

DEFINIÇÃO DAS ESPECIFICAÇÕES DE PROJETO DE UM TRITURADOR DOMÉSTICO DE POLÍMEROS

Guilherme Maier Slaviero, guilherme.slaviero@acad.ufsm.br¹

César Gabriel dos Santos, cesar.g.santos@ufsm.br²

Leonardo Nabaes Romano, romano@mecanica.ufsm.br²

¹Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima nº 1000, Camobi - Santa Maria - RS

²Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima nº 1000, Camobi - Santa Maria - RS

Resumo. O artigo tem como objetivo definir as especificações de projeto de uma máquina doméstica para triturar polímeros. Foi utilizado o modelo PRODIP de Metodologia de Projeto de Produto, desenvolvendo as fases de Planejamento e Informacional do Projeto. Na Fase de Planejamento foram definidos o público alvo, características do produto, a Estrutura Analítica do Projeto e o orçamento inicial de projeto. Na Fase Informacional foram definidas as necessidades e requisitos dos clientes valorados pelo diagrama de Mudge, requisitos de projeto hierarquizados pelo QFD (Quality Function Deployment), máquinas disponíveis no mercado, finalizando com a definição das especificações de projeto. Como resultado, para a Fase de Planejamento, foi definido o uso doméstico como público alvo, com isso as características apresentadas para o produto são segurança, praticidade e fácil entendimento, tendo uma estimativa de valor final de R\$ 800,00. Para a Fase de Projeto Informacional foram identificadas quatro necessidades de cliente, convertidas em vinte e um requisitos de cliente e posteriormente traduzidos para dezenove requisitos de projeto. Foram identificadas sete máquinas disponíveis no mercado, finalizando a fase com dezoito especificações de projeto. Com isso, demonstra-se a relevância do desenvolvimento apropriado de um projeto de produto industrial para a definição de especificações de projeto claras e tangíveis.

Palavras chave: Projeto Mecânico. Metodologia. Reciclagem.

Abstract. The article aims to define the design specifications of a domestic machine for grinding polymers. The PRODIP model of Product Design Methodology was used, developing the Planning and Informational phases. In the Planning Phase, the target audience, product characteristics, the Work Breakdown Structure and the initial budget were defined. In the Informational Phase, customer needs were defined, customer requirements were ranked according to Mudge diagram, design requirements were ranked using QFD (Quality Function Deployment), machines available on the market were analyzed, and so finished with the definition of design specifications. As result, for the Planning Phase, the target audience was defined as domestic use, thus the presented product characteristics are safety, practicality and easy understanding, with an estimated final value of R\$ 800.00. For the Informational Design Phase, four customer needs were identified, converted into twenty-one customer requirements and subsequently translated into nineteen design requirements. Seven commercially available machines were identified, ending the phase with eighteen design specifications. This demonstrates the relevance of appropriate development of an industrial product project for the definition of clear and tangible design specifications.

Keywords: Mechanic Project. Methodology. Recycling.

1. INTRODUÇÃO

Segundo o relatório “Solucionar a Poluição Plástica: Transparência e Responsabilização” publicado em 2019 pela World Wide Fund for Nature - WWF (Fundo Mundial para a Natureza), existe a urgência de um acordo global para conter a poluição por plásticos que vem avançando nos últimos anos. Os países que são os maiores geradores de lixo plástico são os Estados Unidos, China, Índia e o Brasil na 4ª colocação no ranking mundial, com 11,3 milhões de toneladas ao ano. Desse total, 10,3 milhões de toneladas foram coletadas (91%), mas apenas 145 mil toneladas (1,28%) são efetivamente recicladas. O Brasil possui um dos menores índices de reciclagem plástica, apenas 9%, ficando abaixo da média mundial. Ainda, o Brasil produz em média 1 kg de lixo plástico por habitante a cada semana (WWF, 2019).

A parcela do lixo plástico que não é reciclado é destinada a queima ou incineração, este processo gera a liberação na atmosfera de gases tóxicos extremamente prejudiciais à saúde humana. O descarte ao ar livre também polui aquíferos, corpos d'água e reservatórios, provocando a longo prazo aumento de problemas respiratórios, doenças cardíacas e danos ao sistema nervoso das pessoas expostas. Nesse sentido, a alternativa ambientalmente mais adequada de descarte de plástico é destinar para a reciclagem, que além de reduzir a quantidade de rejeitos, também incide sobre uma menor necessidade de utilização plásticos virgens (WWF, 2019).

Demonstrada a importância ambiental e economia da reciclagem, entende-se que esta é o reprocessamento em um novo processo de produção dos resíduos de materiais para a finalidade inicial ou para outros fins, mas não incluindo a revalorização energética e a orgânica, como apresentado na Norma 15792 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010). Levando isso em consideração, define-se que o tipo de processo de reciclagem empregado com a máquina desejada é a do tipo mecânico. Com isso, os plásticos ao final de seu ciclo de vida, podem ser triados, moídos, lavados e granulados, e dessa forma, inseridos novamente como matérias-primas para a indústria, sendo transformados novamente em produtos plásticos. No Brasil, essa é a maneira mais utilizada para reciclar (FRAGA, 2014).

As principais etapas da reciclagem mecânica geralmente envolvem a separação dos contaminantes, moagem, lavagem, aditivação e extrusão do plástico. Na etapa de separação, retira-se os contaminantes do plástico, como papel, pó e outras impurezas. Durante a moagem, os resíduos de um mesmo tipo de material plástico são moídos. Já a lavagem, feita geralmente com água, porém pode ser usada a soda cáustica para a lavagem química em alguns casos. A aditivação incorpora certos aditivos ao produto, a fim de corrigir algumas propriedades. Por fim, na etapa de extrusão, o plástico é extrudado em filamentos, e posteriormente, granulado (FRAGA, 2014). Embora todas as etapas apresentadas sejam essenciais para a reciclagem plástica, o foco do artigo é a moagem, ou trituração, do plástico.

As máquinas que realizam a moagem são denominadas moinhos ou trituradores. Essas máquinas são caracterizadas, de acordo com a norma 15107 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017), por executar cortes de materiais plásticos por cisalhamento, por meio de lâminas rotativas e fixas no interior da câmara de corte, até que suas dimensões tenham sido reduzidas. Além do mecanismo de cisalhamento, o que diferencia moinhos e trituradores é sua forma de acionamento: enquanto os moinhos são acionados por correias de transmissão, trituradores tipicamente são acionados por meio de um redutor de velocidade (FRAGA, 2014).

No processo de desenvolvimento de um produto industrial, a inadequada ou imprópria definição das especificações de projeto pode causar uma sequência de definições que fará gerar uma solução para o problema diferente do requerido, ou obter-se uma solução erroneamente que não satisfaz as necessidades dos usuários (BACK et al., 2008).

Diante do exposto, o presente artigo tem como objetivo definir das especificações de projeto de uma máquina doméstica para triturar polímeros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A reciclagem de materiais contribui com a redução do descarte de resíduos sólidos no meio ambiente, em aterros sanitários e ainda nos lixões. A reciclagem também possibilita a reinserção de materiais no processo produtivo, reduzindo a utilização de matéria-prima virgem e, conseqüentemente, o consumo de energia, a extração de matérias-primas fósseis e as emissões de CO₂. Os processos de reciclagem de materiais plásticos podem ser de três tipos: mecânico, químico e energético. No Brasil, a técnica mais utilizada é a reciclagem mecânica e, em países europeus e asiáticos, a reciclagem energética é muito empregada, sendo a energia liberada na incineração recuperada na forma de vapor ou eletricidade. (FRAGA, 2014).

A reciclagem mecânica reutiliza os resíduos industriais (como por exemplo os descartes e peças fora de padrão) e plásticos pós-consumo (resíduos urbanos, sendo em maioria oriundos de embalagens em geral) para produzir novos produtos. O material proveniente dessa reciclagem possui propriedades inferiores às do material virgem, em virtude da contaminação e da mistura com outros tipos de materiais, propriedades essas que podem ser corrigidas por meio da incorporação de aditivos; seu valor de mercado é inferior ao do material pós-industrial (FRAGA, 2014). Neste processo, após a coleta do material, realiza-se sua separação, que pode ser por tipo de polímero, cor e/ou outros parâmetros. Esta separação é fundamental para manter a qualidade e as propriedades dos produtos que serão fabricados (MANO, 2005).

A próxima etapa é a redução em pequenos fragmentos, que auxilia não somente a diminuir o volume para transporte e armazenamento, mas também para processar o material nas próximas fases da reciclagem. A etapa de trituração é fundamental, já que é possível triturar basicamente qualquer tipo de material termoplástico permitindo sua reutilização (CALLISTER, 2007). Para esse propósito, é utilizado um triturador especificamente projetado para reduzir de maneira uniforme os materiais termoplásticos que, então, poderão ser empregados em diferentes processos de fabricação, como extrusão e injeção. Observa-se que o processo de limpeza pode ocorrer tanto antes quanto depois da trituração (MANO, 2005).

Um triturador de polímeros contém quatro componentes principais, conforme ilustra a Figura 1: uma unidade de alimentação, uma unidade de trituração, uma unidade de energia e a estrutura da máquina (AYO et al., 2017).

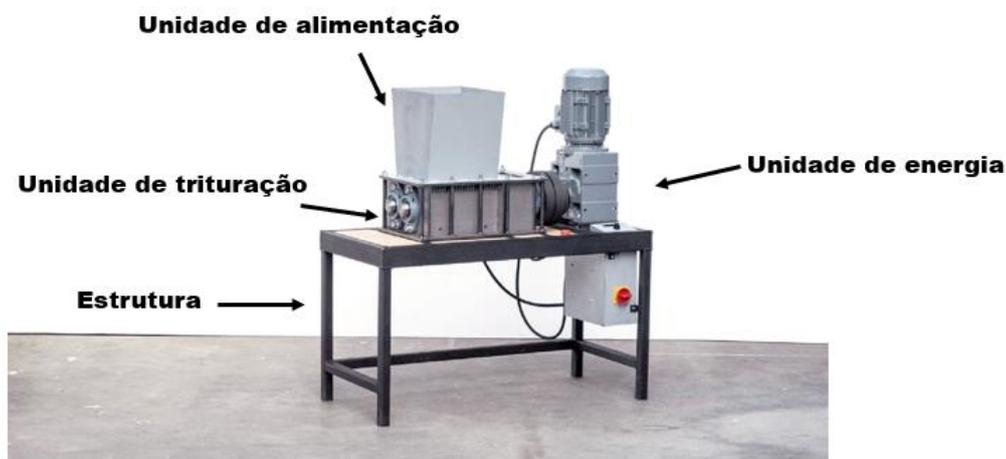


Figura 1. Principais componentes de um triturador de polímeros (adaptado de Precious Plastic, 2020)

No Quadro 1 é apresentado alguns modelos de máquinas comercializadas para triturar. Como o triturador a ser desenvolvido tem como foco o uso doméstico, são apresentados os modelos de menores potência disponibilizado por cada empresa. Nos produtos (a), (b), (f) e (g) do Quadro 1, o mecanismo de funcionamento é denominado *Shredder*. Esse mecanismo consiste em algumas lâminas posicionadas em um eixo horizontal que realizam o cisalhamento do material. Já os produtos (c) e (d) apresentam o mecanismo do tipo Moinho, que apresenta um conjunto de facas fixas e facas rotatórias que moem o material. Por fim, o produto (e) apresenta o mecanismo de Martelos, que moem o material devido ao impacto. Procurou-se produtos de diferentes finalidades para conhecer alguns mecanismos de trituração, e, portanto, foram analisados cinco produtos destinados à trituração de polímeros, um para forragem e um para papel.

Como descrição dos produtos avaliados, o produto (a) é do site brasileiro Megatec, que vende a unidade de trituração da iniciativa Precious Plastics. Apresenta um eixo hexagonal para acoplamento, e 13 lâminas com 2 dentes cada. Seu peso é aproximadamente de 15 kg. Não apresenta um motor, redutor, acoplamentos ou fiação para um triturador automatizado. Seu preço de venda é de R\$ 3.063,08.

O produto (b) é fabricado pela empresa italiana Futura Elettronica. Sua força motora é manual, pois necessita de uma manivela para operação. Tem 15 lâminas de aço inoxidável de 3 dentes, que são montados por dois eixos paralelos conectados entre si por 2 pinhões, um dos quais permite o acionamento manual por meio de uma chave tipo soquete de 30 mm, não inclusa com o produto. É vendido por 349 € na página eletrônica da Futura Elettronica, o que equivale a R\$ 2.212,56 (dezembro de 2020).

O produto (c) é de nível industrial, fabricado pela empresa brasileira SEIBT. Apresenta um motor elétrico monofásico de 1491 W (2 cv), 2 navalhas rotativas e 1 navalha fixa, que com uma rotação de 520 rpm produz até 40 kg/h. Contém também uma gaveta que armazena até 15 L de material processado, além de uma peneira de diâmetro customizável, de 6 a 12 mm. O quadro elétrico para operação e supervisão é opcional, adequado à norma NR12. O preço de venda é de R\$ 9.591,00 sem quadro elétrico e R\$ 14.576,00 com a opção do mesmo.

O produto (d) também é um triturador a nível industrial do tipo moinho, fabricado pela empresa brasileira RONE. Apresenta um motor elétrico de 2237 W (3 cv) trifásico, com uma produção entre 20 a 50 kg/h, dependendo do material requerido. Possui um quadro elétrico. O preço inicial de venda é de R\$ 15.000,00.

O produto (e) se trata de um triturador forrageiro, fabricado pela empresa brasileira CID. O modelo em questão é o CID 75 P, que apresenta um motor elétrico monofásico de 1118 W (1,5 cv) capaz de uma produção de até 670 kg/h de capim. Por se tratar de uma transmissão direta para o rotor, não contém uma redução, atingindo uma rotação de 3600 rpm. O rotor apresenta 2 facas intercambiáveis. O produto pesa aproximadamente 28 kg. É vendido por R\$ 700,00.

O produto (f) é da empresa brasileira Infor Draw. É equipado com um motor monofásico de 745 W (1 cv), que é capaz de produzir 30 kg/h de material triturado. Ainda apresenta 2 eixos com facas circulares para facilitar a trituração do plástico. Suporte para peneira é opcional, e as mesmas são vendidas separadamente. Pesa cerca de 18 kg. É vendido por R\$ 10.000,00.

Por último, o produto (g) é a fragmentadora de papel AS1060SB fabricado pela empresa americana Aurora. O modelo em questão foi selecionado pelo seu custo benefício, já que está na faixa dos R\$ 370,00. A solução encontrada para o mecanismo de trituração é denominado *Shredder*, que fragmenta o papel através de pequenas lâminas ligadas a um motor elétrico. Seu cesto tem capacidade de armazenamento de 13,2 L. Opera na tensão de 220 volts. Apresenta o peso de 3,7 kg.

Quadro 1. Máquinas disponíveis no mercado ((a) Megatec, 2020; (b) Futura Elettronica, 2020; (c) SEIBT, 2020; (d) RONE, 2020; (e) CID, 2020 (f) Infor Draw, 2020; (g) Aurora, 2020).

	Megatec caixa de lâminas montada	Futura Elettronica Mini	SEIBT 120LRX	RONE N. 150	CID 75 P	Infor Draw 1cv	Aurora AS1060SB
Produto							
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)
Potência	Não possui	Não possui	1491 W (2 cv)	2237 W (3 cv)	1118 W (1,5 cv)	745 W (1 cv)	N/I*
Mecanismo	<i>Shredder</i>	<i>Shredder</i>	Moinho	Moinho	Martelos	<i>Shredder</i>	<i>Shredder</i>
Finalidade	Polímeros	Polímeros	Polímeros	Polímeros	Forragem	Polímeros	Papel
Produção	N/I*	N/I*	N/I*	50 kg/h	670 kg/h	30 kg/h	2,5 m/min
Preço	R\$ 3.063,08	349 € (R\$ 2.165,63 em dez. 2020)	R\$ 14.576,00	R\$ 15.000,00	R\$ 700,00	R\$ 10.000,00	R\$ 370,00

*N/I = Não informado

Na literatura verificam-se iniciativas relacionadas ao desenvolvimento de trituradores de plástico. No trabalho de Ayo *et al.* (2017), os autores identificaram uma baixa taxa de reciclagem na Nigéria, com isso, dedicaram-se em desenvolver uma máquina para trituração de plástico com custo acessível para centros de reciclagem de pequeno a médio porte (Figura 2a). As principais especificações do produto desenvolvido são: (i) capacidade para trituração de diferentes materiais; (ii) motor de 7456,98 W (10 Hp); (iii) capacidade de produção de 30 kg/h e (iv) granulometria média de 13 mm².

Já Conte e Mori (2019) desenvolveram um triturador de baixa complexidade para o uso na Universidade Tecnológica Federal do Paraná em Curitiba, Brasil (Figura 2b). As especificações do produto são: (i) motor de 186 W (1/4 Hp); (ii) dimensões básicas de 1580 mm de altura, 550 mm de largura e 650 mm de comprimento; (iii) capacidade para trituração de PET (Polietileno tereftalato), ABS (acrilonitrila butadieno estireno) e PLA (poliácido láctico); (iv) custo do produto de R\$ 1692,00.

Da mesma forma, Ekman (2018) desenvolveu um triturador para incentivar a reciclagem de plásticos dentro de sua universidade na Suécia, e futuramente, contribuir com projetos de outros alunos. A Figura 2c mostra a concepção final de seu triturador, que apresenta as seguintes especificações: (i) motor de 2200 W (3 Hp); (ii) motorreductor de 1/40 reduzindo a rotação para cerca de 70 rpm; (iii) possui rodas que possibilitam o transporte da máquina; (iv) custo de produção de 180 € (R\$ 1104,48 em dezembro de 2020).

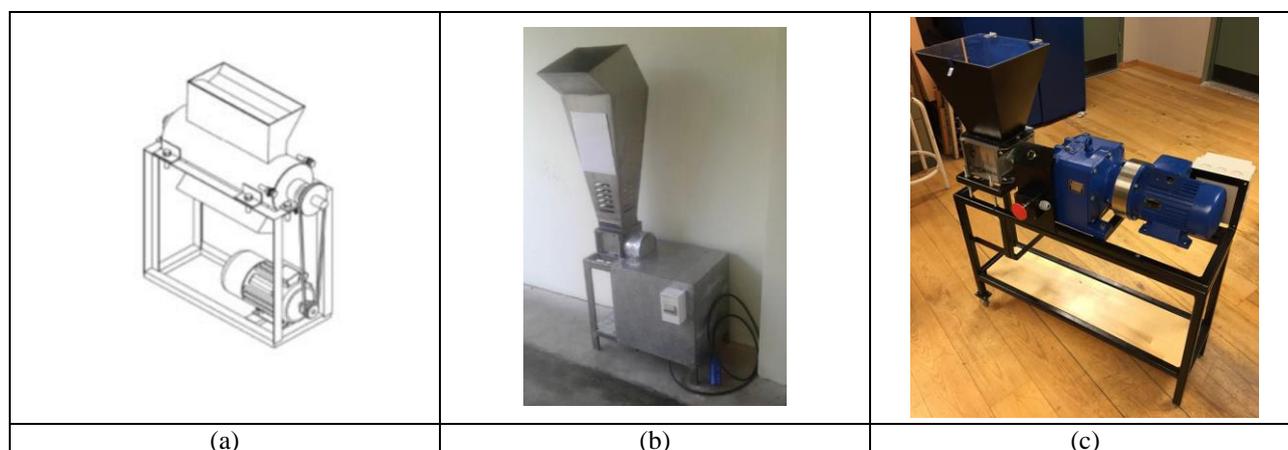


Figura 2. Diferentes concepções de trituradores encontradas na revisão bibliográfica ((a) Ayo *et al.*, (2017); (b) Conte e Mori (2019); (c) Ekman (2018)).

Para o desenvolvimento de um produto, é importante a utilização de uma Metodologia de Projeto de Produto, que tem como objetivo, demonstrar um procedimento planejado com indicações de condutas a serem observadas durante o desenvolvimento de sistemas técnicos. Esse procedimento é resultante de conhecimentos na área da ciência de projeto e da experiência com diferentes aplicações (BACK, et al., 2008).

No Processo de Desenvolvimento de Produtos Industriais, apresentado por Back et al. (2008), na Figura 3, tem-se que o processo é composto por três macro fases denominadas de Planejamento, Projetação e Implementação. A macro fase de Planejamento é composta pelas fases de Planejamento do Produto e Planejamento do Projeto. Já a macro fase Projetação é composta pelas fases de Projeto Informacional, Projeto Conceitual, Projeto Preliminar e Projeto Detalhado. Finalizando com a macro fase Implementação que é composta pelas fases Preparação da Produção, Lançamento e Validação. Cada fase gera um documento de saída que passa a ser utilizado como documento de entrada para a próxima fase.

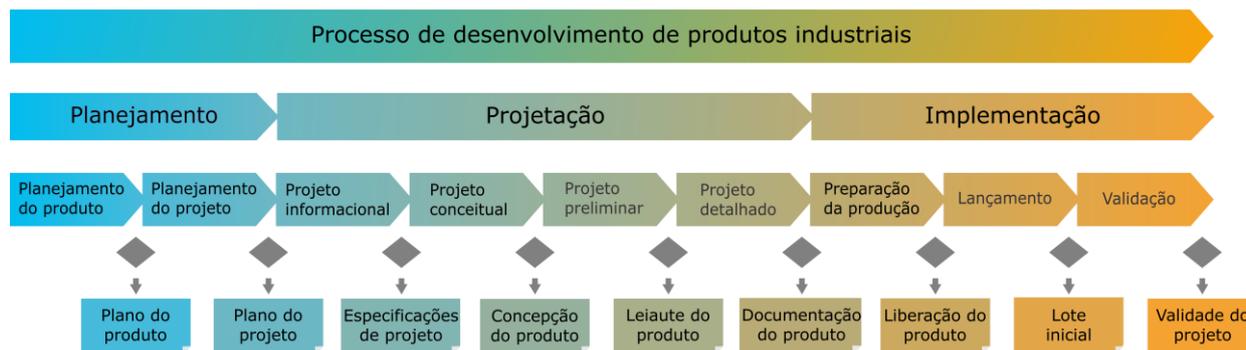


Figura 3. Versão adaptada do modelo PRODIP (Back et al., 2008)

Tendo em vista que o objetivo do artigo está na definição das especificações de projeto, verifica-se no modelo de Back et al., (2008) que para isso, realiza-se a macro fase de Planejamento do Projeto, que se destina ao planejamento e organização do trabalho a ser desenvolvido ao longo do processo. A partir do planejamento de marketing, a criação do projeto é formalizada. É nessa fase que se identificam as partes envolvidas (clientes, parceiros e participantes), se elabora o escopo do projeto (justificativa, restrições, características e objetivos). Tendo isso feito, é elaborado a estrutura de composição do projeto e avaliado seus riscos. É definida também a equipe de gerenciamento, que será responsável pela criação do plano de projeto e avaliará sua conformidade durante todo o andamento.

A definição das especificações de projeto é o documento de saída da fase de Projeto Informacional, assim realiza-se a identificação das necessidades dos clientes, definição dos requisitos de projeto e identificação dos produtos disponíveis no mercado. Como produto resultante dessas atividades desenvolvidas vão ser apresentadas as especificações de projeto, que devem atender o escopo de projeto (BACK et al., 2008).

3. METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos realizados consistem na elaboração da Fase de Planejamento do Produto e Projeto Informacional. Na Fase de Planejamento de Produto, foram desenvolvidas as atividades representadas pela Figura 4. As informações geradas na etapa 1, 2, 3 e 4 geram o Plano do Projeto.



Figura 4. Atividades desenvolvidas durante a Fase de Planejamento de Produto (Autor, 2020)

1 – Conforme aponta Baxter (2011), é comum analisar os produtos concorrentes antes da pesquisa de mercado, pois isso favorece uma melhor estruturação das questões formuladas e esclarecimento acerca do propósito das mesmas. Dessa forma, a obtenção de informações pertinentes dos consumidores potenciais foi facilitada. Tendo isso em vista, foram analisados sete modelos de trituradores encontrados no mercado, já apresentados no Quadro 1, permitindo a identificação das principais funções do produto, bem como seus fabricantes ou vendedores, potência, finalidade, capacidade de produção e preços de venda.

2 – A Pesquisa de Mercado foi realizada por meio de um questionário *on-line* usando a ferramenta *Google Forms*. Onde foi apresentado as necessidades dos clientes, que foram previamente extraídas da análise dos produtos disponíveis no mercado. Sendo elas: (i) capacidade de moer peças acima de 20 cm; (ii) ser motorizado; (iii) ser seguro; (iv) ser silencioso; (v) ser fácil de transportar; (vi) ser automatizado; (vii) ser leve; (viii) seja durável; (ix) ser esteticamente agradável; (x) ser barato; (xi) ser prático; (xii) ser potente; (xiii) ser possível a troca de peneira. Como opção de respostas foi utilizado a escala Likert, variando de nada importante (0 pontos) até muito importante (5 pontos).

3 – Procurou-se desenvolver as características do produto visando o uso doméstico e das respostas da etapa 2.

4 – O público alvo foi definido como clientes que queiram usar o produto em ambientes residenciais ou em oficinas de reciclagem de pequeno a médio porte, onde a demanda é relativamente baixa, não alcançando níveis industriais.

Subseqüentemente, as atividades desenvolvidas durante a Fase de Projeto Informacional são apresentadas na Figura 5.



Figura 5. Atividades desenvolvidas durante a Fase de Projeto Informacional (Autor, 2020)

1 – A definição das necessidades dos clientes foi realizada de forma antecipada na etapa da Pesquisa de Mercado.

2 – Os requisitos dos clientes correspondem as necessidades dos clientes transcritas para uma linguagem técnica de engenharia.

3 – A valoração dos requisitos de cliente foi realizada por meio da aplicação do Diagrama de Mudge, que consiste em uma matriz de avaliação onde se compara os requisitos de cliente entre si. Como critério de importância dos requisitos, foram considerados os resultados da Pesquisa de Mercado realizada.

4 – A tradução em Requisitos de Projeto se dá através do desdobramento dos Requisitos de Cliente em termos passíveis de quantificação.

5 – A Hierarquização dos Requisitos de Projeto foi realizada através do método da matriz QFD. Essa etapa tem como objetivo evidenciar as métricas e as características técnicas a ser desenvolvidas no produto.

6 – As Especificações de Projeto são obtidas através da definição de um valor meta para cada Requisito de Projeto. Além disso, foi definido o modo de verificação desse valor e os possíveis riscos caso o mesmo não seja atendido.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos são apresentados e discutidos nas subseções 4.1 e 4.2.

4.1. Fase de Planejamento de Projeto

A primeira etapa realizada na fase foi a análise dos produtos existentes no mercado. O Quadro 1 reúne as principais informações obtidas.

A pesquisa de mercado revelou as expectativas de possíveis consumidores do produto. Como principais resultados, vale ressaltar os seguintes requisitos de cliente: ser motorizado tem a maioria das respostas (53,5%) concentradas no item que indica maior importância, indicando ser vital para o sucesso do produto e ser seguro, tem seu resultado quase unânime (95%) dos respondentes acha que é de maior importância.

Para o desenvolvimento das características do produto, se considerou o uso pretendido para o mesmo, que é o uso doméstico. Para atender isso, se espera que o produto execute esse objetivo de maneira satisfatória, que tenha fácil operação, seja durável, de fácil limpeza, fácil manutenção e principalmente, seja seguro. É destinado a clientes que queiram usá-lo em ambiente residencial ou em oficinas de reciclagem de pequeno a médio porte, onde a demanda de uso é relativamente baixa, não alcançando níveis industriais.

Com essas informações, foi possível estipular o custo meta entre R\$ 600,00 e R\$ 1000,00. Posteriormente, foi construída a Estrutura Analítica do Projeto, como pode ser visto na Figura 6, demonstrando o enfoque do presente artigo e os passos definidos para as fases seguintes.

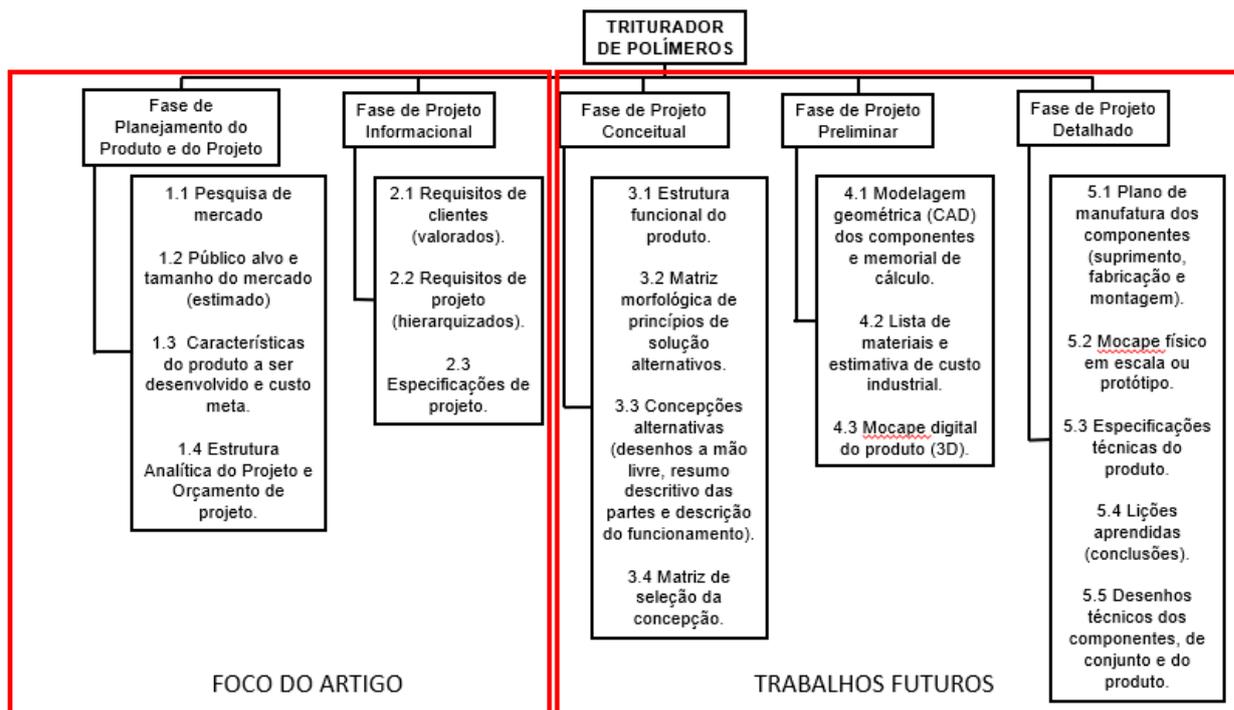


Figura 6. Estrutura Analítica do Projeto (Autor, 2020)

4.2. Fase de Projeto Informacional

Dentre os principais resultados da fase, é possível apresentar a conversão das cinco Necessidades dos Clientes em vinte e um Requisitos dos Clientes, através do Quadro 2.

Quadro 2. Conversão das Necessidades dos Clientes em Requisitos dos Clientes (Autor, 2020)

Número	Necessidades do cliente	Número	Requisitos do Cliente
1	Ser prático.	1	Ser de fácil limpeza.
		2	Ser de fácil manutenção.
		3	Ser transportável.
		4	Ser automatizado.
		5	Possuir peneira cambiável.
		6	Ser leve.
		7	Ser de operação simplificada e objetiva.
2	Ser seguro.	8	Possuir funil adequado.
		9	Acessar as lâminas com segurança.
		10	Possuir botão de emergência.
3	Ser eficiente.	11	Ser motorizado.
		12	Ser potente.
		13	Ser esteticamente agradável
		14	Poder moer peças grandes.
		15	Ter regulagem das lâminas.
		16	Ser silencioso.
4	Ter custo acessível.	17	Ser fabricado com materiais com grande disponibilidade.
		18	Ser de fácil fabricação.
		19	Ser de fácil montagem.
5	Ser durável.	20	Ser resistente à oxidação.
		21	Possuir boa resistência mecânica.

Posteriormente, foi construída a valoração dos Requisitos dos Clientes pela comparação relativa entre os mesmos, obtida através do Diagrama de Mudge. Seu resultado é apresentado no Quadro 3.

Quadro 3. Valoração dos requisitos de Clientes (Autor, 2020)

Classificação	Número	Requisito de Clientes	Valor	%
1°	7	Ser de operação simplificada e objetiva	35	10,00%
2°	11	Ser motorizado	32	9,14%
3°	9	Acessar as lâminas com segurança	30	8,57%
4°	17	Ser fabricado com materiais com grande disponibilidade	28	8,00%
5°	21	Possuir boa resistência mecânica.	28	8,00%
6°	4	Ser automatizado	27	7,71%
7°	8	Possuir funil adequado	26	7,43%
8°	10	Possuir botão de emergência	24	6,86%
9°	18	Ser de fácil fabricação.	21	6,00%
10°	20	Ser resistente à oxidação.	16	4,57%
11°	1	Ser de fácil limpeza	16	4,57%
12°	5	Possuir peneira cambiável	12	3,43%
13°	3	Ser transportável	12	3,43%
14°	19	Ser de fácil montagem.	11	3,14%
15°	2	Ser de fácil manutenção	8	2,29%
16°	14	Poder moer peças grandes	7	2,00%
17°	12	Ser potente	7	2,00%
18	15	Ter regulagem das lâminas	6	1,71%
19°	16	Ser silencioso	2	0,57%
20°	6	Ser leve	2	0,57%
21°	13	Ser esteticamente agradável	0	0,00%
TOTAL			350	100,00%

Os resultados obtidos através do Diagrama de Mudge indicam que o requisito do cliente mais importante a ser considerado no projeto do triturador de polímeros é o requisito 7: Ser de operação simplificada e objetiva. Esse é um resultado esperado, já que o entendimento da operação do produto está diretamente ligado com a segurança do mesmo. O segundo requisito mais importante é o de número 11: Ser motorizado. Esse resultado é justificado pelo fato dessa característica influenciar diretamente no funcionamento e praticidade do produto. É importante ressaltar que o requisito dos clientes de número 13, considerado menor prioridade segundo o Diagrama de Mudge, também tem sua importância. Embora tenha obtido um valor nulo, essa análise é feita de forma comparativa, ou seja, foi considerado de menor prioridade que os outros requisitos. Esse requisito influencia no *design* final do produto, materiais escolhidos e seus acabamentos, podendo afetar seu custo final, que deve ser o mais baixo possível.

Com o resultado da ordenação de importância dos requisitos de clientes, o passo seguinte foi a identificação dos requisitos de projeto. Após sua identificação, os requisitos de projeto foram hierarquizados usando o método da matriz QFD, conforme apresentado na Figura 7.

Como decisão de projeto, foi definido que o requisito dos clientes de número 13 “Ser esteticamente agradável” foi desconsiderado para a conversão em requisito de projeto e, conseqüentemente, da hierarquização dos requisitos de projeto. Essa decisão se deu pela subjetividade do requisito, o que o torna de difícil quantificação.

Grau de Relacionamento		Planejamento de Qualidade	
		VALOR RELATIVO	
		VALOR ABSOLUTO	
	Resistência ao escoamento (MPa)	(+)	(-)
	Taxa de corrosão dos materiais (µm)	(-)	(+)
	Preço dos materiais usados (R\$)	(-)	(+)
	Ruído (dB)	(-)	(+)
	Número de regulagens das lâminas	(+)	(-)
	Área do bocal de alimentação (mm²)	(+)	(-)
	Seja esteticamente atrativo (??)	(+)	(-)
	Potência do motor (cv)	(+)	(-)
	Apresentar motor (nº)	N	N
	Apresentar botão de emergência (nº)	N	N
	Número de travas do funil (nº)	(+)	(-)
	Comprimento do funil (mm)	(+)	(-)
	Número reduzido de funções elementares (nº)	(-)	(+)
	Massa (kg)	(-)	(+)
	Espaço disponível para peneira (mm)	(+)	(-)
	Permitir 2 sentidos de rotação (nº)	N	N
	Número de rodas presentes (nº)	(+)	(-)
	Número de elementos na estrutura (nº)	(-)	(+)
	Rugosidade (µm)	(-)	(+)
1	Ser de fácil limpeza	5	3
2	Ser de fácil manutenção	1	5
3	Ser transportável	0	3
4	Ser automatizado	0	1
5	Possuir peneira cambiável	3	5
6	Ser leve	0	3
7	Ser de operação simplificada e objetiva	0	5
8	Possuir funil adequado	1	0
9	Acessar as lâminas com segurança	0	3
10	Possuir botão de emergência	0	1
11	Ser motorizado	0	5
12	Ser potente	0	0
13	Ser esteticamente agradável	5	3
14	Poder moer peças grandes	0	0
15	Ter regulagem das lâminas	0	5
16	Ser silencioso	0	1
17	Ser fabricado com materiais com grande disponibilidade	5	1
18	Ser de fácil fabricação.	3	5
19	Ser de fácil montagem.	3	5
20	Ser resistente à oxidação.	1	1
21	Possuir boa resistência mecânica.	1	1
Requisitos de Cliente		Requisitos de Projeto Hierarquizados	
		430	930
	Valor da importância	15º	3º
	Classificação da importância	722	373
		305	606
		796	509
		4º	5º
		305	764
		19º	7º
		722	1076
		7º	2º
		491	467
		13º	14º
		491	410
		13º	8º
		467	629
		14º	6º
		491	519
		13º	11º
		467	1218
		14º	1º
		491	758
		13º	6º
		467	560
		14º	10º

Figura 7. Desdobramento da Função de Qualidade (QFD) (Autor, 2020)

A hierarquização dos requisitos de projeto é mostrada no Quadro 4.

Quadro 4. Hierarquização dos requisitos de projeto (Autor, 2020)

Classificação de Prioridade	Número	Requisitos de projeto	Valor
1º	17	Preço dos materiais (R\$)	1218
2º	11	Apresentar motor (nº)	1076
3º	2	Elementos na estrutura (nº)	930
4º	4	Permitir 2 sentidos de rotação (nº)	796
5º	10	Possuir botão de emergência (nº)	764
6º	18	Taxa de corrosão dos materiais (µm/ano)	758
7º	6	Massa (kg)	722
8º	15	Regulagens das lâminas (nº)	629
9º	8	Comprimento do funil (mm)	606
10º	19	Resistência ao escoamento (MPa)	560
11º	16	Ruído (dB)	519
12º	9	Travas do funil (nº)	509
13º	12	Potência do motor (cv)	491
14º	1	Rugosidade (µm)	430
15º	14	Área do bocal de alimentação (mm ²)	410
16º	7	Funções elementares (nº)	373
17º	3	Rodas presentes (nº)	315
18º	5	Espaço disponível para peneira (mm)	305

Os resultados obtidos com o método QFD indicam que o requisito de projeto de maior prioridade de atendimento é o número 17: Preço dos materiais (R\$). Esse resultado é justificado, pois o valor final do produto está relacionado, de maneira efetiva, a vários requisitos dos clientes, principalmente no que tange à sua qualidade. O segundo requisito mais importante é o 11: apresentar motor (nº). Diferente do requisito número 17, o requisito número 11 não está relacionado a tantos requisitos dos usuários. Porém, se levar em conta a pesquisa de mercado realizada, foi apontado que o motor é um item essencial para este tipo de produto, aumentando sua produtividade e praticidade, porém elevando seu custo. Já o terceiro requisito com maior prioridade é o de número 2: Elementos da estrutura (nº). A principal razão desse requisito estar numa posição alta é a intenção de tornar a fabricação e montagem do produto simples, porém eficiente. O requisito afeta diretamente no valor final do produto.

Por fim, para a determinação das especificações de projeto, foi definido um valor meta para cada requisito de projeto. Além disso, para cada valor meta foi definido seu modo de verificação correspondente e os possíveis riscos caso o mesmo não seja atendido. O resultado dessa definição é mostrado no Quadro 5.

Quadro 5. Especificações de projeto (Autor, 2020)

Classificação	Requisitos de projeto	Valor meta	Modo de verificação	Possíveis riscos
1º	Preço dos materiais (R\$)	$R\$ 600,00 \leq \text{Valor} \leq R\$ 1000,00$	Planilha de custos.	Custo final ficar acima do valor estabelecido.
2º	Apresentar motor (nº)	$0 \leq n^\circ \leq 2$	Contagem.	Não irá exercer a função de trituração.
3º	Elementos da estrutura (nº)	$n^\circ \leq 50$	Contagem.	Dificultar a fabricação e a montagem, aumentando o custo do produto.
4º	Permitir 2 sentidos de rotação (nº)	$n^\circ = 2$	Teste de funcionamento.	Decréscimo da produção por causa do emperramento.
5º	Possuir botão de emergência (nº)	$n^\circ \geq 1$	Contagem.	Não cumprir a NR-12, tornando-se um produto potencialmente inseguro.
6º	Taxa de corrosão dos materiais da estrutura (mm/ano)	$\leq 0,025 \text{ mm/ano}$	Ensaio de corrosão.	Reduzir a vida útil do produto.

7°	Massa (kg)	≤ 15 kg	Pesagem em uma balança.	Dificultar transporte.
8°	Regulagens das lâminas (n°)	$0 \leq n^\circ \leq 2$	Contagem.	Ser impossível que a trituração resulte diferentes granulometrias.
9°	Comprimento do funil (mm)	≥ 500 mm	Medição com trena.	Reduzir a segurança de operação do produto.
10°	Resistência ao escoamento (MPa)	≥ 240 MPa	Ensaio de tração do material.	Reduzir a vida útil do produto.
11°	Ruído (dB)	≤ 95 dB	Medição com decibêlmetro.	Estressar o operador e provocar poluição sonora.
12°	Travas do funil (n°)	$n^\circ \geq 1$	Contagem.	Dificultar a limpeza ou manutenção do produto.
13°	Potência do motor (cv)	$\geq 1,5$ cv	Consultar informação técnica do motor disponibilizada pelo fabricante.	Não ser cumprida a principal função do produto.
14°	Rugosidade (μm)	$\leq 7,5$ μm	Rugosímetro.	Dificultar a limpeza do produto.
15°	Área do bocal de alimentação (mm^2)	≥ 30.000 mm^2 (150 mm x 200 mm)	Medição com paquímetro.	Não ser possível triturar peças grandes.
16°	Funções elementares (n°)	$n^\circ \leq 8$	Contagem do número de funções elementares.	Dificultar o entendimento de operação do produto.
17°	Rodas presentes (n°)	Máximo 4 rodas	Contagem do número de rodas.	Dificultar o transporte do produto.
18°	Espaço disponível para peneira (mm)	≤ 10 mm	Medição com paquímetro.	Impossibilitar a presença ou troca de uma peneira.

O valor meta referente ao preço dos materiais utilizados foi estabelecida tendo como referência os valores dos produtos de (a) a (g) agrupados e analisados no Quadro 1. Foi estabelecida uma faixa de preço aceitável para o produto a nível doméstico, tendo em vista que os produtos analisados são, em sua maioria, de porte industrial. É esperado que o preço final do produto esteja entre R\$ 600,00 e R\$ 1000,00. Essa faixa apresenta valores superiores ao do produto (g), porque o mesmo apresenta uma finalidade diferente do triturador desejado, e ainda, inferiores aos produtos (c), (d) e (f) que são destinados ao uso industrial.

Já o valor meta referente ao item da taxa de corrosão ser menor de 0,025 mm/ano tem como referência a norma NACE RP-07-75 (1999). A norma estabelece a classificação de corrosividade de um meio como àquele que propicia uma taxa de corrosão uniforme e recomenda que a sua aplicação obedeça às faixas indicadas. Esse valor meta foi definido por ser classificado, segundo a norma, como o valor máximo da taxa de baixa corrosividade.

O valor meta de comprimento do funil de 500 mm tem como referência a soma do comprimento médio do antebraço e da palma de um homem adulto, segundo o estudo de Checchia (2006). O estudo aponta que o antebraço mede, em média, 242 mm e a palma da mão de 228 mm, que somados são 470 mm.

O valor meta da resistência ao escoamento foi definido por um mínimo de 240 MPa, com referência ao do aço AISI 302. Essa grandeza se trata do limite de escoamento mínimo teórico para a variante de aço inoxidável em questão.

O valor meta de ruído, definido para se atingir valores menores a 95 dB, foi definido tendo como base a NR-15, que permite uma exposição diária máxima de 2 horas a esse nível de ruído. Foi definido esse período de tempo por parecer coerente o uso da máquina durante um máximo de 2 horas diárias a nível doméstico.

Já o valor meta para a rugosidade esperada foram definidas considerando chapas inox laminadas à quente, que usualmente se apresentam numa faixa de 3,5 μm a 7,5 μm (Euro Inox, 2014). Para o presente trabalho foi considerado o limite superior da faixa apresentada como aceitável para esse processo de fabricação pelo Fórum Internacional de Aço Inoxidável (International Stainless Steel Forum – ISSF).

5. CONCLUSÕES

Quando bem estruturada, a metodologia é essencial para o bom desenvolvimento de um projeto com rigor de engenharia. A utilização de um procedimento sistematizado para elaboração das especificações de projeto tem como benefício gerar especificações de melhor qualidade em termos de precisão e completeza, desta forma a solução a ser apresentada melhor representará as necessidades do usuário.

A maior parte das máquinas disponíveis no mercado são destinadas a uso industrial ou para grandes volumes, apresentando um custo elevado para o consumidor doméstico. Dessa forma, para o produto obter aceitação no ambiente doméstico, o mesmo deve apresentar um custo final baixo. Isso é refletido na ordenação dos Requisitos de Projeto realizada, que demonstra que o requisito “Preço dos materiais (R\$)” é o fator mais determinante para sua aceitação no ambiente doméstico. Portanto, esse requisito deve ser o maior foco no desenvolvimento subsequente do projeto.

6. REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010. NBR 15792: *Embalagem – Índice de reciclagem – Definições e método de cálculo*. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, p.5.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017. NBR 15107: *Máquinas fragmentadoras para plásticos – Requisitos de segurança para moinhos granuladores e trituradores*. Rio de Janeiro. ABNT, p. 9.
- Ayo, A. W.; Olukunle, O. J.; Adelabu, D. J., 2017. *Development of a Waste Plastic Shredding Machine*. International Journal of Waste Resources, v. 07, n. 02, p. 2–5. <<https://www.longdom.org/open-access/development-of-a-waste-plastic-shredding-machine-2252-5211-1000281.pdf>>.
- Back, N.; Ogliari, A.; Dias, A.; Silva, J.C. da, 2008. *Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem*. Barueri: Manole.
- Baxter, M., 2011. *Projeto de produto: Guia prático para o design de novos produtos*. São Paulo: Blucher. 342 p.
- Callister, W.D., 2007 *Materials Science and Engineering: An Introduction*. 7th ed. John Wiley & Sons, Inc.
- Checchia S.L. et al., 2006. *Estudo anatômico da extremidade proximal do rádio*. Revista Brasileira Ortopedia.
- Conte, A.C. e Mori, Y.T., 2019. *Desenvolvimento de um Triturador para Termoplásticos Recicláveis*. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.
- Ekman, R., 2018. *Development of a Plastic Shredder*. Tese de mestrado, Lund University, Lund, Suécia.
- Euro Inox, 2014. *Roughness Measurements of Stainless Steel Surfaces*. <http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/RoughnessMeasurement_EN.pdf>.
- Fraga, S. C. L., 2014. *Reciclagem de materiais plásticos: aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sociais*. São Paulo: Érica. 121 p.
- FUNDO MUNDIAL PARA A NATUREZA, 2019. *Solucionar a Poluição Plástica: Transparência e Responsabilização*. WWF. <<https://www.wwf.org.br/?70222/Brasil-e-o-4-pais-do-mundo-que-mais-gera-lixo-plastico>>.
- Mano, E.B.; Pacheco, .E.B.A.V.; Bonelli, C.M.C., 2005. *A reciclagem de plásticos. Meio ambiente, poluição e reciclagem*. 1. ed. São Paulo, SP: Edgard Blücher, cap. 13.
- NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS, 1999. NACE RP-07-75. *Standard recommended practice, preparation, installation, analysis and interpretation of corrosion coupons in oilfield operations*.