

DESENVOLVIMENTO DE UMA MÁQUINA PARA A TRITURAÇÃO E GRANULAÇÃO DE GARRAFAS PET

Guilherme Pedroso Rodrigues¹
Karina Hilario da Silva Travassos²
Miqueias de Paula Santiago²
Yuri de Souza Oliveira²
Vinícius de Oliveira Barbosa³
Vitor Iotte Medeiros⁴
Nelson Cevidanes Nascimento de Assis⁵

guilhermep02@outlook.com

ÁREA DO CONHECIMENTO: Engenharias

RESUMO

A projeção e desenvolvimento de um produto ou um processo contribui para o avanço da sociedade. O ato de reciclar tem sido cada vez mais frequente. Para ajudar neste processo, equipamentos estão na linha de frente para transformar de forma fácil e rápida esses materiais. Objetivou-se com esse trabalho o desenvolvimento de uma máquina trituradora e granuladora de Polietileno Tereftalado (PET). Buscou-se entender a atual necessidade da nossa região e iniciou-se o trabalho de desenvolver todo o escopo de projeto com ideias, dimensionamentos, análises e desenhos do projeto, circuitos elétricos e normas voltadas para a parte de saúde e segurança do operador desse equipamento. Além disso, visou-se a otimização da mão de obra e peças para que seja um equipamento eficaz e que cumpra o objetivo tendo como um dos princípios o baixo custo.

PALAVRAS-CHAVE: Reciclagem de PET, Desenvolvimento Sustentável, Projeto de Máquina Trituradora.

INTRODUÇÃO

O ser humano desenvolve tecnologia para melhorar sua qualidade de vida desde os primórdios das civilizações. Na perspectiva histórica moderna, a revolução industrial promoveu um salto em relação a produção e consumo de bens materiais provenientes dos processos fabris. No entanto, concomitante a esse desenvolvimento há o descarte dos produtos quando estes deixam de servir ao propósito originalmente proposto (MAGALHÃES, 2018).

¹ Acadêmico do 6º período do curso de Engenharia Mecânica – UNIVÉRTIX. Bolsista do PIBIC – UNIVÉRTIX.

² Acadêmicos do 6º período do curso de Engenharia Mecânica – UNIVÉRTIX.

³ Graduado em Engenharia Mecânica pela UniRedentor, Especialista em Automação Industrial UCAM, Professor da Faculdade Vértix Trirriense – UNIVÉRTIX.

⁴ Licenciado em Química pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Mestre em Educação Química (UFJF). Professor da Faculdade Vértix Trirriense - UNIVÉRTIX.

⁵ Perfil

Nesse caso há a produção de resíduos que em sua grande maioria são eternos no ambiente de modo que não há decomposição por bactérias ou intempéries climáticas. Começa-se então na década de 60, especificamente em 1968 as reuniões globais para se pensar a respeito do desenvolvimento sustentável para a sociedade. Realizada em Paris, a Conferência da Unesco sobre a conservação e o uso racional dos recursos da biosfera, elaborou as bases para o Programa Homem e Biosfera (OLIVEIRA; LEONETI; CEZARINO, 2019).

Assim, a busca por solucionar os problemas decorrentes do consumo de bens materiais foi sendo objetivo de ambientalistas e entusiastas, até se tornar um objeto bem definido de pesquisa e desenvolvimento tecnológico (DE MOURA CARVALHO, 2001). O termo desenvolvimento sustentável (DS), como um novo paradigma foi expresso no relatório Nosso Futuro Comum (*Our Common Future*) (UN, 1987), sendo definido com o desenvolvimento para a satisfação da presente geração sem afetar que as gerações futuras sejam capazes de satisfazerem suas necessidades.

Um dos principais entraves para o DS são os resíduos plásticos. Os plásticos utilizados para envase de bebidas gaseificadas é um dos maiores poluidores ambientais. Nesse sentido, o presente projeto de pesquisa busca desenvolver um equipamento para o processo de trituração e separação granulométrica de garrafas de polietileno tereftalato (PET). Assim, pretende-se desenvolver um equipamento de trituração e granulação do PET, observando os aspectos de eficiência energética, o desenvolvimento sustentável sob a ótica econômica e a otimização de espaço físico.

Esse projeto se mostra potencialmente rentável, visto que poderia compor a cadeia produtiva de empresas de reciclagem, ocupando o menor espaço físico possível. Outra relevância desse projeto é a possibilidade de auxiliar a redução do volume de materiais descartados nos aterros sanitários, visto que a trituração destes resíduos facilita sua compactação, que além de otimizar o volume, facilita o empacotamento do PET, que torna a forma de transporte e venda mais prática e rápida. Outrossim, esse equipamento será utilizado em estudos posteriores de beneficiamento do material triturado objetivando produzir materiais de valor agregado.

Portanto, o presente projeto se justifica na medida que busca atender as demandas da sociedade atual e das futuras, observando os Objetivos de

Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, mais especificamente os 9, 11, e 12 (ONU, 2023).

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Ao campo das Engenharias compete a identificação de problemas, análise das informações coletadas e proposição de soluções tecnológica ou de processos a fim de melhorar a qualidade dos meios produtivos e consequentemente a qualidade de vida das pessoas em uma sociedade.

A atividade crucial no desenvolvimento de um produto e na solução de tarefas consiste num processo de análise e um subsequente processo de síntese que passa por etapas de trabalho e de decisão. Em geral, os procedimentos iniciam-se de forma qualitativa, tornando-se cada vez mais concretos e, portanto, quantitativos. (PAHL, 2005, p.87)

Os aspectos qualitativos desse projeto baseiam-se no entendimento do DS em suas dimensões, que segundo Sachs (2000), poderiam ser divididos em cinco dimensões principais – sustentabilidade social, territorial, cultural, ecológica e econômica. Particularmente o objetivo potencializa as dimensões ecológicas e econômica com clareza, visto que a redução de resíduos oriundos do descarte das garrafas PET auxilia no processo de reciclagem, potencializando o emprego do produto final em uma indústria, a qual será potencialmente uma fonte de produção de riqueza, gerando lucro através da reciclagem.

Nesse sentido o DS busca em suas dimensões que haja uma Economia Circular (EC), na qual não se verifique a necessidade de extração de matéria prima do meio ambiente.

Uma economia circular descreve um sistema econômico que se baseia em modelos de negócios que substituem o conceito de 'fim da vida'. Reduzindo, alternativamente, reutilizando, reciclando e recuperando materiais nos processos de produção/distribuição e consumo, operando assim no nível micro (produtos, empresas, consumidores), meso-nível (parques eco industriais) e macro nível (cidade, região, nacional e além), com o objetivo de alcançar o desenvolvimento sustentável, o que implica a criação de qualidade ambiental, prosperidade econômica e equidade social, em benefício das gerações atuais e futuras (KIRCHHERR *et al.*, 2017, p.2).

Um dos caminhos para a EC é a logística reversa instituída na Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010). Entretanto, essa lei não obriga os fabricantes de bebidas em garrafas PET que se faça a logística reversa desse resíduo, o que dificulta a promoção da EC.

A EC pode ser potencializada por meio das associações de catadores de recicláveis desde que haja incentivo financeiro para a reciclagem de garrafas PET. Nesse caso, se houver uma regulamentação para o trabalhador coletar os recicláveis, além do atendimento dos objetivos 9, 11 e 12 das ODS essa nova cadeia produtiva contribuirá para a ODS número 8.

O trabalho de Mancini, Bezerra e Zanin (1998, p.74) mostrou que

A injeção de corpos de prova a partir de garrafas moídas mostrou-se altamente produtiva, com níveis aceitáveis até o quarto passo, o que pode ser um indicativo que, para produtos 100% reciclados, a extrusão de “pellets” que se faz intermediariamente, pode ser eliminada.

Portanto, é viável e econômica e ambientalmente sustentável desenvolver pesquisa sobre a reciclagem de garrafas PET. Por conta do uso recorrente, o consumo por brasileiro é de 35 kg/hab, representando cerca de 13,5% de um total de 54,38 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (ABIPLAST, 2014). Os polímeros mais utilizados na fabricação de embalagens pós-consumo são o PET, o PEAD e o PP, em função das suas propriedades químicas e mecânicas.

O PET é empregado em embalagens de alimentos, fibras e é predominante nas embalagens de bebidas carbonatadas por sua boa permeabilidade ao gás. O PET possui uma boa relação entre rigidez e flexibilidade e pode ser processado facilmente por métodos termoplásticos, apresenta baixa resistência térmica e a solventes (LOKENS GARD, 2013).

Fundamentos de Projetos de Máquinas

Ao projetar uma máquina, no qual existem peças móveis, é importante considerar o projeto de um conjunto de peças inter-relacionadas sendo necessário aplicar os conceitos fundamentais da engenharia como estática, dinâmica, além da resistência e propriedades dos materiais. O foco de um projeto mecânico é dimensionar e dar forma aos componentes da máquina, com o objetivo de prevenir falhas (NORTON, 2014).

O dimensionamento de um componente está atrelado a sua função, material a ser utilizado, processo e a sua forma (geometria). Devido aos fatores relacionados o projeto mecânico se torna um processo iterativo, assim, quando se dispõe de informações a respeito de uma variável é possível manipular as demais (NORTON, 2014; ASHBY, 2012). Quando se desenvolve o projeto de um elemento mecânico é

importante avaliar como os fatores intrínsecos vão influenciar no desempenho da estrutura.

METODOLOGIA

Esse trabalho trata-se de uma pesquisa experimental utilizando-se do método hipotético-dedutivo (POPPER, 2004). O procedimento experimental será a construção de um equipamento de trituração e granulação de PET observando o DS e a EC. Utilizou-se a análise de eficiência energética, relação custo-benefício e tempo de operação como principais variáveis a serem quantificadas durante a operação do equipamento de modo a avaliá-lo. Nesta seção serão detalhadas as atividades a serem desenvolvidas no decorrer do trabalho, para atingir os objetivos propostos. É importante destacar que o projeto se encontra em andamento e que o mesmo foi submetido e aprovado no Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica – PIBIC – UNIVÉRTIX. Assim, os resultados apresentados consistem nos cálculos e desenvolvimento do projeto em 2D e 3D.

Revisão Bibliográfica

A primeira etapa do projeto será a revisão bibliográfica sobre trabalhos relativos ao PET pós-consumo, de modo a compreender sua produção e principais aplicações, além de suas propriedades mecânicas e as principais formas de reciclagem. Posteriormente serão pesquisados os tipos básicos de trituradores e granuladores para trituração do PET. A etapa de pesquisa será compreendida nos quatro primeiros meses do projeto, onde, além de pesquisa teórica, realizar-se-á um *benchmarking* para entender os equipamentos similares disponíveis no mercado.

Caracterização Mecânica do PET

Nesta etapa serão avaliadas as propriedades mecânicas do PET como polímeros pós-consumo. As propriedades serão mensuradas baseando-se nas normas de ensaio de tração (ASTM D638) e de cisalhamento (ASTM D732) para polímeros. Os corpos de provas para a caracterização foram obtidos através de embalagens descartadas em lixeiras de coleta seletiva, com o intuito de obter dados próximos da realidade.

Determinação dos Parâmetros do Projeto

Nesta etapa do trabalho se definirá o escopo da máquina, como o sistema de alimentação, sua capacidade de operação, tensão de funcionamento, o resultado da fragmentação (dimensão das partículas), além dos parâmetros iniciais do projeto, como a força necessária para romper o material e a geometria do mecanismo de corte. Será realizado um croqui para posteriormente projetá-la em softwares de desenho 3D.

Nessa primeira etapa, executar-se-á a aplicação da metodologia de projetos proposta por Norton (2014).

Dimensionamento Analítico dos Elementos de Máquinas

Essa etapa do trabalho será fundamental para determinar analiticamente uma relação adequada entre os materiais e sua geometria. O principal sistema dimensionado foi o mecanismo de corte que envolve a geometria das lâminas, eixos, mancais e engrenagens. Serão realizados os cálculos analíticos para encontrar o estado de tensões, que foram avaliadas a fim de identificar possíveis locais de falha para o dimensionamento dos componentes, respeitando a relação entre geometrias esforços, coeficientes de segurança e materiais.

Todo dimensionamento será realizado com base nas tensões de escoamento dos materiais e com equações normatizadas ou apontadas em livros de referência, como dos autores Norton (2014), Shigley (1984) e Collins (2006). Dentre os elementos de máquinas, espera-se: EIXO DE TRANSMISSÃO DE POTÊNCIA: critério ASME para flexão e torção estáticas e método GOODMAN e GERBER para fadiga; CHAVETAS: NORMA DIN 6885/1; ENGRENAGENS: ABNT NBR 6684; SISTEMAS DE REDUÇÃO: ABNT NBR 13766; ESTRUTURA DA MÁQUINA: conceitos de resistência de materiais; ROLAMENTOS: catálogo fornecedor – SKF; MANCAIS: catálogo fornecedor – SKF; LÂMINAS DE CORTE: BENCHMARKING; ESPESSURAS DE CHAPA PARA CARENAGEM: conceitos de resistência de materiais; UNIÕES SOLDADAS OU PARAFUSADAS: AWS D1

Seleção e Especificação dos Elementos de Máquinas e do Sistema Elétrico

Nesta etapa serão selecionados os demais componentes da máquina, como o sistema de redução, os mancais, engrenagens, parafusos e demais componentes.

Esses componentes serão especificados em função dos esforços atuantes em suas respectivas atuações. Também serão dimensionados o sistema de controle e operação da máquina, além dos demais componentes elétricos.

Nesse ponto, já com o dimensionamento devidamente realizado, realizar-se-á uma busca por itens comerciais e fornecedores autorizados para atender as exigências de projeto.

Memorial do Projeto

Na etapa final do projeto da máquina, será elaborado a documentação final nas formas de memoriais descritivo e de cálculo. A seguir será apresentado o esboço do conjunto para trituração, o esboço do conjunto para granulação, o croqui dos dois conjuntos unidos, o equipamento em 3D com apresentação de quatro faces e o painel elétrico do equipamento.

Esboço do Conjunto

A seguir pode-se observar o esboço da parte superior da máquina, conforme figura 1. Essa parte do equipamento servirá para a trituração do PET.

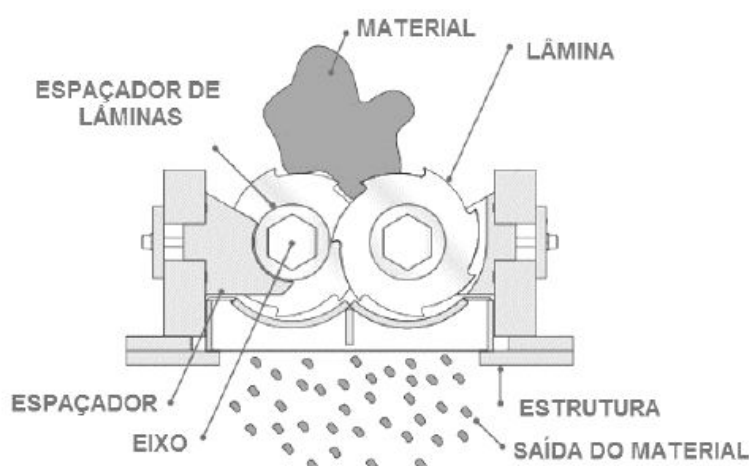


Figura 1: Croqui da parte superior interna do equipamento.

Fonte: Construída pelos autores (2023)

A seguir temos a figura 2, a qual representa a parte inferior do equipamento. Nesse processo, o objetivo é a granulação do PET conforme demandado pela empresa que utilizará o PET granulado.

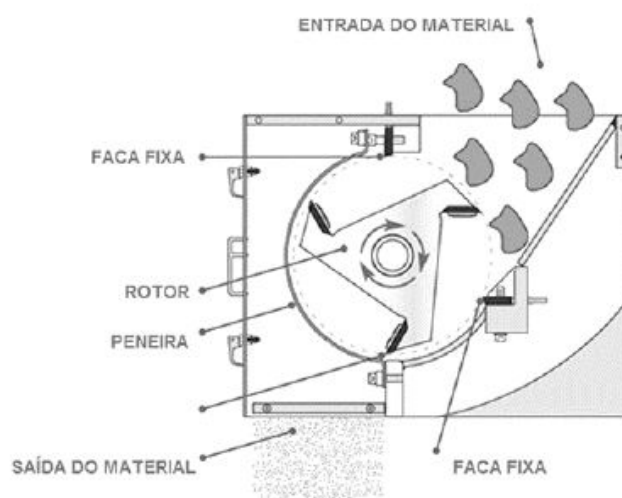


Figura 2: Croqui da parte inferior interna do equipamento.

Fonte: Construída pelos autores (2023)

Croqui do Conjunto

O equipamento foi dimensionado tendo como início o esboço representado abaixo, pela figura 4. Representando o conjunto superior e o inferior unidos no mesmo equipamento, buscando a economia de espaço e otimização nos processos industriais.

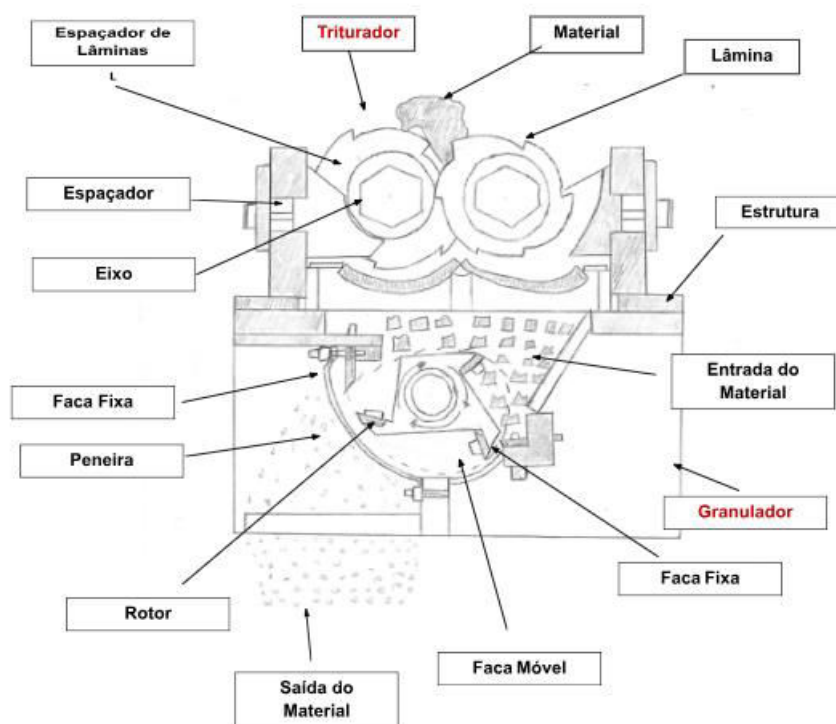


Figura 3: Croqui do conjunto superior e inferior.

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Após reuniões entre a equipe de pesquisa, por meio das reuniões do Grupo de Estudos Projetos Sustentáveis, elaborou-se os cálculos para o dimensionamento e o projeto do equipamento. A seguir, na figura 4, está representada as imagens obtidas pelo aplicativo de modelagem 3D em quatro perspectiva, sendo elas: (A) Vista superior; (B) Vista diagonal frontal (C) Vista frontal e (D) Vista lateral direita.

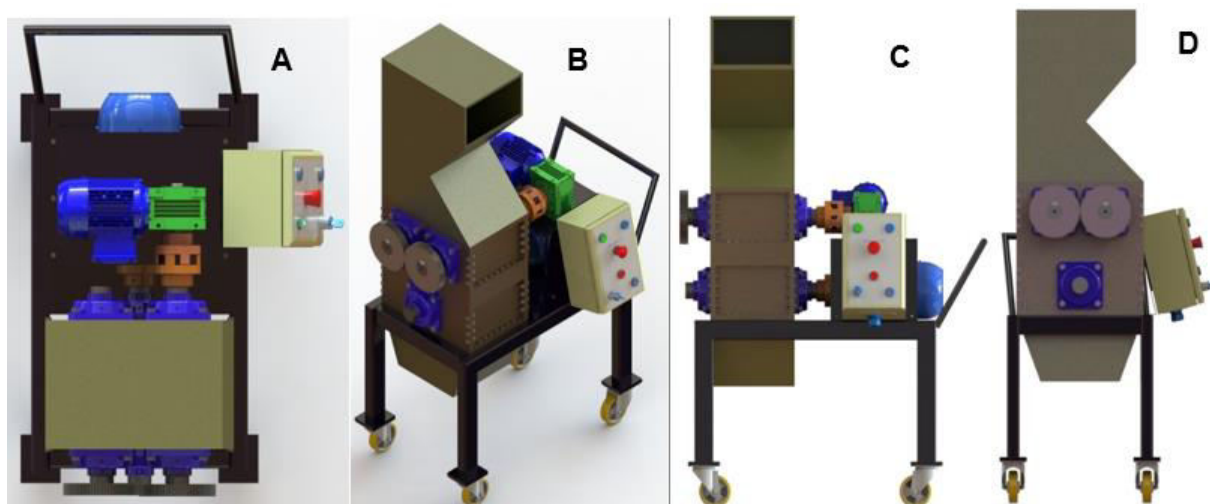


Figura 4: Projeto do equipamento após dimensionamento.

Fonte: Elaborada pelos autores (2023)

Desenvolvemos também, como podemos observar na figura 5, o esquema elétrico desenvolvido para o equipamento.

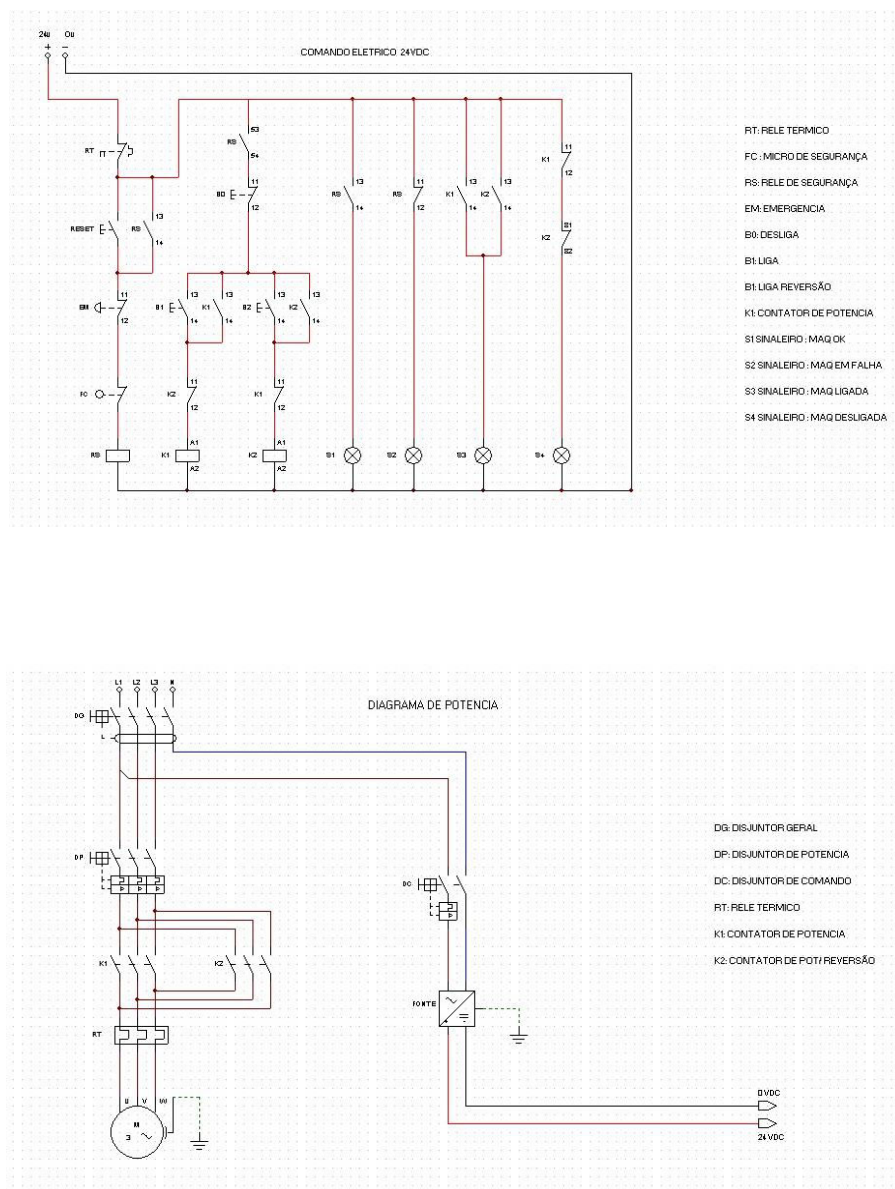


Figura 5: Esquema elétrico do equipamento.
Fonte: Construída pelos autores (2023).

Diante o exposto, o projeto seguirá para a elaboração do protótipo, a fim de fazer os testes operacionais do equipamento de modo a garantir para o cliente um quantitativo operacional. Essa construção do equipamento será realizada nas

dependências da Univértix – TR, sob orientação dos professores orientadores desse projeto em conjunto com os demais docentes do curso de Engenharia Mecânica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por se tratar de um estudo em andamento, concluiu-se o dimensionamento do equipamento, porém, como não foi possível construir o equipamento e realizar os testes, não foi possível elaborar o memorial do equipamento, ficando essa etapa a ser realizada nos próximos meses.

REFERÊNCIAS

ASHBY, M. **Seleção de Materiais no Projeto Mecânico**. Editora Elsevier Ltda. Rio de Janeiro, 2012.

Associação Brasileira da Indústria do Plástico – ABIPLAST. (2014). **Perfil 2014**. SP. Recuperado em 8 de maio de 2019, de <http://www.abiplast.org.br/site/estatisticas>.

BRASIL. Lei nº 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. 2010.

KIRCHHERR, J., REIKE, D., HEKKERT, M. "Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions". **Resources, conservation and recycling**. 127 (2017), pp. 221-232. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>>

LOKENS GARD, Erik. **Plásticos Industriais: teoria e aplicações**. Cengage Learning, 2013.

MANCINI, S. D.; BEZERRA, M. N.; ZANIN, M. Reciclagem de PET Advindo de Garrafas de Refrigerante Pós-Consumo. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**. 1998.

NORTON, R. L. **Projeto de Máquinas: uma abordagem integrada**, 4ª Ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

OLIVEIRA, Sonia Valle Walter Borges de; LEONETI, Alexandre; CEZARINO, Luciana O. **Sustentabilidade: princípios e estratégias**. [Digite o Local da Editora]: Editora Manole, 2019. E-book. ISBN 9788520462447. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520462447/>. Acesso em: 05 mar. 2023.

PAHL, Gerhard. **Projeto na Engenharia**. Editora Blucher, 2005. E-book. ISBN 9788521215516. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521215516/>. Acesso em: 05 mar. 2023.

SACHS, I. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2000.

[UN] UNITED NATIONS. World Commission on Environment and Development, 1987.

[UN] UNITED NATIONS. Sobre **Our common future**. o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. 2023. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 08 de março de 2023.

DE MOURA CARVALHO, Isabel Cristina. **Educação Ambiental e Movimentos Sociais: elementos para uma história política do campo ambiental**. Educação: Teoria e prática, p. 46-46, 2001.

MAGALHÃES, Regina; VENDRAMINI, Annelise. **Os impactos da quarta revolução industrial**. 2018.

POPPER, Karl R. **A lógica da pesquisa científica**. Editora Cultrix, 2004.