio do motor, assim como da proteção das partes móveis é mostrada na Figura 28.

Figura 28 – Retrofit do apoio do motor e proteção da correia



Fonte: Autoria própria (2023)

3.4.1.6 Chaveta

Recomenda-se que a chaveta não seja feita de modo improvisado, e sim seguindo a norma DIN 6885, com a análise de forças e tensões apropriadas, para que assim não cause problemas no funcionamento do sistema e das manutenções.

3.4.1.7 Pé de apoio

Embora os pés de apoio do tanque desagregador não tenham tido pontos de melhoria de construção, fez-se um novo modelo, mais moderno e apoiando o cone inferior do tanque, trazendo mais estabilidade e resistência ao sistema. A proposta do novo apoio é mostrada na Figura 29.

Figura 29 – Retrofit do pé de apoio



Fonte: Autoria própria (2023)

3.4.2 Formadora

O material recomendado para a ambas as partes é o aço inox, pois esses componentes, assim como no desagregador, têm contato direto com a água.

3.4.2.1 Parte superior

A largura e profundidade do equipamento não foi alterada, deste modo as telas que são usadas atualmente se mantêm. A altura escolhida foi de 425 mm, obtendo-se mais espaço para confecção de uma folha de papel mais espessa.

Colocou-se nas laterais dois pistões amortecedores iguais ao de camas box, dessa maneira o esforço solicitado para levantar a parte superior do tanque é menor, além disso, ele se mantém aberto quando chega ao ponto de máxima abertura do pistão, e ainda, substituindo o pistão pneumático controlado por válvulas, pois elevaria o valor do projeto. A parte superior e o sistema de pistões são mostrados na Figura 30.

Figura 30 – Retrofit da parte superior da formadora



Fonte: Aatoria própria (2023)

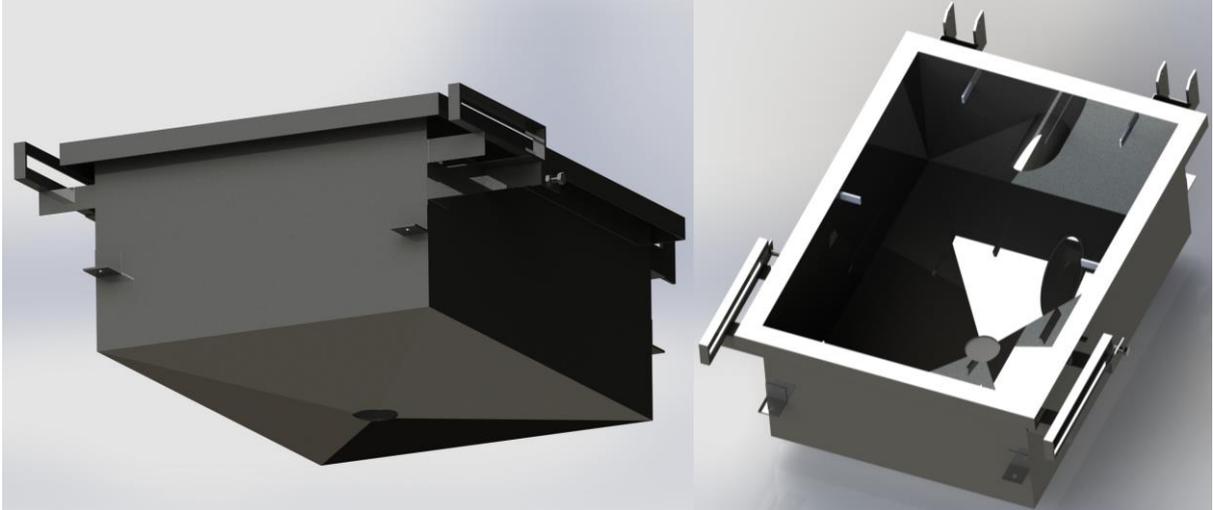
3.4.2.2 Tanque

Um “chapéu” foi colocado no furo de acoplamento da bomba de vácuo, deste modo impede-se que escorra água para dentro da tubulação da bomba de vácuo.

O furo de drenagem da água foi realocado para que fique na parte inferior do tanque, facilitando o escoamento da água, além disso, a geometria da parte inferior

do tanque foi mudada para que o escoamento natural da água seja diretamente para o furo de saída, não ficando estagnada. O tanque é mostrado na Figura 31.

Figura 31 – Retrofit do tanque da formadora

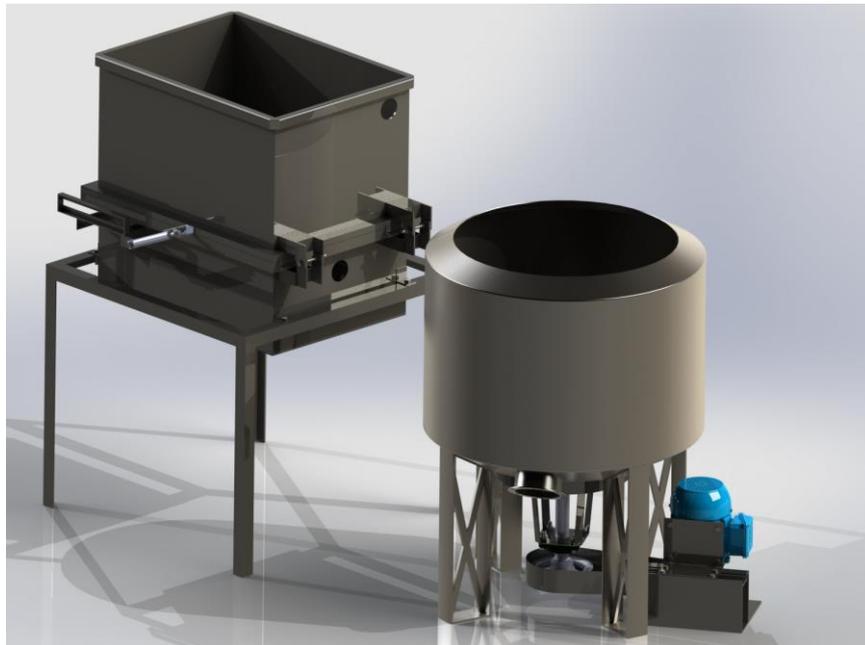


Fonte: Autoria própria (2023)

3.4.3 Sistema completo

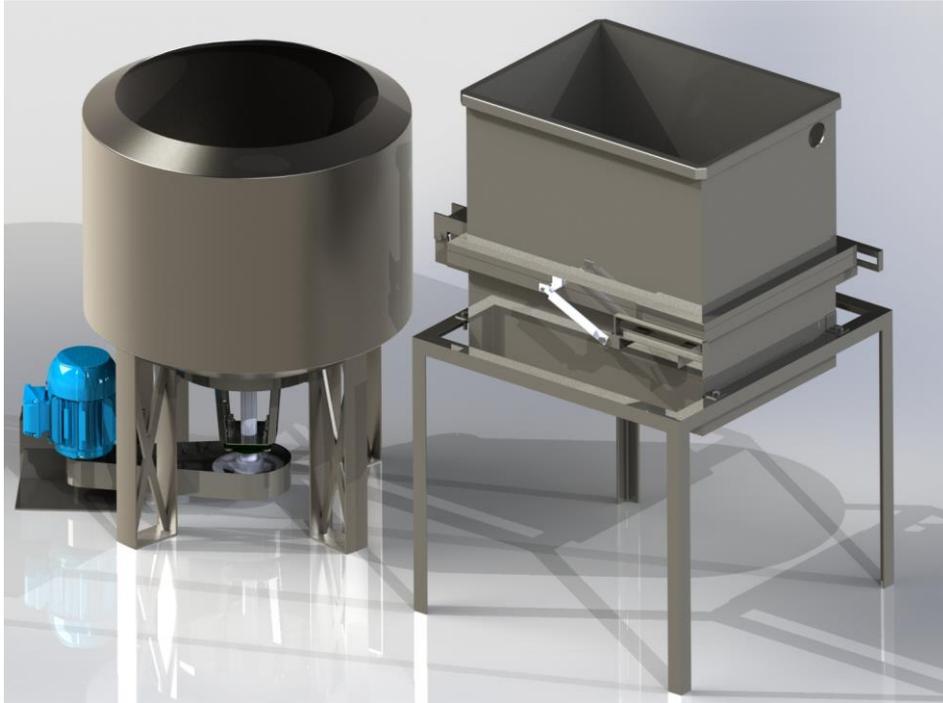
O sistema completo é mostrado nas Figuras 32 e 33, e pode ser visto com detalhes, medidas básicas e as vistas explodidas no Apêndice B.

Figura 32 – Retrofit do sistema – vista 1



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 33 – Retrofit do sistema – vista 2



Fonte: Autoria própria (2023)

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo de reciclagem é fundamental, assumindo cada vez mais um papel significativo na sociedade, contribuindo para a preservação do meio ambiente, gerenciamento de resíduos, redução e reutilização de recursos naturais, pois os recursos naturais estão gradativamente mais escassos, necessitando de um planejamento e de um desenvolvimento sustentável.

Para que novos produtos sejam produzidos através da reciclagem das embalagens longa vida, é necessário que se faça a separação dos materiais. Uma das formas de fazer esse processo, é desagregar as embalagens através de um *hidrapulper*, separando o polietileno e o alumínio, formando uma polpa de papel + água, podendo assim dar início à criação de novos produtos com esses materiais. A formadora de papel se faz necessária nesse processo para formar a folha de papel partindo da polpa.

Melhorar a eficiência desses equipamentos, faz com que se tenha um processo de reciclagem mais adequado, reduzindo o tempo de reciclagem, o desperdício de materiais e de água, além de poupar energia na fabricação, isso faz com que se tenha um processo de produção otimizado, resultando em um produto com maior qualidade.

Durante esse estudo, realizou-se então a proposta de um *retrofit*, para o desagregador e para a formadora, baseando-se no *benchmark*, através dele foi possível conhecer os equipamentos industriais e captar seus pontos fortes, baseando-se também na experiência obtida durante o curso, e no referencial teórico, que trouxe conceitos fundamentais para atingir o objetivo deste trabalho.

A proposta do *retrofit* foi bem-sucedida, pois trouxe mudanças significativas para a modelagem do equipamento original. Chegou-se ao objetivo deste trabalho através da engenharia reversa, coletando medidas *in loco* do equipamento para realizar a modelagem 3D de todo o processo atual e da nova proposta.

Objetivando ainda mais a otimização desse processo, recomenda-se em trabalhos futuros realizar a fabricação de chavetas adequadas para o sistema seguindo a norma DIN 6885, realizar a otimização do sistema elétrico e de automação do equipamento, adequar o equipamento à NR-12, e por fim, realizar a otimização das hélices do rotor, considerando os fatores geométricos para proporcionar a agitação ideal da mistura no desagregador.

REFERÊNCIAS

ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais). **ISWA**: A International Solid Waste Association. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/iswa/>. Acesso em: 02 abr. 2023.

ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais). **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil: 2022**. 2022. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso em: 13 abr. 2023.

ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais). **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil: 2016**. 2016. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso em: 15 abr. 2023.

ALVES, V. F.; *et al.* **Reutilização de papelão para produção de móveis alternativos**. 2017. Disponível em: https://abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_248_434_34755.pdf. Acesso em: 04 jun. 2023.

AMOROSO, C. R. M. G. **Sustentabilidade na reciclagem e no uso da água em indústria de produção de papel por meio da simulação computacional**. 2020. 97 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2020. Disponível em: https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/bitstream/123456789/1344/1/TCC_2_CARIN E_REZENDE.pdf. Acesso em: 02 jun. 2023.

ANDRITZ. **Drum pulpers for recycled fiber processing**. Disponível em: <https://www.andritz.com/products-en/pulp-and-paper/paper-production/stock-preparation/recycled-fiber/drum-pulping>. Acesso em: 04 jun. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 71 p.

BRASIL. **Lei n. 12.305, de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília: Casa Civil, 2010. Disponível em:

https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 02 abr. 2023.

BRASIL. Ministério da Educação. **Consumo sustentável: manual de educação**. Brasília: Consumers International/ MMA/ MEC/ IDEC, 2005. 160 p.

BRASIL. Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. **Resíduos Sólidos: diagnóstico anual de resíduos sólidos 2021 (ano de referência 2020)**. 2022b. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/diagnosticos-anteriores-do-snis/residuos-solidos-1/2020>. Acesso em: 23 abr. 2023.

BRASIL. Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. **SNIS**. 2022a. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/snis>. Acesso em: 23 abr. 2023.

CAMPOS, E S. **Apostila – Curso de fabricação de papéis “tissue”**. 2012. [S.l.], p. 33, 29 out. 2023.

CEMPRE (Compromisso Empresarial para Reciclagem). **Embalagens longa vida**. Disponível em: <https://cempre.org.br/embalagens-longa-vida/>. Acesso em: 09 jan. 2023.

DOLNY, L. M. **Redução do efluente de água branca em uma máquina de papel**. 2011. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Meio Ambiente, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/27615>. Acesso em: 28 maio 2023.

HERGEN. **Hidrapulpers**. Disponível em: <https://www.hergen.com.br/produtos/preparacao-de-massa/hidrapulpers/>. Acesso em: 04 jun. 2023a.

HERGEN. **Quem somos**. Disponível em: <https://www.hergen.com.br/empresa/>. Acesso em: 28 out. 2023b.

KADANT. **About Kadant**. Disponível em: <https://kadant.com/en/about-us>. Acesso em: 28 out. 2023.

KADANT. Model D Hydrapulper® Pulping Machine and D-Chord™ Baffl e Retrofit. **Technical Bulletin**. 2007. Massachussets, p. 60 – 68, 29 out. 2023

KAZA, Silpa *et al.* **What a Waste 2.0**: a global snapshot of solid waste management to 2050. Whashington: World Bank, 2018. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/d3f9d45e-115f-559b-b14f-28552410e90a>. Acesso em: 15 abr. 2023.

KÖHN, A. O. **Criação e modelização de diferentes tipos de rolamentos com o uso do software de modelagem 3D fusion360**. 2017. 62 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Mecânica), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/156944>. Acesso em: 12 nov. 2023.

LEIZHAN. **Company Profile**. Disponível em: <https://www.leizhanchina.com/about-us/company-profile/>. Acesso em: 30 out. 2023.

LEIZHAN. ZDS Series Vertical Hydrapulper. **Catalogue of products**. 2018. Henan Province, p. 13. Disponível em: <http://www.papermachineforsale.com/pdf/> Acesso em: 30 out. 2023.

MARTINS, Diana Rita Fernandes. **Definição de layout de protótipo industrial para separação gravítica de embalagens Tetra Pak®**. 2013. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Minho, [Braga], 2013. Disponível em: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/28234>. Acesso em: 18 jan. 2023.

MASSUCATO, F.; *et al.* **Comparação de processos de desagregação de embalagens cartonadas assépticas e seus reflexos nas propriedades mecânicas da polpa celulósica**. 2012. Disponível em: https://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/2012_Desagregacao_embalagens_cartonadas2.pdf. Acesso em: 25 maio 2023.

METAL SERVICE. **Seções de Formação**. Disponível em: <https://metalservice.ind.br/produto/secoes-de-formacao/>. Acesso em: 28 jun. 2023a.

METAL SERVICE. **Hidrapulper**. Disponível em:

<https://metalservice.ind.br/produto/hidrapulper/#:~:text=Equipamento%20respons%C3%A1vel%20pela%20desagrega%C3%A7%C3%A3o%2C%20ele,que%20depois%20possa%20ser%20depurada>. Acesso em: 28 out. 2023b.

NEVES, F. L. **Eletrodissolução de alumínio em polpa celulósica proveniente da reciclagem de embalagens cartonadas multicamadas**. 2009. 109 f. Tese

(Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009. Disponível em:

<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/3865?show=full>. Acesso em: 28 maio 2023.

NEVES, F. L. **Novos desenvolvimentos para reciclagem de embalagens longa vida**. 2004. Disponível em:

<https://afcal.pt/destinoFinal/NovosDesenvolvimentosReciclagem.pdf>. Acesso em: 22 maio 2023.

NEVES, F. L. Reciclagem de embalagens cartonadas Tetra Pak. **O Papel**. 1999. Monte Mor, p. 38-45, 25 maio 2023.

ROBERTSON, Gordon. Recycling of Aseptic Beverage Cartons: a review.

Recycling, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 20, 11 mar. 2021. MDPI AG. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/recycling6010020>. Acesso em: 04 jun. 2023.

SANTOS, J. A. C. **Sistemas de depuração de polpa virgem e reciclada em fábricas de papel e cartão, com ênfase no conceito de dispersão á quente**.

2012. 119 f. Monografia (Especialização) - Curso de Tecnologia em Celulose e Papel, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2012. Disponível em: <https://dspace.mackenzie.br/handle/10899/149>. Acesso em: 29 maio 2023.

SOARES, D. L. **Produção de sacolas com papel reciclado**. 2016. 12 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2016. Disponível em:

<http://repositorio.im.ufrj.br:8080/jspui/handle/1235813/3118>. Acesso em: 04 jun. 2023.

SPECK, H. J. **Proposta de método para facilitar a mudança das técnicas de projetos: da prancheta à modelagem sólida (CAD) para empresas de**

engenharia de pequeno e médio porte. 2005. 172 f. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, 2005. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/102197>. Acesso em: 12 nov. 2023.

TETRA PAK. **Dr. Ruben Rausing (1895-1983), fundador da Tetra Pak.** 2008. Disponível em: <https://www.tetrapak.com/pt-br/about-tetra-pak/the-company/history/ruben-rausing>. Acesso em: 13 jan. 2023.

TETRA PAK. **Sustainability Report 2022.** [S.l.]: Tetra Pak, 2022. 72 slides, color.

TETRA PAK. **The anatomy of Tetra Pak® carton packages.** Disponível em: <https://www.tetrapak.com/en-cz/solutions/packaging/packaging-material/materials>. Acesso em: 23 abr. 2023.

UEMURA, M. B. **Tetra Pak® e a Logística Reversa.** 2017. Disponível em: <http://www.institutoventuri.org.br/ojs/index.php/firs/issue/view/2>. Acesso em: 26 abr. 2023.

VOITH. **Technical innovation and digital solutions.** Disponível em: <https://voith.com/corp-en/about-us/company.html>. Acesso em: 30 out. 2023a.

VOITH. **Optimization Solutions for Pulping.** Disponível em: <https://voith.com/corp-en/papermaking/pulping-solutions.html>. Acesso em: 30 out. 2023b.

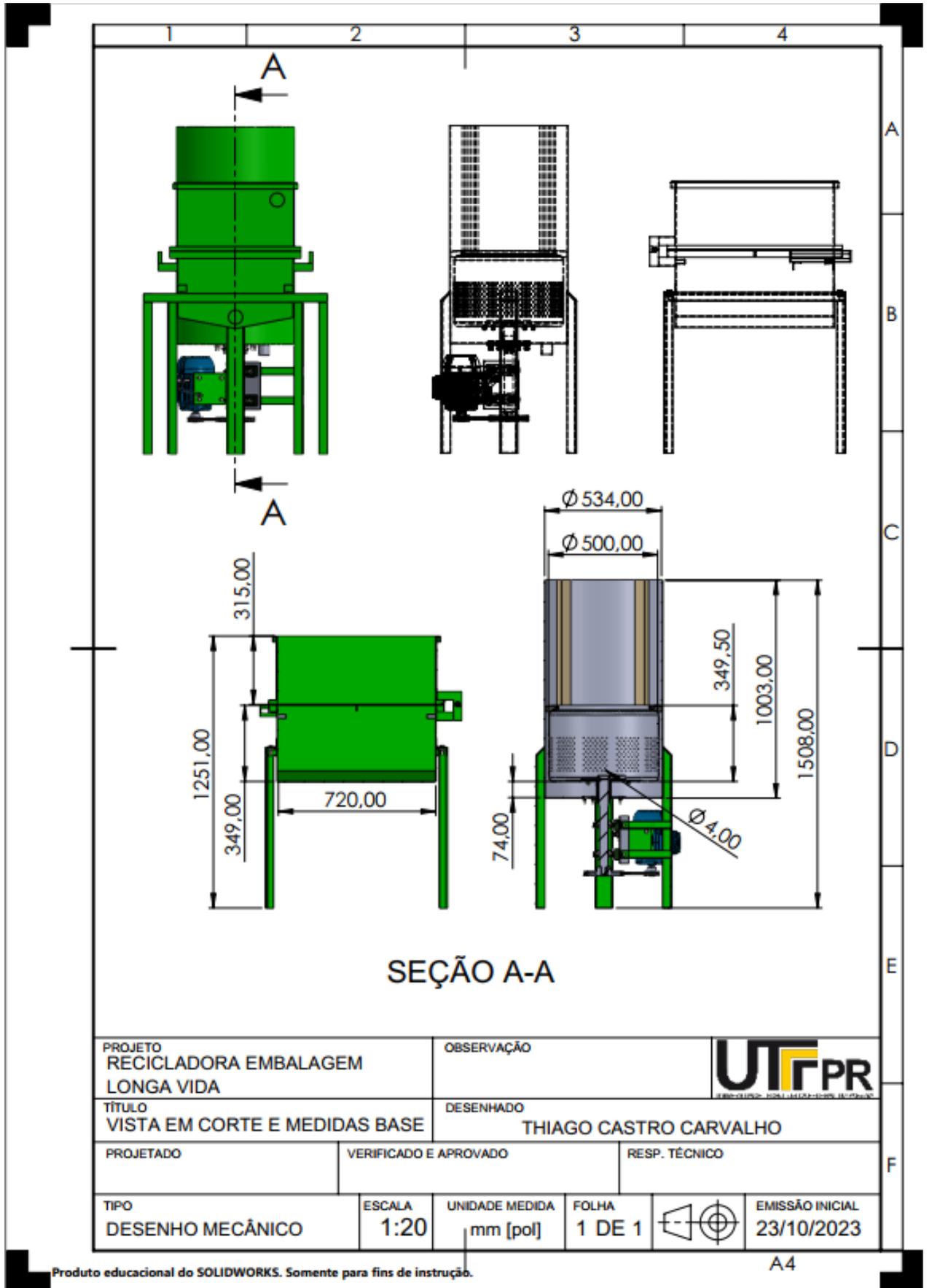
WIBBELT, A. C. C. **Aplicação do papel reciclado artesanal em brindes corporativos.** 2011. 83 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Artes Gráficas, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/9342>. Acesso em: 28 maio 2023.

Yunda. **About Yunda.** Disponível em: <https://www.yundapm.com/page-about/>. Acesso em: 30 out. 2023a.

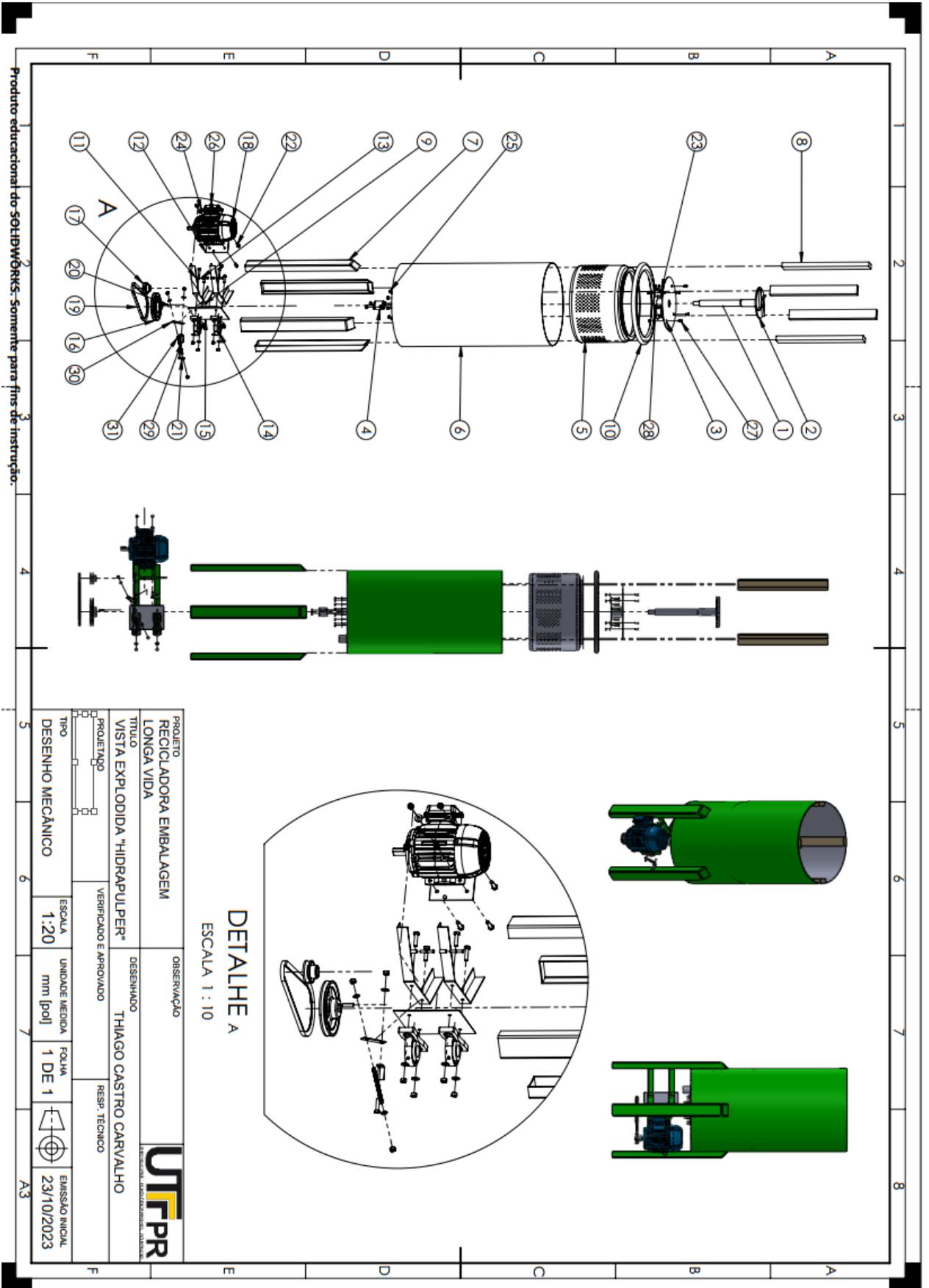
Yunda. **I-OCC Stock Preparation System.** Disponível em: https://www.yundapm.com/solutions/i-occ/?gclid=Cj0KCQjwqP2pBhDMARIsAJQ0Czqgq9RVJlvyGrfENumnp4hNLCinFI6mIEYQmgfQc5ukuPKGh2POK0aAmxTEALw_wcB. Acesso em: 30 out. 2023b.

APÊNDICE A – Folhas de desenho do equipamento

I – VISTA EM CORTE E MEDIDAS BÁSICAS



II - VISTA EXPLODIDA DO DESAGREGADOR



III - LISTA DOS EQUIPAMENTOS DO DESAGREGADOR

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|----------------------------|-------------------------------------|-----------------|
| Nº DO ITEM | Nº DA PEÇA | | QTD. |
| 1 | EIXO | | 1 |
| 2 | ROTOR | | 1 |
| 3 | SUPORTE TANQUE E PENEIRA | | 1 |
| 4 | SUPORTE EIXO | | 1 |
| 5 | TANQUE PENEIRA | | 1 |
| 6 | TANQUE HIDRAPULPER | | 1 |
| 7 | PÉS HIDRAPULPER | | 4 |
| 8 | SUPORTE MADEIRA INTERNO | | 4 |
| 9 | SUPORTE DOS MANCAIS | | 2 |
| 10 | BORRACHA VEDAÇÃO | | 1 |
| 11 | SUPORTE REBITE | | 2 |
| 12 | SUPORTE DO MOTOR | | 1 |
| 13 | REBITE | | 2 |
| 14 | ROLAMENTO E MANCAL | | 2 |
| 15 | CHAPA DOS MANCAIS | | 1 |
| 16 | POLIA MAIOR | | 1 |
| 17 | POLIA MENOR | | 1 |
| 18 | MOTOR | | 1 |
| 19 | CORREIA | | 1 |
| 20 | CHAVETA | | 1 |
| 21 | ISO 10673 - 11 - S | | 21 |
| 22 | ISO 4015 - M10 x 40 x 40-C | | 4 |
| 23 | ISO 10673 - 11 - N | | 8 |
| 24 | ISO - 4034 - M8 - N | | 4 |
| 25 | ISO - 4034 - M10 - N | | 8 |
| 26 | ISO 10642 - M8 x 20 - 20C | | 4 |
| 27 | ISO 10669 - 8.8 - N | | 4 |
| 28 | ISO 4015 - M10 x 50 x 50-C | | 2 |
| 29 | TRAVA DO SUPORTE DO MOTOR | | 1 |
| 30 | TRAVA MOTOR SUPORTE | | 1 |
| 31 | BARRA ROSCADA M10 | | 1 |
| PROJETO RECICLADORA EMBALAGEM LONGA VIDA | | OBSERVAÇÃO | |
| TÍTULO LISTA MATERIAIS HIDRAPULPER | | DESENHADO THIAGO CASTRO CARVALHO | |
| PROJETADO | VERIFICADO E APROVADO | | RESP. TÉCNICO |
| TIPO DESENHO MECÂNICO | ESCALA 1:50 | UNIDADE MEDIDA mm [pol] | FOLHA 1 DE 1 |
| | | | |
| | | EMISSÃO INICIAL 23/10/2023 | |

IV - VISTA EXPLODIDA DA FORMADORA E LISTA DE EQUIPAMENTOS

| Nº DO ITEM | Nº DA PEÇA | QTD. |
|------------|------------------------------|------|
| 1 | ISO 10642 - M8 x 20 - 20C | 1 |
| 2 | TANQUE INFERIOR | 1 |
| 3 | SUPORTE | 4 |
| 4 | TRAVAS DA PENEIRA | 6 |
| 5 | SUPORTE DA ESTEIRA | 1 |
| 6 | VEDAÇÃO FORMADORA | 1 |
| 7 | PARTE SUPERIOR | 1 |
| 8 | ISO 4015 - M10 x 40 x 40-C | 4 |
| 9 | ISO 4015 - M10 x 100 x 100-C | 2 |
| 10 | ISO 10673-11-N | 6 |
| 11 | ISO - 4034 - M10 - N | 6 |

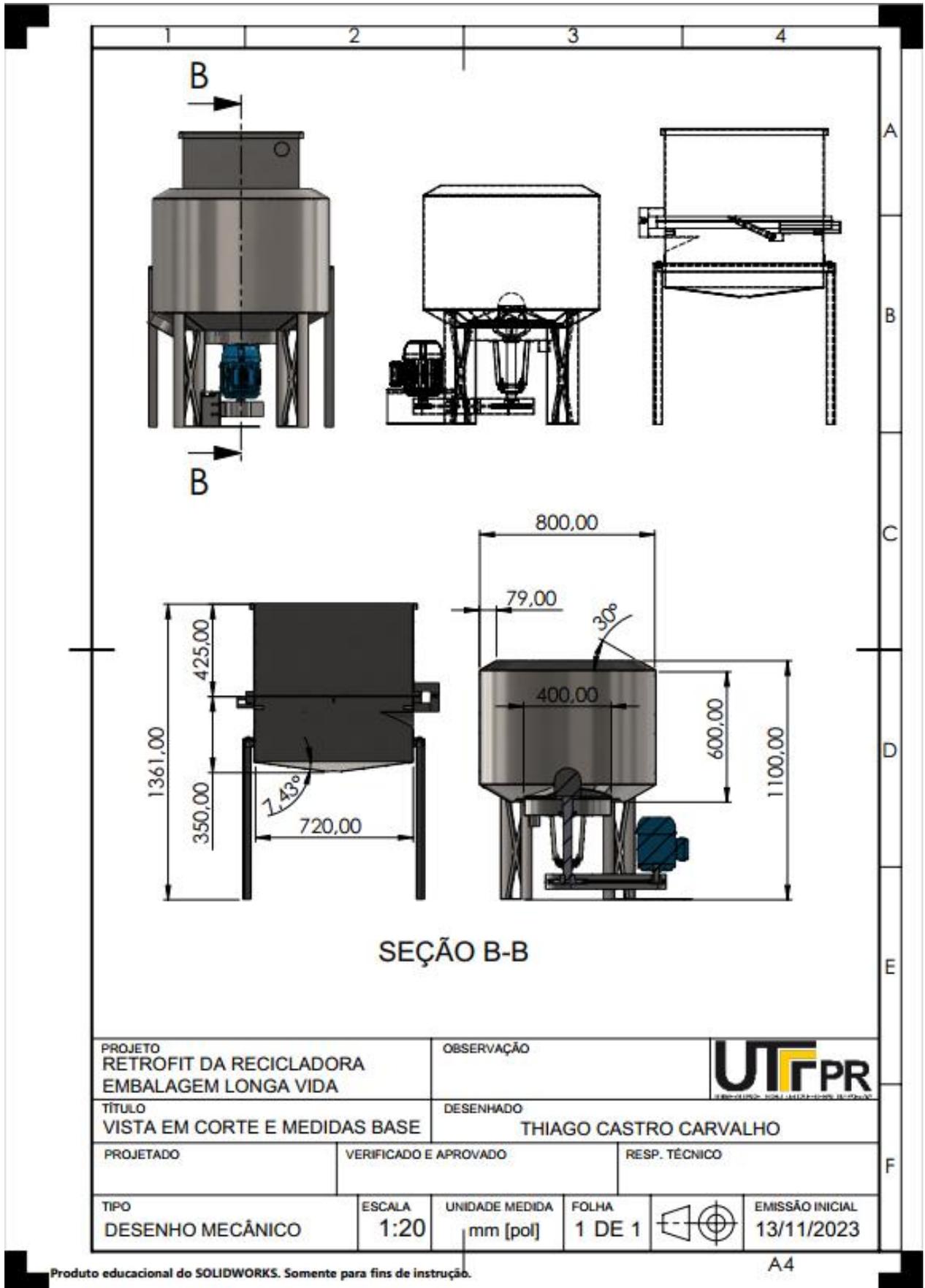
| | | | |
|-------------------------------------|--|-----------------------------------|--|
| PROJETO: RECIKLADORA EMBALAGEM | | OBSERVAÇÃO | |
| TÍTULO: VISTA EXPLODIDA "FORMADORA" | | DESENHADO: THIAGO CASTRO CARVALHO | |
| PROJETADO | | VERIFICADO E APROVADO | |
| TIPO: DESENHO MECÂNICO | | ESCALA: 1:10 | |
| UNIDADE MEDIDA: mm [pol] | | FOLHA: 1 DE 1 | |
| EMISSÃO INICIAL: 13/11/2023 | | RESP. TÉCNICO | |

UTFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Produto educacional do SOLIPWÓRK5- Somente para fins de instrução.

APÊNDICE B – Folhas de desenho do retrofit do equipamento

I – VISTA EM CORTE E MEDIDAS BÁSICAS



II - VISTA EXPLODIDA DO DESAGREGADOR E LISTA DE EQUIPAMENTOS

| Nº DO ITEM | Nº DA PEÇA | QTD. |
|------------|--------------------------------|------|
| 1 | TANQUE HIDRAPULPER | 1 |
| 2 | PENEIRA | 1 |
| 3 | ROTOR | 1 |
| 4 | EXO | 1 |
| 5 | Mancal f207 | 1 |
| 6 | RETENOR | 1 |
| 7 | ALETA | 3 |
| 8 | PÉ DE APOIO | 4 |
| 9 | POLIA MAIOR | 1 |
| 10 | MOTOR | 1 |
| 11 | POLIA MENOR | 1 |
| 12 | SUPORTE DO MOTOR | 1 |
| 13 | BASE DO MOTOR | 1 |
| 14 | TENSIONADOR | 2 |
| 15 | CORREIA | 1 |
| 16 | DIN EN 24015 - M8 x 30 x 30-C | 16 |
| 17 | DIN EN 24015 - M10 x 40 x 40-C | 6 |
| 18 | DIN EN 24015 - M12 x 45 x 45-C | 4 |
| 19 | PORCA DO TENSIONADOR | 4 |
| 20 | Hexagon Nut ISO 4034 - M8 - N | 12 |
| 21 | Hexagon Nut ISO 4034 - M10 - N | 6 |
| 22 | Hexagon Nut ISO 4034 - M12 - N | 4 |
| 23 | PROTEÇÃO DA CORREIA | 1 |

PROJETO RETROFIT DA RECICLADORA
 EMBALAGEM LONGA VIDA
 TÍTULO VISTA EXPLODIDA "HIDRAPULPER"
 PROJETADO VERIFICADO E APROVADO DESENHADO THIAGO CASTRO CARVALHO
 OBSERVAÇÃO
 UTPPR
 UTPPR - UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

TIPO DESENHO MECÂNICO
 ESCALA 1:20
 UNIDADE MEDIDA mm [pol]
 FOLHA 1 DE 1
 EMISSÃO INICIAL 13/11/2023
 A3

Produto educacional do SGLHW@RKS - Semente para fins de instrução.

III - VISTA EXPLODIDA DA FORMADORA E LISTA DE EQUIPAMENTOS

