

PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UM MISTURADOR ROTATIVO DE AMOSTRAS

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A ROTARY SAMPLE MIXER

Recebido em: 04/02/2025

Reenviado em: 04/07/2025

Aceito em: 08/08/2025

Publicado em: 22/09/2025

Lucas Wallan Borges Mota¹ 

Centro Universitário SENAI São Paulo

Leandro Cardoso da Silva² 

Centro Universitário SENAI São Paulo

Lucas Almeida Willenshofer³ 

Centro Universitário SENAI São Paulo

Edgard Gonçalves Cardoso⁴ 

Centro Universitário SENAI São Paulo

Manuel Patricio da Silva Bisneto⁵ 

Centro Universitário SENAI São Paulo

Resumo: Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um misturador rotativo de amostras projetadas para aumentar a eficiência de processos de pesquisa e desenvolvimento em setores como o químico, alimentício e farmacêutico. O objetivo principal foi propor uma solução que permitisse a realização de múltiplas misturas simultaneamente, eliminando a necessidade de limpeza entre os ensaios e reduzindo significativamente o tempo total de testes. A metodologia envolve o projeto mecânico detalhado de um equipamento com quatro compartimentos independentes, utilizando refis removíveis em PET e estrutura em aço inoxidável AISI 304 e aço ASTM A36. O equipamento foi modelado em software CAD e submetido a simulações dinâmicas para validação de funcionamento. Os ensaios realizados com materiais granulados foram descobertos com boa homogeneidade na mistura, comprovando as metas do projeto. Os resultados indicam que o misturador proposto pode melhorar a produtividade em ambientes de teste, oferecendo uma alternativa econômica e funcional aos sistemas convencionais.

Palavras-chave: Misturador Rotativo; Desenvolvimento de Novos Produtos; Indústria Química; Aumento de Eficiência.

¹ Aluno do Programa de Pós-graduação Projetos de Mecânica Industrial pelo Centro Universitário Senai SP – Campus Roberto Simonsen. E-mail: lucas.wallan.mota@gmail.com

² Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo. Centro Universitário SENAI SP – Campus Roberto Simonsen. Endereço: Rua Monsenhor Andrade, 298, Brás, São Paulo – SP, CEP 03008-000. E-mail: leandro.cardoso@sp.senai.br

³ Mestre em Engenharia Mecânica pelo Instituto Federal de São Paulo. Centro Universitário SENAI SP – Campus Roberto Simonsen. Endereço: Rua Monsenhor Andrade, 298, Brás, São Paulo – SP, CEP 03008-000. E-mail: lucas.willenshofer@sp.senai.br

⁴ Mestre em Energia pela Universidade Federal do ABC (UFABC). Centro Universitário SENAI SP – Campus Roberto Simonsen. Endereço: Rua Monsenhor Andrade, 298, Brás, São Paulo – SP, CEP 03008-000. E-mail: edgard.cardoso@sp.senai.br

⁵ Doutor em Nano Ciências e Materiais Avançados pela Universidade Federal do ABC (UFABC). Centro Universitário SENAI SP – Campus Roberto Simonsen. E-mail: manuel.bisneto@sp.senai.br

Abstract: This study presents the development of a rotary sample mixer designed to enhance the efficiency of research and development processes in sectors such as chemical, food, and pharmaceutical industries. The main objective was to propose a solution capable of performing multiple simultaneous mixes, eliminating the need for cleaning between tests and significantly reducing the total testing time. The methodology involved the detailed mechanical design of equipment with four independent compartments, using removable PET cartridges and a structure made of AISI 304 stainless steel and ASTM A36 structural steel. The mixer was modeled using CAD software and validated through dynamic simulations. Tests using granular polyethylene materials demonstrated good homogeneity, confirming the feasibility of the proposed design. The results indicate that the developed mixer can substantially improve productivity in testing environments, offering a cost-effective and functional alternative to conventional systems.

Keywords: Rotary Mixer, New Product Development, Chemical Industry, Efficiency Improvement.

INTRODUÇÃO

Diante da necessidade crescente das empresas em aprimorar continuamente os testes e ensaios realizados em seus produtos, torna-se fundamental o desenvolvimento de equipamentos que ofereçam maior eficiência e flexibilidade operacional. Nesse contexto, Ibraim e Silva (2024) destacam a relevância de projetar máquinas adaptáveis, capazes de atender diferentes demandas em termos de tamanho e características específicas dos produtos testados, permitindo assim, uma otimização significativa dos processos produtivos e de controle de qualidade, ao mesmo tempo que garantem economia de recursos e tempo.

Na indústria química, por exemplo, há uma grande ênfase no aperfeiçoamento dos processos produtivos, no aprimoramento dos equipamentos e no desenvolvimento de novos produtos. O processo de pesquisa e testes de novos produtos, devendo ser ágil e eficiente, ganha destaque, pois quanto mais rápido um produto é desenvolvido, mais rápido ele pode ser lançado no mercado, atendendo a uma demanda que já existe (Chea; Bai; Zhou, 2024).

Diante desse cenário, o objetivo deste artigo é apresentar o projeto e o desenvolvimento de um equipamento inovador o qual visa proporcionar maior eficiência e agilidade na realização de testes e ensaios laboratoriais e industriais. A proposta consiste no aprimoramento do design de um misturador rotativo convencional, aumentando o número de compartimentos para permitir múltiplas misturas simultâneas. Além disso, o equipamento contará com refis descartáveis destinados ao acondicionamento das substâncias, eliminando a necessidade da limpeza constante dos compartimentos após cada ciclo de mistura, o que proporciona economia significativa de tempo e maior rapidez na obtenção dos resultados. Esta solução tecnológica pode beneficiar empresas dos setores químico, alimentício e farmacêutico, onde processos eficientes e ágeis são fundamentais para a produtividade e qualidade dos produtos.

REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura tem por finalidade apresentar o estado da arte sobre o desenvolvimento e utilização de misturadores e equipamentos personalizados em diferentes segmentos industriais. Este levantamento destaca estudos relevantes acerca das abordagens tecnológicas, métodos de fabricação, princípios operacionais e aplicações práticas dessas máquinas em contextos específicos. Dessa forma, pretende-se estabelecer uma base conceitual sólida, evidenciando as lacunas existentes no conhecimento atual e ressaltando as contribuições que o presente estudo pode trazer para o avanço científico e tecnológico na área de projeto e desenvolvimento de equipamentos industriais personalizados.

DESENVOLVIMENTO E IMPORTÂNCIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS PERSONALIZADOS

O desenvolvimento de máquinas e equipamentos personalizados tem desempenhado um papel crucial na melhoria de processos industriais, proporcionando maior eficiência e adequação específica às necessidades produtivas. Desde o início da revolução industrial até os dias atuais, observa-se um constante aperfeiçoamento nas ferramentas e equipamentos utilizados na manufatura, motivado pela necessidade de aumentar produtividade, precisão e flexibilidade nas operações industriais (Carlsson, 1984; Das, 2009).

No contexto moderno, máquinas especialmente desenvolvidas, como misturadores e equipamentos de processamento, têm um papel decisivo em indústrias diversas como a alimentícia, química e farmacêutica, destacando-se pela possibilidade de atender demandas específicas de produção e assegurar melhor qualidade do produto final (Iwuoha, 2019; Gbabo *et al.*, 2024; Vashisth; Nigam; Kumar, 2020).

ASPECTOS ESSENCIAIS NO DESENVOLVIMENTO DE MÁQUINAS

A eficácia dos equipamentos personalizados está diretamente ligada à consideração detalhada dos requisitos operacionais, materiais empregados e facilidade de manutenção. Por exemplo, Gbabo *et al.* (2024) relatam o desenvolvimento de uma máquina horizontal movida a motor para mistura de massa de pão, enfatizando a importância de atender às necessidades específicas de padeiros rurais, como o funcionamento independente de energia elétrica, a redução da fadiga dos trabalhadores e o aumento na eficiência da mistura. Da mesma forma, Iwuoha (2019) destaca a versatilidade como fator chave no desenvolvimento de um misturador,

permitindo a intercambiabilidade do mecanismo misturador conforme as características dos materiais processados.

Outro aspecto fundamental no desenvolvimento de máquinas personalizadas é o rigor no dimensionamento e escolha dos componentes mecânicos e estruturais, como eixos, mancais e elementos de suporte (Maksudova, 2025). A adequada seleção e dimensionamento desses componentes asseguram a estabilidade operacional, vida útil prolongada e eficiência energética, aspectos críticos para a viabilidade econômica dos equipamentos industriais personalizados (Ojo *et al.*, 2024; Norhayati; Zulkhairi; Rohaiza, 2020).

APLICAÇÕES E BENEFÍCIOS PRÁTICOS

Equipamentos como misturadores rotativos e dispersores de alta velocidade tem sido projetados com o intuito de otimizar processos industriais específicos. Por exemplo, Norhayati, Zulkhairi e Rohaiza (2020) desenvolveram um misturador de tintas para pequenas e médias empresas, destacando a melhoria substancial na produtividade e na qualidade do produto final comparado aos métodos manuais tradicionais. Já Vashisth, Nigam e Kumar (2020) revisaram os avanços recentes nos misturadores de alto cisalhamento, ressaltando sua aplicação crítica em processos como emulsificação, dispersão de nanopartículas e homogeneização, fundamentais nas indústrias farmacêutica e química. Esses exemplos demonstram claramente que equipamentos personalizados não apenas atendem necessidades específicas, mas também oferecem vantagens significativas como redução de custos operacionais, aumento da eficiência produtiva e melhora na qualidade dos produtos finais, consolidando-se como ferramentas indispensáveis na indústria moderna (Iwuoha, 2019; Gbabo *et al.*, 2024; Ojo *et al.*, 2024).

MISTURADOR ROTATIVO

O desenvolvimento de um misturador rotativo de amostras requer uma análise detalhada de diversos aspectos mecânicos e estruturais, desde a definição do escopo de projeto até a escolha de materiais e o dimensionamento de componentes críticos, como eixos e mancais. Segundo Norton (2013), "o escopo de projeto deve refletir as funções desejadas do equipamento, suas restrições de custo e as condições operacionais nas quais ele será usado". Para o misturador rotativo de amostras, o objetivo principal é garantir a homogeneidade das misturas de forma eficiente, utilizando materiais e componentes robustos, como o aço estrutural ASTM A36 e o aço inoxidável AISI 304 na sua construção.

O aço estrutural ASTM A36 é amplamente utilizado em aplicações de engenharia devido à sua resistência e boa conformabilidade. Segundo Colpaert (2017), "o aço ASTM A36 é caracterizado por sua composição química simples e uma microestrutura predominantemente ferrítica, que confere boa resistência mecânica e ductilidade". Já o aço inoxidável AISI 304, usado nos compartimentos do misturador, oferece excelente resistência à corrosão devido ao elevado teor de cromo e níquel (Kumar; Das, 2024). Colpaert (2017) reforça: "os aços inoxidáveis autênticos, como o AISI 304, são ideais para ambientes onde a pureza e a resistência à contaminação são fundamentais".

Os mancais desempenham um papel vital no suporte ao eixo e na redução de atrito. Norton (2013) explica que "os mancais de rolamento são projetados para suportar cargas radiais e axiais, garantindo a operação suave e a durabilidade do sistema rotativo". No misturador rotativo, a escolha de mancais adequados assegura a estabilidade do eixo e contribui para a eficiência do sistema, minimizando as perdas por atrito e desgaste.

A metodologia de desenvolvimento do misturador rotativo em "V", conforme Nomura *et al.* (2020), reforça a importância de integrar todos esses aspectos no projeto. O uso de softwares de modelagem, como o SolidWorks, permitiu projetar uma estrutura otimizada, na qual "a automatização do sistema elimina o trabalho manual, aumenta a eficiência e reduz o risco de contaminação". O artigo também enfatiza que a escolha de materiais inoxidáveis e a inclusão de mecanismos de vedação garantem a pureza das misturas e a segurança do operador.

Além disso, o design em "V" dos compartimentos facilita a homogeneização das misturas por meio de movimentos tridimensionais contínuos. Como destacado por Nomura *et al.* (2020): "o cilindro em forma de 'V' é escolhido porque não atingirá nenhum ponto morto quando girado 360°, o que significa que conforme o cilindro gira, o cilindro irá misturar todo o topo de um lado a outro". Essa característica melhora a eficiência do equipamento em comparação com misturadores tradicionais.

Por fim, o escopo do projeto também deve considerar a facilidade de manutenção e operação. Silva e Silva (2023) e Marques *et al.* (2025), argumentam que "a simplicidade no design é um fator crítico para reduzir custos e aumentar a vida útil do equipamento". A escolha de materiais resistentes e componentes modulares no misturador rotativo contribui para uma manutenção mais eficiente e menor tempo de inatividade.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos adotados neste estudo têm por objetivo apresentar de forma detalhada e estruturada as etapas necessárias para o desenvolvimento do projeto proposto. Nesta seção, serão descritos os materiais utilizados, as técnicas aplicadas, bem como os métodos empregados para a construção, avaliação e validação do misturador rotativo personalizado. Além disso, serão abordados os critérios técnicos norteadores das decisões ao longo do processo, buscando assegurar clareza, precisão e reprodutibilidade dos resultados obtidos.

MATERIAIS

A construção da máquina de mistura envolve componentes cuidadosamente selecionados, conforme ilustrado na Tabela 1. O compartimento de garrafa da máquina de mistura, destacado em azul, é fabricado com materiais apropriados para garantir resistência química e facilidade de limpeza, essenciais para processos que envolvem múltiplas substâncias. A estrutura da máquina de mistura de garrafa, identificada em verde, é desenvolvida com materiais robustos os quais asseguram a estabilidade estrutural e suportam adequadamente os esforços mecânicos gerados durante a operação. Por fim, a tampa do compartimento de garrafa da máquina de mistura, destacada em amarelo, utiliza materiais que oferecem vedação eficaz e segurança durante o manuseio, garantindo a integridade das misturas realizadas. A seleção criteriosa desses materiais tem como objetivo proporcionar desempenho otimizado, segurança operacional e durabilidade ao equipamento desenvolvido.

Tabela 1 – Lista de Materiais da Máquina de Mistura.

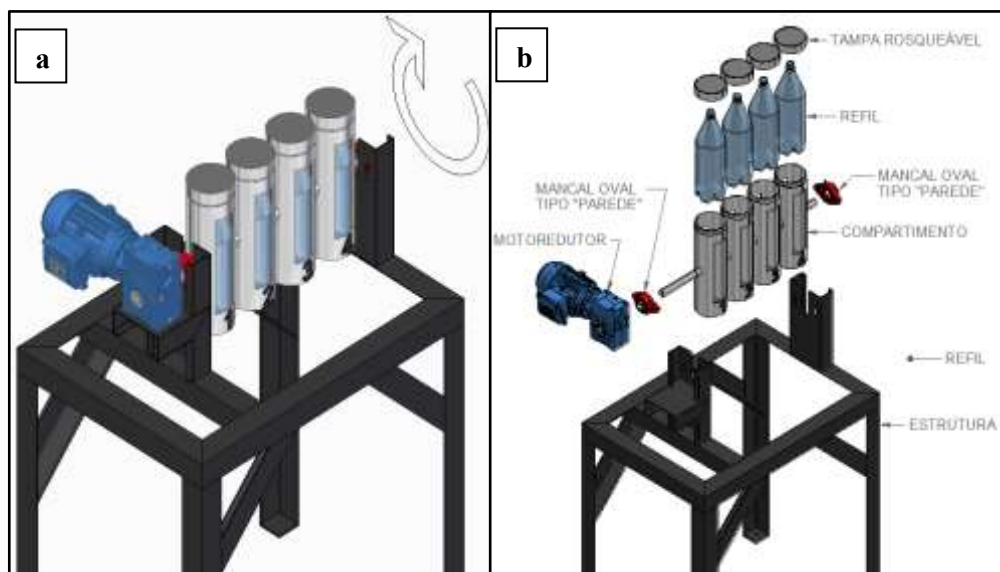
LISTA DE MATERIAIS				
COMPONENTE	DESCRIÇÃO	MATERIAL	MASSA	QUANT.
COMPARTIMENTO DE GARRAFA DA MÁQUINA DE MISTURA	CHAPA # 3,00 X 342,4 X 350	AISI 304	2,1 kg	4
	CHAPA # 3,00 X 106 X 106	AISI 304	0,2 kg	4
	TUBO # 2,00 X Ø 38,1 X 23,7	AISI 304	0,0 kg	3
	TUBO # 2,00 X Ø 25,4 X 64,5	AISI 304	0,1 kg	1
	BARRA REDONDA Ø 25,4 X 186,5	AISI 304	0,7 kg	1
ESTRUTURA DA MÁQUINA DE MISTURA DE GARRAFA	CANTONEIRA # 4,7 X 63,5 X 850	ASTM A-36	3,6 kg	2
	CANTONEIRA # 4,7 X 63,5 X 600	ASTM A-36	2,5 kg	2
	CANTONEIRA # 4,7 X 63,5 X 780,2	ASTM A-36	3,5 kg	4
	CANTONEIRA # 4,7 X 63,5 X 516,3	ASTM A-36	1,8 kg	4
	CANTONEIRA # 4,7 X 63,5 X 590,6	ASTM A-36	2,4 kg	1
	VIGA U ENRRIJECIDO # 3,00 X 20 X 60 X 150 X 300	ASTM A-36	2,0 kg	1
	VIGA U ENRRIJECIDO # 3,00 X 20 X 60 X 150 X 170	ASTM A-36	1,0 kg	2
	VIGA U ENRRIJECIDO # 3,00 X 20 X 60 X 150 X 130	ASTM A-36	0,8 kg	1
TAMPA DO COMPARTIMENTO DE GARRAFA DA MÁQUINA DE MISTURA	CHAPA # 6,3 X 63,5 X 63,5	ASTM A-36	0,2 kg	4
	CHAPA # 3,00 X 30 X 345,5	AISI 304	0,2 kg	1
	CHAPA # 3,00 X 107 X 107	AISI 304	0,2 kg	1

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

O projeto foi desenvolvido utilizando componentes comerciais e desenvolvidos. Esses foram classificados conforme sua interação com os elementos a serem misturados. O refil, que entra em contato direto com a mistura, é elaborado em Polietileno Tereftalato (PET) e classificado como componente de contato primário. Já os componentes que interagem com o PET, como o compartimento de várias misturas, são fabricados em aço inoxidável AISI 304 e definidos como componentes de contato secundário. Já os demais elementos do sistema, elaborados em aço estrutural ASTM A36, são categorizados como componentes de suporte. Essa classificação reduz significativamente o risco de contaminação da mistura.

O desenvolvimento do misturador rotativo foi concebido a partir da elaboração de um croqui inicial, conforme Imagem 1, considerando a incorporação de quatro compartimentos para alocação dos refis contendo as substâncias a serem misturadas. O sistema conta com tampas rosqueáveis para cada compartimento, um moto redutor de 0,5 CV, mancais do tipo “parede oval” (unidade de rolamentos de esferas flangeada) e uma estrutura confeccionada para garantir robustez e estabilidade ao equipamento.

Imagem 1 – Equipamento (a): croqui inicial do projeto indicando o sentido de rotação; Equipamento (b): vista isométrica explodida do croqui inicial indicando os componentes do misturador.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

MÉTODOS

O processo experimental envolveu a inserção das substâncias a serem misturadas em refis individuais, os quais foram acomodados nos compartimentos do misturador. Cada compartimento foi vedado com a tampa rosqueável e o equipamento foi acionado por meio do

moto redutor, conforme mostrado na Imagem 5. O controle do tempo de ensaio foi realizado utilizando um cronômetro para garantir a precisão do processo.

REFIL

Um dos aspectos fundamentais no desenvolvimento deste projeto é a seleção do refil adequado, uma vez que sua geometria determinará as dimensões do compartimento de mistura. O material escolhido para o refil deve ser quimicamente inerte em relação às substâncias utilizadas no processo, além de ser translúcido para permitir a visualização durante o ensaio. Ademais, a facilidade de aquisição no mercado é um fator essencial, pois a dificuldade em obter esse componente pode comprometer a viabilidade do compartimento de múltiplas misturas, que será projetado conforme a geometria do refil, vide a Imagem 2.

Imagem 2 – Refil utilizado no processo (Garrafa PET).



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Diante desses requisitos, optou-se pelo uso de Polietileno Tereftalato (PET) como material do refil. O PET é um polímero sintético amplamente empregado na fabricação de embalagens para bebidas, água, sucos, óleos e outros produtos alimentícios devido às suas propriedades favoráveis, como leveza, resistência mecânica, transparência e reciclabilidade. Além disso, apresenta elevada estabilidade química, garantindo que não haja reações indesejadas com as substâncias a serem misturadas. O refil selecionado possui uma capacidade volumétrica de 2,15 litros, atendendo às necessidades operacionais do equipamento.

COMPARTIMENTO DE MÚLTIPLAS MISTURAS

O compartimento foi projetado em conformidade com a geometria do retil, permitindo a acomodação simultânea de quatro unidades, conforme Imagem 3. Para sua fabricação, foram utilizadas chapas laminadas a quente de aço inoxidável AISI 304 com espessura de 3,00 mm, devidamente conformadas.

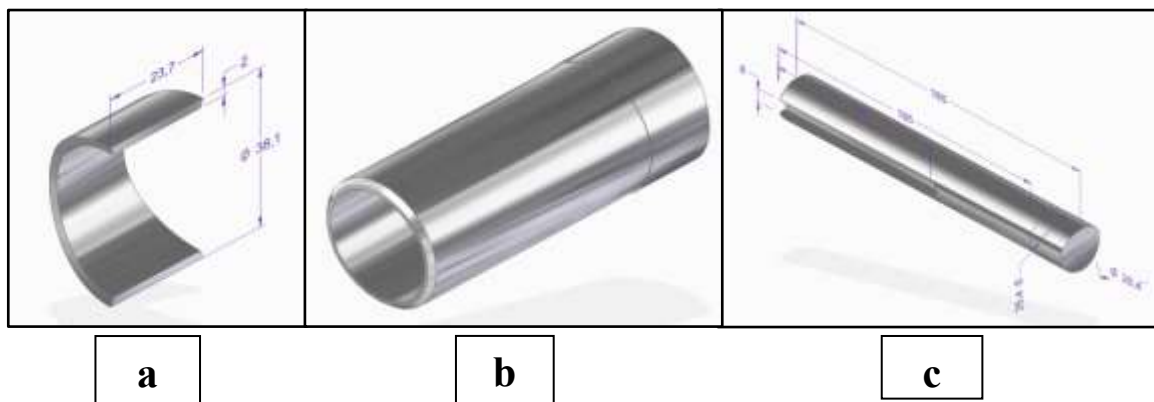
Imagem 3 – Compartimento de múltiplas misturas.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Após o processo de corte, as peças foram submetidas à calandragem para a formação de um tubo com diâmetro externo de 112,00 mm e comprimento de 350,00 mm. Posteriormente, foi realizada a usinagem da peça calandrada, incluindo a confecção de uma rosca externa M110 x 1.5 em uma das extremidades. No total, foram fabricadas quatro unidades seguindo este processo. Uma chapa foi desenvolvida para o fechamento do fundo do compartimento. Em seguida, essa chapa foi fixada por meio de um processo de soldagem na base das peças previamente calandradas, concluindo assim a formação dos compartimentos. Para a ancoragem do compartimento de múltiplas misturas, foram projetados três tipos de junções. A primeira destina-se à fixação de um compartimento no outro de acordo com a Imagem 4 (a), enquanto as outras duas, Imagem 4 (b) e 4 (c) têm a finalidade de fixação nos mancais acoplados à estrutura.

Imagem 4 – Ancoragem (a): ancoragem entre um compartimento ao outro; Ancoragem (b): ancoragem dos compartimentos com o mancal de apoio Ancoragem (c): ancoragem dos compartimentos com o motorreductor.

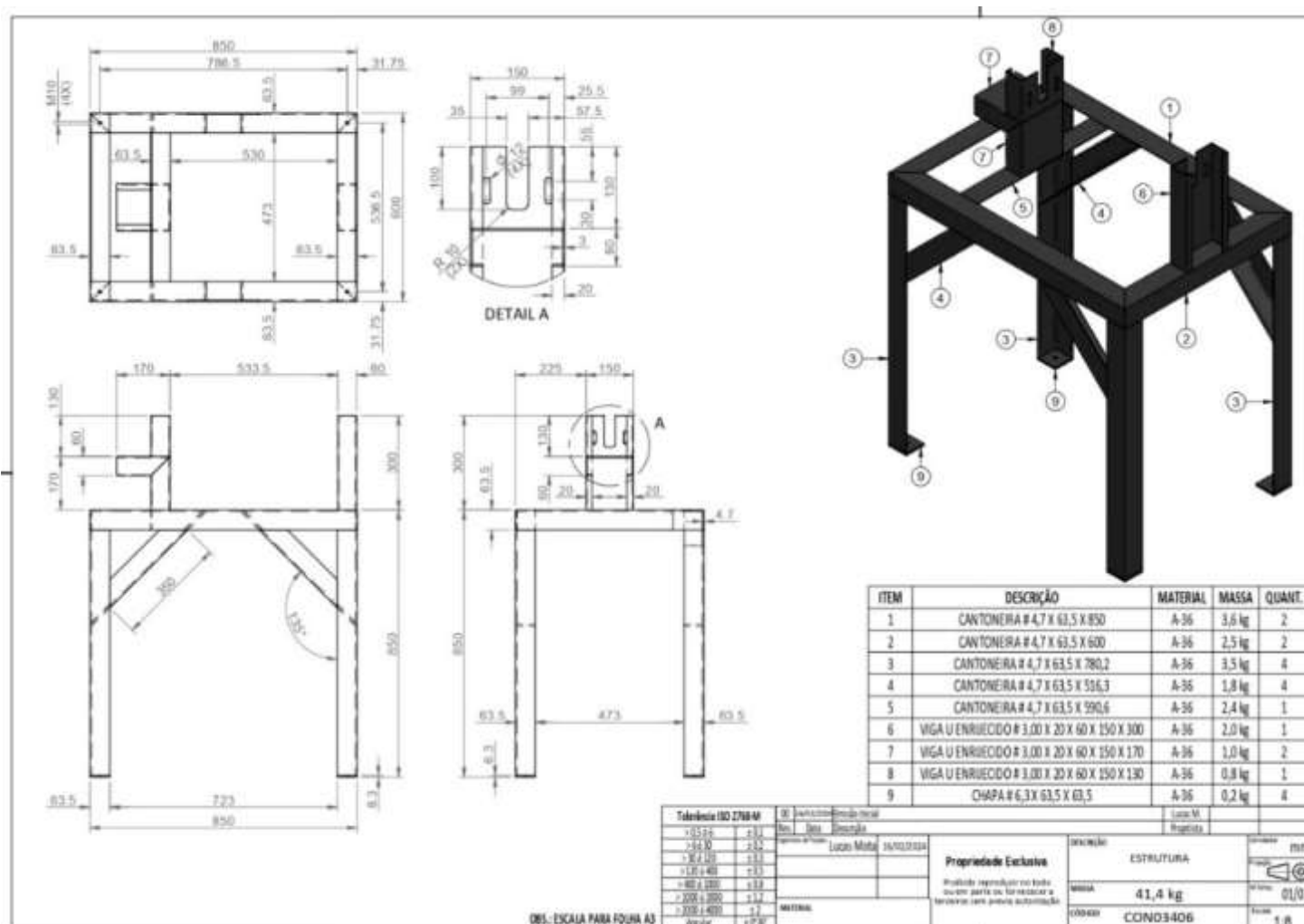


Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

ESTRUTURA

A estrutura foi projetada com o objetivo de suportar toda a massa do mecanismo, que inclui os compartimentos de múltiplas misturas carregados com os refis contendo as amostras, os mancais e o motorreductor. Por ser um componente de terceiro contato do projeto, foi confeccionada em aço carbono estrutural ASTM A36, com cantoneiras (perfil "L") de 4,7 mm de espessura por 63,5 mm de lado, chapas de 6,3 mm de espessura, e vigas "U" enrijecidas, com 3,00 mm de espessura, 20 mm de aba enrijecida, 60 mm de lado e 150 mm de altura. Foi realizada a montagem das peças da estrutura, sendo desenvolvido um projeto de montagem que contempla dimensões, tolerâncias e especificações técnicas, conforme ilustrado na Imagem 5.

Imagem 5 – Desenho técnico da estrutura, indicando vistas, cotas e isométrico de montagem



Fonte: elaborado pelos autores (2025).

MOTO REDUTOR

A importância do moto redutor, vide Imagem 6, para o projeto é essencial, pois ele representa o principal componente eletromecânico responsável por transitar o sistema do estado estático para o dinâmico. Sua função é impulsionar o compartimento de múltiplas misturas, permitindo a rotação dos refis contendo as amostras a serem misturadas. O mecanismo do moto redutor deve operar com movimento constante, sem oscilações indesejadas.

Imagem 6 – Motoredutor



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Com base nesses requisitos, foi selecionado um moto redutor de 0,5 CV de potência, com torque de 1,6 kgf.m, possuindo um furo central de Ø 25 mm, compatível com as dimensões do compartimento de múltiplas misturas. Adicionalmente, foi verificada a tensão do motor, que é trifásica 220/380 Volts, compatível com a tensão disponível no local de instalação. O torque foi dimensionado para ser compatível com a massa do compartimento de múltiplas misturas e do refil preenchido com as amostras a serem misturadas. Esses dados foram fornecidos pelo fabricante do moto redutor.

SOFTWARE PARA CONSTRUÇÃO E TIPOS DE ANÁLISES UTILIZADAS

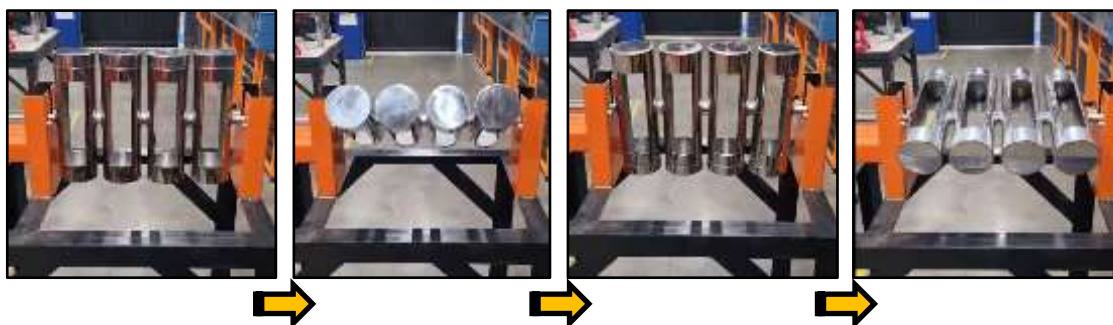
O projeto foi desenvolvido no software Solid Edge da Siemens, utilizando os ambientes de construção 3D, 2D e montagem, com ênfase nas funções de modelagem e "sheet metal". Esta última se refere à modelagem 3D de chapas metálicas, permitindo a execução de operações como corte, dobra e calandragem, o que contribui significativamente para a confecção das peças em caldeiraria e usinagem. Simulações dinâmicas foram realizadas no módulo 3D para verificar o comportamento dos mecanismos, o que foi fundamental para o sucesso do projeto.

RESULTADO DA MONTAGEM

Após a fabricação das peças, iniciou-se o processo de montagem. Primeiramente, foram inseridos os mancais do tipo "parede oval" na estrutura, realizando a verificação da conformidade dimensional e geométrica, incluindo aspectos como concentricidade, paralelismo

e posição, conforme ilustrado na Imagem 7. Após a verificação mencionada, deu-se início à montagem do compartimento de múltiplas misturas, inserindo os eixos das extremidades nos mancais. Dessa forma, a montagem foi realizada diretamente sobre a estrutura. Com o auxílio do relógio comparador, foram auditados os possíveis batimentos nos eixos. Foi detectada uma irregularidade de 0,9 mm de batimento. Após o ajuste, reposicionamos o compartimento de múltiplas misturas na estrutura, garantindo que permanecesse bi apoiado nos mancais. Realizamos novos testes para confirmar a conformidade das tolerâncias geométricas e, após a verificação bem-sucedida, avançamos para o processo de adição das tampas no compartimento de múltiplas misturas.

Imagem 7 – Verificação geométrica de batimento do compartimento de múltiplas misturas na estrutura usando os mancais como apoios



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Após o fechamento do compartimento de múltiplas misturas com suas respectivas tampas, procedemos com a montagem do motoredutor no equipamento, ajustamos a altura do centro do eixo do compartimento de múltiplas misturas para alinhá-lo com os mancais, utilizando a furação oblongada, garantindo assim a conformidade dos centros dos dois componentes. Com o motoredutor energizado, acionamos a máquina pela primeira vez. Utilizando um tacômetro, medimos a velocidade angular do equipamento, obtendo o valor esperado de 45 RPM (ver Imagem 8).

Imagem 8 – Primeiro funcionamento do equipamento



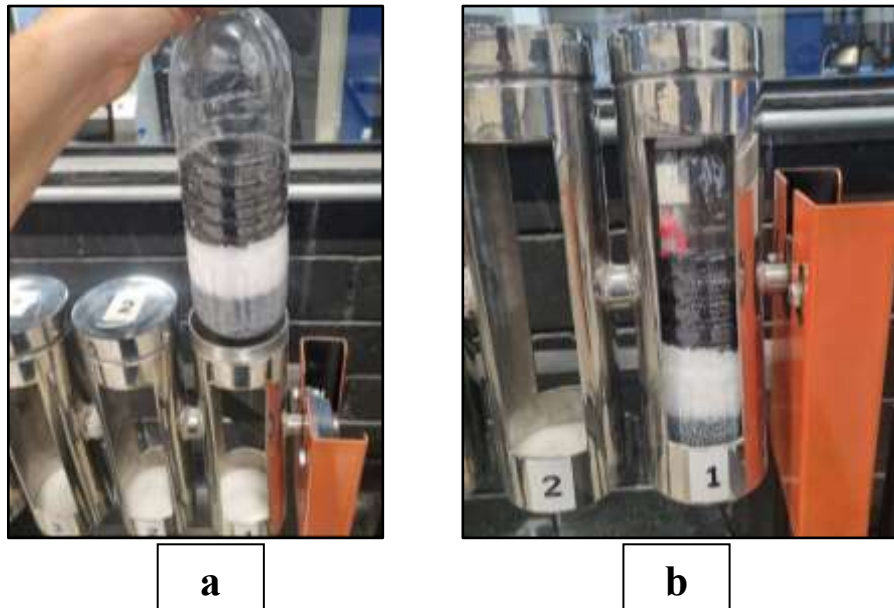
Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

RESULTADO DO ENSAIO DE HOMOGENEIDADE

Para simular o ensaio de homogeneidade, utilizamos um refil padrão para preparar a mistura. Dentro do refil, foram adicionados três tipos de materiais granulados de polietileno PE, com densidades variadas de 0,82 a 1,06 g/cm³, diferenciando-se apenas pelas cores: branco, cinza e preto. O tamanho do material granulado varia de 3 mm a 5 mm. O refil tem capacidade para 2,15 litros; no entanto, para a mistura, utilizamos apenas 1,41 litros, deixando um espaço de 34,5% sem material dentro do refil – ver Imagem 6 (a) e (b).

O compartimento de número 1 foi destampado para permitir a introdução do refil contendo o material a ser misturado. Após a inserção, a tampa do compartimento foi rosqueada, selando-o adequadamente. Em seguida, o equipamento foi ligado, e constatamos que o sistema estava funcionando corretamente, com o equipamento alimentado pela mistura em operação, como mostrado na Imagem 9.

Imagem 9 – (a) Refil com a mistura sendo inserido no equipamento; (b) Refil com a mistura inserido no compartimento de mistura nº 1



Fonte: elaborado pelos autores (2025).

O ensaio teve duração de 15 minutos. Após esse período, o refil com a mistura foi removido do interior do compartimento, conforme a Imagem 10.

Imagem 10 – Equipamento parado após 15 minutos de ensaio



Fonte: elaborado pelos autores (2025).

Imagem 11 – Refil (a): refil com a mistura finalizada; Refil (b): secção interna do refil, onde é possível visualizar o grau de homogeneização do ensaio



a

b

Fonte: elaborado pelos autores (2025).

Ao final do ensaio, observou-se uma boa distribuição da mistura no teste de homogeneidade, conforme Imagem 11, (a) e (b). No entanto, foi perceptível que em algumas pequenas regiões do refil a mistura não foi parcialmente eficaz, resultando em aglomeração dos pellets. Em outras áreas, a homogeneidade foi quase completa, com as cores branca, cinza e preta claramente discerníveis, como pode ser observado na imagem da seção interna da garrafa.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do desenvolvimento do Misturador Rotativo de Amostras, foi possível atender aos principais desafios enfrentados por laboratórios e indústrias no processo de mistura de substâncias, especialmente no setor químico. O projeto proposto trouxe inovações significativas, como a possibilidade de realizar múltiplas misturas simultaneamente, a eliminação da necessidade de limpeza constante dos compartimentos e a redução do tempo total de ensaios.

A escolha de materiais adequados, como o aço inoxidável AISI 304 para os compartimentos e o Polietileno Tereftalato (PET) para os refis, garantiu a resistência mecânica e química necessárias para a operação segura e eficiente do equipamento. Além disso, a estrutura em aço carbono ASTM A36 proporcionou robustez ao sistema, assegurando a estabilidade durante a operação.

O emprego de um moto redutor, aliado ao uso de mancais do tipo "parede oval", possibilitou um funcionamento suave e eficiente, com torque adequado para a rotação uniforme dos compartimentos. A utilização de softwares de modelagem e simulação, foi fundamental para prever o comportamento do equipamento antes da sua construção, reduzindo custos e otimizando o design final.

Os testes experimentais demonstraram a eficácia do misturador, com alto grau de homogeneidade nas misturas realizadas. O Misturador Rotativo de Amostras se mostrou eficiente utilizando apenas sólidos. No entanto, para melhor precisão de homogeneização, a mistura deve ser realizada em outros tipos de misturadores. Além disso, a densidade e o tamanho das partículas devem ser levados em consideração para a mistura. Para a aplicação em pellets de polietileno (PE), o equipamento demonstrou eficiente.

Para uma melhoria futura, um tipo de refil em "V" seria interessante, pois aumentaria a probabilidade de uma melhor homogeneização. Entretanto, este tipo de refil deve ser estudado, pois não é facilmente encontrado no mercado.

Portanto, o Misturador Rotativo de Amostras desenvolvido representa uma solução inovadora e viável para otimizar processos de mistura, reduzindo tempo de ensaios, custos operacionais e aumentando a eficiência geral do processo. Com algumas melhorias e ajustes futuros, como a adequação do projeto às normas NR-12, o equipamento pode alcançar ainda maior precisão e padronização na homogeneização das misturas, consolidando-se como uma alternativa promissora para o setor.

REFERÊNCIAS

CARLSSON, B. The development and use of machine tools in historical perspective. **Journal of Economic Behavior and Organization**, v. 5, p. 91-114, 1984.

CHEA, C. P.; BAI, Y.; ZHOU, Z. Design and development of robotic collaborative system for automated construction of reciprocal frame structures. **Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering**, v. 39, n. 10, p. 1550–1569, 2024.

COLPAERT, Hubertus. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2017.

DAS, S. A brief overview on the history of development of machine tools. **Kalyani Government Engineering College**, West Bengal, India, 2009.

GBABO, A. et al. Development of an engine powered horizontal dough mixing machine. **Direct Research Journal of Agriculture and Food Science**, v. 12, n. 1, p. 124-131, 2024.

HIBBELER, R.C. **Resistência dos materiais**. 10. ed. São Paulo: Pearson, 2010.

IBRAIM, Matheus Lopes; SILVA, Leandro Cardoso da. Modelagem do sistema mecânico de uma máquina de tração para ensaio de contentores flexíveis. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 10, n. 7, p. 01-18, 2024. DOI: 10.34117/bjdv10n7-032.

IWUOHA, S. I. The design and development of versatile mixing machine. **Department of Mechanical Engineering**, Federal University of Technology, Owerri, Nigeria. 2019.

KUMAR, R.; DAS, A. K. A comprehensive review of AISI 304 steel based on different thick coating process. **Materials Today: Proceedings**, v. 98, n. August 2023, p. 180–186, 2024.

MAKSUDOVA, N. A. Development of analytical dependencies for determining kinematic parameters of the drive of the working engine of the mixing machine. **Technical Science and Innovation**, n. 1, p. 75-80, 2025.

MARQUES, Israel Dimas et al. Otimização topológica em um carrinho de competições F1 in Schools. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 11, n. 3, p. 1–28, 2025. DOI: 10.34117/bjdv11n3-041.

NOMURA, Alexandre Seiji et al. Desenvolvimento de projeto de um misturador rotativo em "V". **Revista eSALENG**, Araçatuba, v. 9, n. 1, p. 181-193, 2020. Disponível em: https://unisalesiano.com.br/aracatuba/wp-content/uploads/2021/03/11_DESENVOLVIMENTO-E-PROJETO_181_193.pdf. Acesso em: 28 nov. 2024.

NORHAYATI, I. et al. Development of high speed paint mixer. **MATTER: International Journal of Science and Technology**, v. 6, n. 2, p. 119-131, 2020.

NORTON, Robert L. **Projetos de Máquinas - Uma abordagem integrada**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

OJO, O. et al. Development of dough kneading machine for small and medium-sized enterprises. **Journal of Applied Research in Technology & Engineering**, v. 5, n. 1, p. 23-31, 2024.

SILVA, Matheus Barone da; SILVA, Leandro Cardoso da. Utilizando a metodologia DFMA “Design for Manufacturing and Assembly” na redução de custo em checkout counters. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 5660–5677, jan. 2023. DOI: 10.34117/bjdv9n1-386.

SKF. **Unidades de rolamentos de esferas flangeadas**. Disponível em: <https://www.skf.com/br/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/flanged-ball-bearing-units/productid-FYTB%2025%20TF>. Acesso em: 4 mar. 2025.

VASHISTH, V.; NIGAM, K. D. P.; KUMAR, V. Design and development of high shear mixers: Fundamentals, applications and recent progress. **Chemical Engineering Science**, v. 232, 2021, 116296.

WEG. **Motorreductor MAGMA M – 50111634**. 2023. Disponível em:
<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hce/h64/WEG-CESTARI-motorreductor-magma-m-50111634-portuguese-web.pdf>. Acesso em: 4 mar. 2025.