

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
ENGENHARIA MECÂNICA**

TAINARA ANDRESSA BERTOTTI DA SILVA

**ARQUITETURA DE PRODUTO PARA MODULARIZAÇÃO DE
ROSCAS TRANSPORTADORAS**

Santa Maria, RS

2024

TAINARA ANDRESSA BERTOTTI DA SILVA

**ARQUITETURA DE PRODUTO PARA MODULARIZAÇÃO DE
ROSCAS TRANSPORTADORAS**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de Graduada em Engenharia Mecânica

Orientador(a): André Rogério Kinalski Bender (Dr.)

Santa Maria

2024

**ARQUITETURA DE PRODUTO PARA MODULARIZAÇÃO DE ROSCAS
TRANSPORTADORAS**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de Graduada em Engenharia Mecânica

Santa Maria, 09 de Fevereiro de 2024.

Prof. Dr. André Rogério Kinalski Bender
Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Luís Fernando Nicolini
Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Cesar Gabriel dos Santos
Universidade Federal de Santa Maria

Aos meus queridos avós que tanto admiro,
dedico o resultado do esforço realizado ao
longo deste percurso.

AGRADECIMENTOS

Sou grato à minha família pelo apoio que sempre me deram durante toda a minha vida.

Aos meus amigos pelo incentivo, conversas e memórias durante a trajetória.

Deixo um agradecimento especial ao meu orientador pela dedicação do seu escasso tempo ao meu projeto de pesquisa.

Também quero agradecer à Universidade Federal de Santa Maria e a todos os professores do meu curso pela elevada qualidade do ensino oferecido.

“Porque eu sou do tamanho do que vejo
E não, do tamanho da minha altura...”
Alberto Caeiro

RESUMO

A otimização contínua dos processos industriais tem sido uma busca constante desde a Revolução Industrial nos séculos XIX e XX, intensificando-se ainda mais no século XXI. As empresas buscam maximizar eficientemente seus recursos materiais e humanos para aprimorar seu desempenho, tornando-se uma necessidade imperativa para aquelas que almejam não apenas sobreviver, mas prosperar em um ambiente de negócios dinâmico e desafiador. O conceito de modularização surge como um método eficiente para organizar produtos e processos complexos. Essa abordagem envolve a fragmentação de tarefas intrincadas em componentes mais simples, permitindo a gestão independente de cada parte, ao mesmo tempo em que possibilita seu funcionamento integrado como um todo coeso. Este trabalho tem como objetivo apresentar um referencial teórico e uma análise sobre os conceitos de modularização, modularidade, modular e módulo, além da aplicação da modularização para a confecção de roscas transportadoras. Após um levantamento com discussões com profissionais da área, levantamento bibliográfico e análise de um estudo de caso, desenvolveu-se a proposta de modularização de roscas transportadoras de grãos, levando em conta os requisitos propostos pelo cliente e as soluções técnicas possíveis. Diante disso concluiu-se que a modularidade concede aos projetistas o controle sobre como as variações nos processos ou requisitos podem influenciar o produto, minimizando o número de processos para a produção do produto e aumentando a flexibilidade no desenvolvimento de produtos.

Palavras-chave: Desempenho. Indústria. Rosca transportadora.

ABSTRACT

Continuous optimization of industrial processes has been a constant pursuit since the Industrial Revolution in the 19th and 20th centuries, intensifying even more in the 21st century. Companies strive to efficiently maximize their material and human resources to enhance their performance, becoming an imperative necessity for those aiming not only to survive but to thrive in a dynamic and challenging business environment. The concept of modularization emerges as an efficient method for organizing complex products and processes. This approach involves breaking down intricate tasks into simpler components, allowing independent management of each part while enabling their integrated operation as a cohesive whole. This work aims to present a theoretical framework and analysis of the concepts of modularization, modularity, modular, and module, as well as the application of modularization for the manufacture of screw conveyors. Following discussions with industry professionals, literature review, and analysis of a case study, the proposal for modularizing grain screw conveyors was developed, taking into account the client's requirements and feasible technical solutions. It was concluded that modularity grants designers control over how variations in processes or requirements can influence the product, minimizing the number of processes for product production and increasing flexibility in product development.

Keywords: Performance. Industry. Screw conveyor.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: METODOLOGIA UTILIZADA NO ESTUDO	25
FIGURA 2: ROSCA TRANSPORTADORA	31
FIGURA 3: CALHA TRANSPORTADORA	33
FIGURA 4: ROSCA TRANSPORTADORA (HELICOIDAL)	34
FIGURA 5: CALHA TRANSPORTADORA E ROSCA TRANSPORTADORA	35
FIGURA 6: HELICÓIDE	35
FIGURA 7: FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA REALIZADA PARA CONSEGUIR REALIZAR A MODULARIZAÇÃO DE ROSCAS TRANSPORTADORAS	37
FIGURA 8: REPRESENTAÇÃO DE UM TRANSPORTADOR HELICOIDAL COMUM E SEUS COMPONENTES PARA A GERAÇÃO DE UM MÓDULO	42

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. REQUISITOS DO CONSUMIDOR E DEFINIÇÕES / ESPECIFICAÇÕES IDENTIFICADAS PARA A ROSCA TRANSPORTADORA.	38
TABELA 2. GRAU DE IMPORTÂNCIA DOS REQUISITOS PARA O CONSUMIDOR	39
TABELA 3. PROPRIEDADES DO PRODUTO	39
TABELA 4. SOLUÇÕES TÉCNICAS PARA AS FUNÇÕES.	41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	12
1.2 JUSTIFICATIVA	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 MODULARIZAÇÃO	14
2.1.1 A MODULARIZAÇÃO EM AÇÃO	16
2.2 MODULAR	17
2.3 MODULARIDADE	18
2.4 MÓDULO	19
2.5 FORMAS DE MODULARIZAÇÃO E APLICAÇÕES	19
3 METODOLOGIA	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
4.1 BENEFÍCIOS DA MODULARIZAÇÃO NA PRODUÇÃO	26
4.2 A INSERÇÃO DA MODULARIZAÇÃO NO MERCADO INDUSTRIAL	27
4.3 PROJETO PARA MANUFATURA E MONTAGEM (DFMA)	29
4.4 CARACTERIZAÇÃO DE ROSCAS TRANSPORTADORAS	30
4.4.1 FUNCIONAMENTO DA ROSCA TRANSPORTADORA	32
4.5 MODULARIZAÇÃO DE ROSCA TRANSPORTADORA DE GRÃOS	37
4.5.1 DEFINIR OS REQUISITOS DO CLIENTE	38
4.5.2 GERAR SOLUÇÕES TÉCNICAS	40
4.5.3 GERAR O CONCEITO MODULAR	41
4.5.4 GERAR E ANALISAR CONCEITOS	42
4.5.5 APERFEIÇOAR OS MÓDULOS	43
5 CONCLUSÃO	45
REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

A otimização contínua dos processos industriais tem aumentado desde a revolução industrial, entre os séculos XX e XXI, onde as empresas buscam maximizar plenamente seus recursos materiais e humanos para aprimorar seu desempenho de maneira otimizada, representando uma imperativa necessidade para empresas que buscam não apenas sobreviver, mas prosperar em um ambiente de negócios dinâmico e desafiador, este cenário torna-se ainda mais premente no contexto do transporte de materiais a granel, onde a eficiência operacional é um fator determinante para o sucesso competitivo (COSTA, 2023).

O conceito de modularização é um método eficiente de organizar produtos e processos complexos, fragmentando tarefas intrincadas em componentes mais simples, essa abordagem permite a gestão independente de cada parte, ao mesmo tempo em que possibilita seu funcionamento integrado como um todo coeso. O cerne da modularização reside na criação de mecanismos que favorecem a articulação eficaz das unidades constituintes, como resultado, a modularização proporciona uma estrutura de custos distinta daquela obtida por meio da normalização (HUANG; LI, 2008).

A modularização oferece uma variedade de benefícios em diferentes contextos, dependendo da área de aplicação, como reutilização de código, manutenção simplificada, facilidade de compreensão, desenvolvimento paralelo, testabilidade aprimorada, integração facilitada, padronização, facilidade de manuseio. Em resumo, a modularização é uma abordagem valiosa que proporciona vantagens significativas, principalmente quando se trata de desenvolvimento de software, arquitetura de sistemas e design industrial.

Este trabalho é de cunho quali-quantitativo, onde foi levantado um referencial teórico, e realizada uma análise aprofundada sobre a problematização dos conceitos de modularização, modularidade, modular e módulo, tendo como objetivo explorar minuciosamente suas inter-relações, diversas abordagens existentes e os amplos benefícios que emanam da aplicação estratégica dessa metodologia. Além disso, o trabalho também irá conter a aplicabilidade da modularização das roscas transportadoras que fazem o transporte de grãos na indústria.

1.1 OBJETIVOS

Objetivo geral:

- Investigar detalhadamente as interconexões, distintas abordagens já existentes e os extensos benefícios que surgem da implementação estratégica da modularização.

Objetivo específico:

- Realizar o levantamento bibliográfico acerca da modularização e suas aplicações.
- Detalhar a caracterização e o funcionamento das roscas transportadoras de grãos,
- Propor o uso da modularização de uma rosca transportadora utilizada na indústria de grãos.

1.2 JUSTIFICATIVA

A modularização representa uma abordagem inovadora que não apenas aprimora a eficiência operacional desses equipamentos cruciais, mas também responde às demandas dinâmicas e crescentes da indústria contemporânea (PIRAN, 2015). A modularização não só melhora a eficiência, mas também facilita a substituição de peças individuais, reduzindo custos associados à manutenção e prolongando a vida útil dos equipamentos, resultando em uma gestão mais eficaz dos recursos financeiros das organizações (BAXTER, 2000).

Neste cenário dinâmico, compreender e implementar as nuances da modularização não apenas representa uma vantagem técnica, mas também se traduz em uma decisão estratégica capaz de conferir às empresas a resiliência necessária para enfrentar os desafios do mercado atual. Portanto, ao destacar a relevância dessa abordagem, busca-se equipar as organizações com o entendimento crítico e as ferramentas conceituais necessárias para alcançar não apenas a eficiência operacional, mas também uma posição proativa na vanguarda da inovação industrial.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A abrangência desta revisão bibliográfica sobre modularização transcende meramente a compilação de teorias e práticas; ela se propõe a traçar um panorama intrincado e robusto das contribuições acadêmicas e aplicadas que orbitam em torno dessa abordagem essencial no desenvolvimento de sistemas complexos. Em seu cerne, esta revisão almeja oferecer uma visão não apenas ampla, mas profundamente contextualizada, capturando a essência dinâmica e mutável da modularização em face das demandas contemporâneas.

Segundo Miller e Elgard (1998), a origem do termo "módulo" remonta aos tempos antigos, quando, no latim, "modulus" representava a medida de comprimento. A concepção de módulos remonta ainda mais ao trabalho de Marcus Vitruvius Pollio, conhecido como Vitruve, que desempenhou um papel significativo sob o reinado do Imperador Romano Augustus. Esses módulos, como detalhadamente delineados por Vitruve, desempenharam um papel crucial na padronização da arquitetura da época. Eles serviam como instrumentos essenciais para garantir proporções precisas nas construções romanas, estabelecendo uma base normativa para a estética e a funcionalidade dos edifícios daquela era. Dessa forma, a adoção de módulos não apenas refletia uma medida de comprimento, mas incorporava princípios fundamentais para assegurar a harmonia e a coerência nas construções da civilização romana.

O arquiteto alemão Walter Gropius introduziu uma inovação ao unir a padronização com a concepção de pensamento funcional e produção industrial na arquitetura. Foi nesse contexto que o conceito de módulo foi integrado a uma abordagem de blocos de construção, nos quais esses blocos passaram a representar unidades funcionais nos edifícios, desempenhando cada um uma função (MILLER; ELGARD, 1998).

A estratégia de design conhecida como modularidade desempenha um papel crucial em diversas indústrias, abrangendo desde a fabricação de aeronaves, eletrodomésticos, caminhões e carros até a produção de computadores e softwares (FREDRIKSSON, 2006). Nas palavras de Baldwin e Clark (1997), a modularidade é a concepção de um produto ou processo complexo a partir de subsistemas menores, cada um dos quais pode ser concebido de forma independente, mas, ao mesmo tempo, integra-se harmoniosamente para funcionar como um todo coeso.

De acordo com a perspectiva de Ro, Liker e Fixson (2007), a modularidade vai além, referindo-se ao grau em que os componentes de um sistema podem ser separados e recombinados, proporcionando flexibilidade e adaptabilidade ao design. Apesar da tendência contemporânea de associar a modularidade principalmente à funcionalidade geométrica, é

crucial ressaltar, conforme observado por Ulrich e Tung (1991), que, fundamentalmente, um módulo é definido como uma unidade física.

2.1 MODULARIZAÇÃO

A estratégia de configuração de produtos, intitulada modularização, foi inicialmente mencionada na literatura nos anos 60, desde então o conceito de modularização não apenas emergiu como uma abordagem significativa, mas também testemunhou um notável aumento em sua relevância, manifestando-se como uma tendência cada vez mais proeminente tanto no cenário acadêmico quanto na indústria. Esse crescimento expressivo ao longo do tempo destaca não apenas a durabilidade, mas também a adaptabilidade e eficácia contínua da modularização, consolidando-a como uma prática valiosa e altamente impactante na configuração de produtos.

Dentre as inúmeras vantagens proporcionadas pela estratégia de modularização, destaca-se a notável aceleração no processo de desenvolvimento de produtos, caracterizada pela eficiência na criação e implementação de módulos. Além disso, é válido ressaltar a significativa redução dos custos inerentes à concepção de produtos futuros, representando uma economia substancial ao longo do ciclo de vida do desenvolvimento de produtos. Esses benefícios combinados conferem à modularização um impacto expressivo não apenas na agilidade do desenvolvimento, mas também na eficácia econômica global do processo, estabelecendo-a como uma abordagem valiosa e estratégica na configuração de produtos (STONE *et al.*, 2000).

Para além de outros fatores, tais como a implementação eficiente de economia de escala, a significativa redução de custos relacionados a estoques e logística e a notável flexibilidade proporcionada pela reutilização de componentes, destaca-se também a marcante diminuição tanto do tempo de montagem quanto do tempo de produção. Esses elementos combinados não apenas fortalecem a eficiência operacional, mas também contribuem para um panorama mais abrangente de otimização, conferindo à estratégia de modularização um impacto positivo e abrangente em diversos aspectos do processo produtivo (JOSE; TOLLENAERE, 2005).

Dentre as considerações desfavoráveis vinculadas ao conceito de design modular, destacam-se algumas limitações que merecem análise mais detalhada. Um dos pontos de atenção é o elevado investimento inicial necessário para implementar uma abordagem modular, o que pode representar um desafio financeiro significativo para algumas organizações, além disso, a complexidade inerente ao processo de desenvolvimento pode ser agravada, exigindo uma gestão cuidadosa para mitigar possíveis complicações. Outra desvantagem a ser considerada é a falta de foco centrado no cliente, em alguns casos ao priorizar

predominantemente a redução de custos, há o risco de negligenciar as necessidades específicas e as expectativas do cliente. Esta desconexão pode resultar em produtos que não atendem adequadamente às demandas do mercado, comprometendo a satisfação do cliente e, conseqüentemente, a competitividade da empresa (KONG *et al.*, 2009).

A reutilização de módulos pode expor a empresa a riscos de violação de propriedade intelectual, especialmente se não forem implementadas medidas robustas de proteção e controle. Outro fator a se pensar é na maior facilidade de replicação na reutilização de módulos pode resultar no desenvolvimento de produtos semelhantes, comprometendo a diferenciação no mercado, em resumo cópia facilitada pode levar a uma saturação de produtos similares, reduzindo a singularidade e a inovação que uma empresa pode oferecer (KONG *et al.*, 2009).

A elaboração de produtos modulares requer um comprometimento substancial da equipe envolvida, pois demanda um patamar mais elevado de habilidades, coordenação efetiva, esforço intensivo e uma alocação de tempo mais considerável. Este compromisso mais robusto é fundamental para lidar com a complexidade inerente à abordagem modular, garantindo uma integração eficiente e eficaz dos diversos componentes modulares (JOSE; TOLLENAERE, 2005).

É importante reconhecer que o desenvolvimento de produtos modulares muitas vezes implica em custos mais elevados quando comparado ao design de produtos tradicionais, isso se deve à necessidade de contemplar a concepção simultânea de múltiplas variantes de produtos. A gestão paralela dessas variantes exige uma atenção meticulosa aos detalhes, uma coordenação minuciosa entre as equipes envolvidas e um planejamento cuidadoso, contribuindo para um investimento financeiro mais substancial ao longo do ciclo de desenvolvimento. No entanto, é importante ressaltar que, embora a concepção de produtos modulares envolva desafios adicionais, os benefícios potenciais em termos de flexibilidade, personalização e eficiência operacional muitas vezes superam os custos e esforços iniciais (JOSE; TOLLENAERE, 2005).

2.1.1 A MODULARIZAÇÃO EM AÇÃO

Na fase de pré-produção, a modularidade surge como um elemento crucial para a otimização dos recursos alocados tanto no processo de design quanto na criação de modelos e protótipos, uma vez que proporciona a oportunidade de simplificar a complexidade do sistema. A utilização de soluções prontas para uso torna-se viável, permitindo o adiamento de decisões de projeto, além de ser uma abordagem sustentável de *design* associada à modularidade que

compreende a definição de módulos e elementos de conectividade padronizados, facilitando a agilidade no processo de projeto e nas fases de montagem/desmontagem (SANTOS *et al.*, 2008; NUNES *et al.*,2014).

Na fase de produção, os efeitos da modularidade são evidentes na potencial redução dos tempos de *setup* e na minimização do desperdício de recursos associados a transporte, movimentação e controles desnecessários. Além disso, para que a modularidade alcance seus benefícios plenos, é crucial desenvolver soluções que possibilitem a comunicação eficaz de informações aos usuários/operadores sobre procedimentos de atualização ou manutenção. Na abordagem convencional, essas informações são transmitidas por meio de manuais, contudo, em produtos modulares há a integração dessas informações diretamente no projeto do produto o que pode implicar a utilização de mecanismos de comunicação que explorem outros sentidos humanos além da visão, proporcionando uma abordagem mais holística e intuitiva para os usuários/operadores (SANTOS *et al.*, 2008; NUNES *et al.*,2014).

É na fase de uso que provavelmente residem os maiores benefícios da modularidade, pois cria condições propícias para a implementação de soluções voltadas à otimização da vida do produto, além de proporcionar condições para a extensão da vida dos materiais. Os requisitos de um determinado público-alvo geralmente mudam com o tempo, influenciados pela evolução natural das dimensões culturais, sociais e econômicas. Essas variáveis, aliadas a fatores como mudanças na legislação e escassez de recursos naturais, exigem que os produtos considerem a possibilidade de alterar seus aspectos funcionais, estéticos e simbólicos ao longo de todo o ciclo de vida. Em decorrência, conceitos como flexibilidade, capacidade de atualização e adaptabilidade começam a integrar naturalmente a lista de requisitos dos usuários de produtos e sistemas, e a modularidade surge como um dos mecanismos para a implementação desses conceitos (SANTOS *et al.*, 2008; NUNES *et al.*,2014).

Durante a fase de descarte, a substituição de partes de um subsistema, seja para estender seu ciclo de vida ou permitir seu reuso, requer a aplicação intensiva da modularidade. Da mesma forma, a destinação de todo um sistema ou suas partes para processos de reciclagem ou descarte torna-se mais viável com a adoção de componentes e subsistemas coordenados modularmente. A conectividade entre produtos modulares é especialmente crucial em situações em que há materiais potencialmente tóxicos ou nocivos ao ser humano, ou quando um componente possui alto valor econômico (SANTOS *et al.*, 2008; NUNES *et al.*,2014).

A utilização da modularidade deve permitir a realização de operações de atualização, manutenção ou adaptação do produto no próprio local de uso, evitando os custos econômicos e ambientais decorrentes de um eventual transporte. Nesse sentido, as partes do produto que podem ser mais suscetíveis a danos devem ser projetadas para facilitar sua remoção e substituição, ou, alternativamente, concebidas de forma a torná-las mais robustas, com uma vida útil mais longa. No caso da eventual necessidade de descarte, o produto pode indicar de maneira não necessariamente textual o destino planejado de sua próxima fase no ciclo de vida ou mesmo seu potencial para reuso (SANTOS *et al.*, 2008; NUNES *et al.*, 2014).

2.2 MODULAR

A singularidade de um produto modular revela-se na sua complexidade, onde elementos individuais são meticulosamente concebidos de maneira independente, entretanto, quando integrados, desempenham em uníssono, formando um todo harmonioso (SAKO; MURRAY, 1999). A concepção abrangente de um produto modular, além de enfatizar essa harmonia, busca criar uma variabilidade substancial de produtos, tornando-se assim um pilar essencial no contexto da customização em massa. Entretanto, vale ressaltar que a implementação bem-sucedida dessa variedade de produtos demanda uma gestão eficiente, pois introduz uma complexidade considerável ao longo da linha de produção, como observado por Scavarda *et al.* (2010).

Segundo a visão de Miller e Elgard (1998), a estrutura modular de um produto não é simplesmente uma composição aleatória de elementos, mas sim a integração de unidades funcionais independentes, denominadas módulos. Destaca-se que a arquitetura modular vai além de mapear elementos funcionais; ela contempla também a consideração meticulosa da estrutura física dos componentes do produto, estabelecendo interfaces específicas e dissociadas entre eles (ULRICH, 1995).

O design de produto modular, de acordo com Marshall, Leaney e Botterell (1998), emerge como uma oportunidade estratégica para os desenvolvedores enfrentarem desafios inerentes à complexidade sem impor penalidades significativas à empresa. Já Shamsuzzoha (2011) amplia essa perspectiva ao definir a arquitetura modular de produto como uma metodologia ou sistema que realiza funções gerais do produto por meio da combinação de módulos independentemente projetados.

Baldwin e Clark (1997) enfatizam que o projeto de arquitetura modular concede às empresas a capacidade não apenas de gerenciar, mas também de desenvolver produtos e

sistemas complexos de maneira eficiente. Essa eficiência é alcançada pela decomposição desses sistemas em subsistemas simples ou módulos, sem comprometer a integridade do sistema global. A abordagem modular, ao oferecer flexibilidade, facilitar a manutenção e permitir adaptações eficazes, garante que as empresas possam atender de forma dinâmica e inovadora às demandas mutáveis do mercado. Dessa forma, o design modular não apenas se torna uma estratégia de eficiência, mas também um impulsionador da inovação contínua.

2.3 MODULARIDADE

O autor Ulrich (1995) destaca de maneira enfática que a efetiva implementação da modularidade em um produto está profundamente entrelaçada com a harmonia entre a arquitetura física e funcional do projeto. Esta sinergia entre os aspectos tangíveis e funcionais de um projeto constitui um pilar essencial para a viabilidade e sucesso da estratégia modular, a compreensão precisa dessa interconexão é fundamental para estabelecer uma base sólida que proporciona flexibilidade e eficiência no desenvolvimento de produtos complexos.

A modularidade, conforme delineada por Baldwin e Clark (1997), transcende a mera composição de subsistemas independentes, pois representa uma abordagem que permite a concepção de um produto ou processo complexo a partir de unidades menores, cada uma delas podendo ser desenvolvida de maneira autônoma. No entanto, a verdadeira força da modularidade emerge quando esses subsistemas, apesar de sua independência conceitual, convergem de maneira sinérgica ao serem integrados no conjunto final.

A interdependência entre a arquitetura física e funcional destaca-se como um fator vital para o sucesso dessa estratégia. Essa interconexão não apenas facilita a criação de componentes específicos de maneira independente, mas também promove uma colaboração efetiva e harmoniosa quando esses componentes são combinados para formar o produto ou processo global. Assim, a arquitetura integrada torna-se um alicerce robusto que favorece não apenas a modularidade, mas também a adaptabilidade e a eficácia na resposta às demandas complexas do desenvolvimento de produtos e processos contemporâneos.

2.4 MÓDULO

Consoante a visão de Miller e Elgard (1998), é fundamental compreender o módulo como uma unidade funcional autônoma de suma importância no contexto do produto ao qual está intrinsecamente ligado. Essa entidade modular ostenta interfaces normalizadas e interações que, de maneira fluida, propiciam a composição dos produtos através de combinações variadas.

O cerne dos módulos reside em suas funções claramente definidas, permitindo que sejam meticulosamente testados de forma isolada do sistema global, mesmo que se constituam de componentes interdependentes. Assim, os módulos, ao integrarem-se, convergem para formar um produto, destacando-se por suas interações funcionais preponderantes que ocorrem internamente, enriquecendo a dinâmica de subsistemas cooperativos (MIGUEL, 2005).

A abordagem de Smith e Yen (2010) enriquece ainda mais a perspectiva ao ressaltar o papel crucial do conceito funcional no desenvolvimento de produtos modulares. Nesse contexto, o agrupamento ou subdivisão é conduzido com base nas relações funcionais para conceber módulos específicos que por sua vez, materializam-se como unidades ou componentes normalizados, caracterizados por funções predefinidas dentro de um sistema, destacando-se como entidades autônomas que contribuem significativamente como componentes de um sistema maior (RO *et al.*, 2007). E Newcomb, Bras e Rosen (1996) trazem uma contribuição adicional ao definirem um módulo como um conjunto de componentes, ressaltando que a arquitetura de um produto é moldada pela totalidade desses elementos e pelas intrincadas relações entre eles.

2.5 FORMAS DE MODULARIZAÇÃO E APLICAÇÕES

Dependendo das necessidades específicas de uma empresa, há uma variedade de formas de aplicar a metodologia de modularização. Como destacado por Ulrich e Tung (1991), esses métodos podem ser compreendidos por meio de seis tipos distintos, cada um oferecendo abordagens únicas para atender às demandas variadas do ambiente empresarial:

- **Modularidade de Componentes Intercambiáveis:** é uma abordagem estratégica no design e desenvolvimento de produtos, onde os componentes individuais são concebidos de maneira independente e podem ser facilmente substituídos ou atualizados sem afetar o funcionamento geral do sistema. Ao adotar essa abordagem, as empresas ganham uma flexibilidade notável na manutenção, atualização e personalização de produtos. A capacidade de substituir um componente específico sem a necessidade de modificar todo o sistema simplifica os processos de reparo, reduzindo o tempo de inatividade e melhorando a eficiência operacional.
- **Modularidade de Componentes Compartilhados:** é uma abordagem estratégica no design e desenvolvimento de produtos que enfatiza a criação de componentes modulares que podem ser compartilhados entre diferentes sistemas ou produtos. Ao adotar essa

metodologia, as empresas podem reduzir significativamente os custos de desenvolvimento. A criação de componentes que podem ser utilizados em vários produtos elimina a necessidade de projetar e testar repetidamente as mesmas funcionalidades, resultando em economias de tempo e recursos financeiros.

- **Modularidade de Componentes Fabricados para Caber:** é uma estratégia inovadora no desenvolvimento de produtos, que se concentra na concepção de partes modulares fabricadas de forma específica para se encaixarem harmoniosamente em diferentes contextos e configurações. Essa abordagem visa oferecer flexibilidade excepcional no design e montagem de produtos, proporcionando uma série de vantagens para a indústria. Ao adotar a Modularidade de Componentes Fabricados para Caber, as empresas podem criar produtos altamente adaptáveis que podem ser personalizados de acordo com as necessidades específicas do cliente, em que cada componente é projetado e fabricado com a intenção de se integrar perfeitamente a uma variedade de configurações, permitindo uma maior versatilidade e customização.
- **Modularidade de Barramento:** é uma abordagem estratégica no *design* e desenvolvimento de sistemas, onde a arquitetura é construída em torno de um barramento central que facilita a comunicação e interconexão entre módulos ou componentes independentes. Ao adotar a Modularidade de Barramento, as empresas conseguem criar sistemas altamente flexíveis e escaláveis. O barramento central atua como um canal de comunicação, permitindo que diferentes módulos se conectem e interajam de maneira eficiente, o que facilita a expansão do sistema, pois novos módulos podem ser adicionados ou removidos sem a necessidade de alterações extensivas na arquitetura.
- **Modularidade Seccional:** é uma abordagem estratégica no design e desenvolvimento de produtos ou sistemas, onde a estrutura é concebida em seções distintas e independentes, cada uma representando uma unidade modular. Ao adotar essa abordagem, os produtos ou sistemas podem ser construídos a partir de seções intercambiáveis que se conectam de maneira eficiente. Cada seção representa uma parte funcional ou componente específico do conjunto, permitindo uma fácil substituição, atualização ou personalização, simplificando a manutenção e possibilitando a adaptação rápida a novos requisitos ou mudanças nas preferências do usuário.
- **Modularidade de Mix:** ao adotar a modularidade de mix, as empresas podem criar uma gama diversificada de produtos ou serviços a partir de módulos ou componentes pré-

definidos. Esses elementos modulares podem ser combinados de maneira flexível para formar ofertas customizadas, adaptadas a diferentes segmentos de clientes ou preferências individuais. Essa abordagem é especialmente valiosa em setores onde a personalização e a variedade são cruciais para atender a uma base diversificada de clientes. Ao permitir que os clientes escolham entre diferentes módulos ou componentes, as empresas conseguem criar soluções sob medida, aumentando a satisfação do cliente e atendendo a demandas específicas de mercado.

Conforme indicado por Pandremenos et al. (2009) e Sako e Murray (2000), os três domínios ou setores nos quais a implementação da modularidade pode ser estrategicamente aplicada são:

- **Modularidade em Design (MED):** é uma abordagem fundamental no processo de concepção e desenvolvimento de produtos, onde o design é estrategicamente organizado em módulos distintos e independentes. Ao adotá-la, os elementos-chave do produto são concebidos como módulos separados, cada um desempenhando uma função específica e podendo ser modificado ou substituído de forma independente.
- **Modularidade em Uso (MEU):** é uma abordagem estratégica que se concentra na flexibilidade e adaptabilidade do produto durante sua fase de utilização. Diferente da Modularidade em Design, que se concentra na fase de criação do produto, a MEU direciona sua atenção para a experiência do usuário e as possíveis personalizações e ajustes que podem ser feitos após a aquisição. Essa estratégia implica na concepção de produtos que podem ser facilmente modificados, expandidos ou adaptados pelos usuários finais de acordo com suas necessidades específicas.
- **Modularidade em Produção (MEP):** é uma estratégia fundamental no ambiente industrial, focada na otimização dos processos de fabricação e na eficiência na produção. Essa abordagem visa organizar a produção em módulos independentes e interconectados, proporcionando benefícios significativos em termos de flexibilidade, escalabilidade e eficiência operacional. Ao adotar a Modularidade em Produção, as instalações industriais são projetadas de maneira a permitir a montagem e desmontagem rápida de diferentes módulos de produção. Cada módulo representa uma etapa específica do processo de fabricação, e sua organização modular facilita ajustes, expansões ou adaptações conforme necessário.

Já para os autores Baldwin e Clark (1997), as regras de projetos a serem aplicadas utilizando a modularidade são divididas em três categorias.

- **Arquitetura:** desempenha um papel crucial na definição da estrutura e organização de um sistema, e isso inclui a especificação dos módulos que comporão o sistema e suas respectivas funções. A arquitetura não apenas determina a composição dos módulos, mas também define as interações entre eles, garantindo uma integração eficiente e sinérgica. Ao estabelecer claramente quais funções cada módulo desempenhará, a arquitetura fornece uma estrutura que orienta o desenvolvimento subsequente, promovendo uma implementação consistente e alinhada aos objetivos do sistema. Além disso, a arquitetura desempenha um papel crucial na identificação de pontos de integração e interfaces entre os módulos. Estabelecer padrões e diretrizes para essas interfaces facilita a comunicação entre os componentes do sistema, promovendo uma coordenação eficaz e assegurando que cada módulo cumpra sua função de maneira harmoniosa no contexto geral do sistema.
- **Interfaces:** desempenham um papel crucial na definição do relacionamento entre os módulos de um sistema, fornecendo detalhes precisos sobre como essas unidades funcionais irão interagir entre si. Esta fase do desenvolvimento não apenas descreve como os módulos se encaixarão e se conectarão, mas também delinea os métodos de comunicação que serão empregados, garantindo uma integração suave e eficiente. A descrição detalhada das interfaces é fundamental para estabelecer padrões e protocolos que viabilizem a interconexão entre os diversos módulos do sistema. Isso inclui aspectos como os formatos de dados que serão trocados, os protocolos de comunicação a serem seguidos e os métodos específicos de acoplamento entre os módulos. Ao fornecer essa clareza, as interfaces contribuem para a coesão e a interoperabilidade do sistema como um todo.
- **Padrões:** Essa fase é essencial para garantir que cada módulo seja construído de acordo com os requisitos estabelecidos, promovendo a consistência e a interoperabilidade no sistema como um todo. Ao testar a conformidade de um módulo em relação às especificações do projeto, os padrões estabelecem uma base sólida para assegurar que cada componente contribua de maneira coesa para o objetivo geral do sistema. Isso não apenas garante a qualidade e a confiabilidade de cada módulo individualmente, mas também contribui para a integridade do sistema como uma entidade coletiva. Além disso, os padrões desempenham um papel fundamental na medição do desempenho de um módulo em relação a outro. Isso envolve avaliar aspectos como eficiência,

confiabilidade, velocidade de processamento, entre outros, para garantir que o sistema como um todo atenda aos requisitos de desempenho estabelecidos.

Já para Shamsuzzoha, Kekäle e Helo (2010), conforme a aplicação no desenvolvimento de produtos, a modularidade pode ser categorizada em três tipos distintos:

- **Funcional:** Diversos módulos são agrupados com base em suas funcionalidades, seguindo as intuições ou preferências dos clientes. Ao mesmo tempo, a modularidade técnica fundamenta-se no desempenho tecnológico dos módulos, visando soluções específicas.
- **Física:** Preocupa-se, ainda, com as viabilidades de fabricação, buscando assegurar que os módulos sejam produzidos de maneira eficiente e econômica, além de garantir a coerência de suas interfaces. Essa abordagem destaca a importância não apenas da funcionalidade individual dos módulos, mas também de sua integração fluida no contexto do produto final, considerando aspectos práticos e operacionais ao longo do processo de fabricação. Ao focar nas viabilidades de fabricação, a modularidade técnica busca maximizar a eficiência produtiva e a qualidade, contribuindo para um desenvolvimento de produtos mais eficaz e economicamente viável.
- **Técnica:** Ao aplicar a modularidade técnica, os desenvolvedores têm a oportunidade de criar produtos altamente adaptáveis e ajustáveis, capazes de se adequar a contextos variados e demandas específicas do mercado. A ênfase no desempenho tecnológico não apenas promove a inovação, mas também aprimora a eficiência global do produto, resultando em soluções mais robustas e competitivas. Além disso, ao considerar soluções específicas, a modularidade técnica possibilita uma resposta mais ágil às mudanças no ambiente de mercado, proporcionando flexibilidade para ajustes e atualizações conforme necessário. Dessa forma, essa abordagem não apenas reflete uma visão tecnologicamente avançada, mas também ressalta a adaptabilidade como um componente fundamental para o sucesso no desenvolvimento de produtos em um cenário dinâmico.

Para os autores Kamrani e Salhieh (2010), os módulos funcionais são concebidos para desempenhar funções técnicas de maneira independente ou em colaboração com outros módulos.

- **Função Básica:** desempenha a função global de maneira autônoma ou em conjunto. Mantém constância e serve como o módulo fundamental do produto.

- **Auxiliar:** é utilizado em combinação com o módulo básico.
- **Especial:** destinado a atender exigências particulares do produto ou de uma função específica.
- **Adaptativo:** incorpora funcionalidades que possibilitam ajustes para satisfazer diferentes requisitos e, assim, atender a uma variedade de produtos.
- **Especificações do Cliente:** desenvolvidos para atender necessidades específicas do cliente, não podendo ser antecipados.

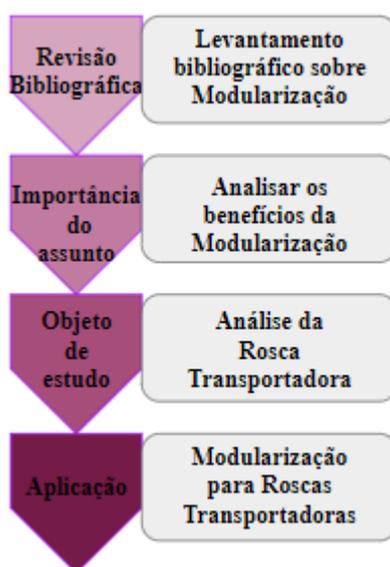
3 METODOLOGIA

A pesquisa realizada será de caráter qualitativo e conduzida pelo método estudo de caso. Existem alguns desafios dentro de uma pesquisa qualitativa, como determinar a validade e confiabilidade dos resultados (MILES; HUBERMAN, 1994). Uma segunda desvantagem associada a esse tipo de pesquisa é a constatação de que os projetos qualitativos podem adquirir uma complexidade excessiva, com um nível de detalhe extremamente profundo, tornando difícil a identificação das relações mais significativas para a construção de uma teoria. Por fim, a condução de pesquisa qualitativa por meio de estudos de casos pode resultar em conclusões não passíveis de generalização, dado que se está examinando apenas uma faceta do fenômeno (EISENHARDT, 1989).

Apesar dessas limitações, a pesquisa qualitativa realizada por meio de estudo de caso é apontada por Eisenhardt (1989) como a abordagem mais apropriada para pesquisas em estágios iniciais, nos quais o entendimento sobre um fenômeno é limitado. Os métodos de pesquisa qualitativa empregados em estudos de caso são recomendados para abordar questões do tipo "como" e "porquê" relacionadas a um determinado fenômeno (YIN, 2002).

A pesquisa bibliográfica baseou-se principalmente nas obras de JOSE; TOLLENAERE (2005); ULRICH (1995); BATAGLIN (2012); KONG (2009) E NUNES (2014).

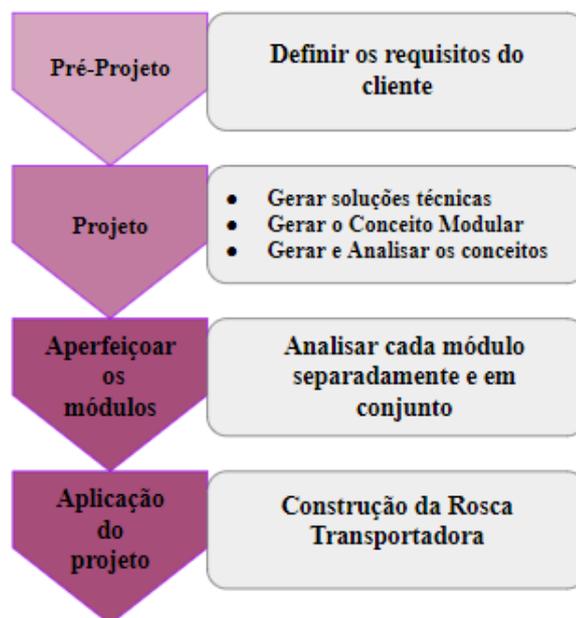
FIGURA 1: METODOLOGIA UTILIZADA NO ESTUDO



Fonte: Autora

Para a proposta de modularização de roscas transportadoras seguiu-se os passos mostrados na figura abaixo:

FIGURA 7: FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA REALIZADA PARA CONSEGUIR REALIZAR A MODULARIZAÇÃO DE ROSCAS TRANSPORTADORAS



Fonte: Autora

Dentro do método qualitativo utilizou-se os seguintes recursos:

- Grupos de foco, através da discussão com engenheiros, técnicos e pessoas envolvidas na manufatura e montagem;
- Análise de texto, ocasionada pelo levantamento da revisão bibliográfica;
- Estudo de caso, no qual avaliou-se a metodologia.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 BENEFÍCIOS DA MODULARIZAÇÃO NA PRODUÇÃO

A metodologia estratégica da modularização na produção tem como objetivo fragmentar de maneira sistemática um sistema ou processo de fabricação em módulos independentes e interligados. Essa abordagem não apenas oferece uma variedade significativa de ganhos para as organizações, mas também estimula de forma substancial a eficácia, a maleabilidade e o aprimoramento em diversas dimensões. Essa prática estratégica, ao segmentar e interconectar componentes, proporciona uma otimização mais abrangente, refletindo-se em benefícios palpáveis para a eficiência operacional e a adaptabilidade estratégica das empresas (BERNARDES *et al.*, 2013).

Na etapa preliminar da produção, a modularização pode contribuir significativamente para a minimização dos recursos investidos tanto no processo de concepção quanto na criação de modelos e protótipos, uma vez que oferece a oportunidade de reduzir a complexidade do sistema. A utilização de soluções prontas para uso torna-se viável, permitindo o adiamento de decisões de projeto. Isso confere ao cliente final e ao projetista uma maior flexibilidade em relação aos prazos para a elaboração detalhada do projeto, resultando, portanto, em uma redução no volume de recursos alocados nessa fase (SANTOS *et al.*, 2008; BERNARDES *et al.*, 2013).

Ao adotar a modularização, é possível reduzir o número de materiais incompatíveis em um produto, integrando funções e diminuindo a quantidade de componentes e materiais utilizados. Portanto, sempre que viável, o esforço de projeto deve ser direcionado para minimizar a variedade de materiais em um produto ou subconjunto. Exceto em casos excepcionais, a busca por um produto monomaterial pode ser estabelecida como meta de longo prazo no desenvolvimento de um produto coordenado modularmente, mesmo quando há processos distintos de transformação para o mesmo produto (SANTOS *et al.*, 2008; BERNARDES *et al.*, 2013).

Durante a fase de produção, os efeitos da modularização se refletem na potencial redução dos tempos de preparação (*setup*), bem como na minimização do desperdício de recursos associado a transporte, movimentação e controles desnecessários. Além disso, para que a modularização alcance seus benefícios máximos, é crucial desenvolver soluções que possibilitem a comunicação eficaz de informações sobre procedimentos de atualização ou manutenção aos usuários e operadores. Na abordagem convencional, essas informações são transmitidas por meio de manuais. Contudo, em produtos modulares, onde partes individuais

podem ser manipuladas independentemente, é essencial considerar, na fase de projeto, a integração dessas informações diretamente no design do produto. Isso pode envolver a adoção de mecanismos de comunicação que explorem outros sentidos humanos além da visão (SANTOS *et al.*, 2008; BERNARDES *et al.*, 2013).

É na fase de utilização que se encontram, provavelmente, os benefícios mais significativos da modularização. Isso ocorre porque ela cria condições propícias para a implementação de soluções voltadas à otimização da vida útil do produto, ao mesmo tempo em que viabiliza a extensão da durabilidade dos materiais utilizados. Os requisitos de um público-alvo tendem a evoluir ao longo do tempo, influenciados pela progressão natural de aspectos culturais, sociais e econômicos. Essas variáveis, aliadas a fatores como mudanças na legislação e escassez de recursos naturais, exigem que os produtos considerem a possibilidade de ajustar seus atributos funcionais, estéticos e simbólicos ao longo de todo o ciclo de vida (SANTOS *et al.*, 2008; BERNARDES *et al.*, 2013).

Segundo Gershenson, Prasad e Allamneni (1999), a adoção da modularidade proporciona ao projetista uma flexibilidade ampliada diante de mudanças nos produtos, processos e requisitos. A modularidade viabiliza a aplicação do paralelismo no desenvolvimento de projetos, permitindo que alterações nos módulos não impactem significativamente o tempo total de desenvolvimento do produto. Outro aspecto relevante da modularidade é a potencial redução nos custos ao longo do ciclo de vida do produto, resultante da diminuição nos processos.

4.2 A INSERÇÃO DA MODULARIZAÇÃO NO MERCADO INDUSTRIAL

Atualmente o mercado industrial está vivendo uma nova revolução, a revolução tecnológica, em que há a adoção de equipamentos inteligentes e de metodologias de trabalho mais desenvolvidas. A Indústria 4.0, como também é chamada a revolução industrial atual, é uma evolução tecnológica que redefine a forma de produzir, interagir e pensar no futuro. O casamento estratégico dessas tecnologias visa não apenas otimizar os processos industriais existentes, mas também pavimentar o caminho para inovações disruptivas que impulsionam a sociedade em direção a novos patamares de eficiência e sustentabilidade (TIMAFEJN, 2021).

A modularização representa uma abordagem estratégica no contexto do mercado industrial, desencadeando uma série de benefícios e impulsionando a eficiência operacional. Essa metodologia, que envolve a divisão de sistemas complexos em módulos independentes e

interconectados, vem ganhando destaque como resposta aos desafios crescentes enfrentados pelas indústrias contemporâneas. Ao decompor sistemas em unidades funcionais independentes, as empresas podem gerenciar e aprimorar cada componente de maneira mais eficaz, promovendo uma resposta ágil às demandas do mercado em constante mudança.

A elaboração de produtos modulares requer um comprometimento substancial da equipe envolvida, pois demanda um patamar mais elevado de habilidades, coordenação efetiva, esforço intensivo e uma alocação de tempo mais considerável. Este compromisso mais robusto é fundamental para lidar com a complexidade inerente à abordagem modular, garantindo uma integração eficiente e eficaz dos diversos componentes modulares. É importante reconhecer que o desenvolvimento de produtos modulares muitas vezes implica em custos mais elevados quando comparado ao design de produtos tradicionais, isso se deve à necessidade de contemplar a concepção simultânea de múltiplas variantes de produtos (JOSE, TOLLENAERE, 2005).

A agilidade é uma característica fundamental proporcionada pela modularização no mercado industrial, a capacidade de adaptar e reconfigurar módulos independentes permite às empresas responder rapidamente às variações na demanda, mudanças nas especificações do cliente e evoluções tecnológicas. Essa flexibilidade é essencial para garantir a competitividade e a sustentabilidade a longo prazo no cenário industrial dinâmico, além disso, a modularização facilita a integração de inovações tecnológicas. Novas tecnologias podem ser incorporadas de maneira mais eficiente em módulos específicos, sem a necessidade de reformulações extensivas em toda a linha de produção. Isso não apenas acelera a adoção de avanços tecnológicos, mas também permite que as empresas permaneçam na vanguarda da inovação.

Um exemplo de aplicação da modularização para facilitar o desempenho industrial é o uso das roscas transportadoras para agilizar o transporte de grãos. A amplitude de aplicação desse equipamento é notável, estendendo-se desde implementos agrícolas até equipamentos industriais, desempenhando um papel verdadeiramente crucial no âmbito do sistema produtivo, tanto na esfera industrial quanto na agrícola.

A sua marcante versatilidade não apenas se destaca, mas também desempenha um papel fundamental ao contribuir de maneira significativa para a eficiência e operacionalidade em uma variedade de setores. Seja na otimização meticulosa dos processos agrícolas ou no apoio robusto às operações industriais, a presença e a funcionalidade deste equipamento representam fatores essenciais que impulsionam a produtividade e promovem uma eficácia notável nos diversos ambientes de trabalho em que é empregado (PETRULHO, ALMEIDA 2021).

4.3 PROJETO PARA MANUFATURA E MONTAGEM (DFMA)

A técnica de Design for Manufacture and Assembly (DFMA) é comumente subdividida em duas abordagens distintas: o *Design for Manufacture* (DFM) e o *Design for Assembly* (DFA). Conforme destacado por Rozenfeld *et al.* (2006) e Boothroyd *et al.* (2002), o DFM concentra-se nos aspectos relacionados à manufatura, enquanto o DFA se dedica ao processo de montagem.

Nesse contexto, o DFMA representa uma fusão sinérgica dessas duas vertentes, desempenhando um papel crucial ao revelar de que maneira os recursos disponíveis na linha de produção podem influenciar o êxito do projeto. Sua principal meta é analisar minuciosamente as características do produto, com o intuito último de otimizar a utilização dos recursos industriais da empresa. Segundo Ericsson e Erixon (1999) o *Design for Manufacture* (DFM), possui 5 fases:

- **Definir os critérios do consumidor:** Na fase inicial do processo de desenvolvimento de produtos, é fundamental estabelecer com precisão os requisitos do consumidor. Este estágio marca o ponto de partida onde as características essenciais do produto começam a se delinear, com base na análise da concorrência e na compreensão aprofundada dos requisitos do cliente.
- **Produzir e resolver soluções técnicas:** Diversas alternativas e soluções técnicas são geradas, utilizando uma abordagem sistemática baseada na árvore de funções. Esta técnica permite uma abordagem estruturada e abrangente para explorar diferentes caminhos e abordagens para atender às necessidades do projeto.
- **Gerar o conceito modular:** Neste estágio, a análise é conduzida com base em critérios de modularidade, buscando garantir que o produto seja estruturado de forma eficiente e adaptável às necessidades do mercado. O DFM adota diretrizes específicas de modularização para orientar a divisão do produto em módulos distintos e interrelacionados, estas diretrizes são fundamentadas em princípios de design que promovem a flexibilidade, a escalabilidade e a interoperabilidade dos módulos entre si. A aplicação dessas diretrizes é facilitada pela utilização da *Module Identification Matrix* (MIM), um instrumento que compara os controladores de módulos padrão com as soluções técnicas disponíveis. Ela compara as características das soluções técnicas com as diretrizes de modularização, oferecendo uma orientação clara sobre quais funções do produto são mais adequadas para a modularização.

- **Analisar os conceitos:** Este é um ponto fundamental onde a interconexão e interdependência entre os diversos módulos do sistema são meticulosamente delineadas, garantindo a integração harmoniosa e eficiente do produto como um todo. A determinação da relação de interface entre os módulos envolve uma análise abrangente das interações necessárias para o funcionamento adequado do sistema. São identificadas e especificadas as interfaces de comunicação, troca de dados, energia, e quaisquer outros elementos que possam ser necessários para garantir a cooperação e sinergia entre os módulos. Além disso, nesta etapa, são estabelecidos os padrões e protocolos de comunicação que regerão as interações entre os diferentes módulos. Isso inclui a definição de formatos de dados, protocolos de comunicação, interfaces físicas e lógicas, entre outros aspectos técnicos essenciais para garantir a interoperabilidade e compatibilidade entre os diversos componentes do sistema. É importante ressaltar que a definição precisa das relações de interface entre os módulos é crucial para o sucesso do projeto como um todo. Uma abordagem cuidadosa e sistemática nessa fase do desenvolvimento ajuda a evitar problemas de integração, retrabalho e inconsistências no produto final, garantindo uma implementação suave e eficaz do sistema.
- **Otimizar os módulos:** No estágio final do método, a ênfase recai sobre a definição detalhada das especificações dos módulos, que abrangem informações técnicas, metas de custo, e outros critérios relevantes. Essas especificações formam a base para aprimorar cada módulo, envolvendo o refinamento e a otimização dos conceitos gerados durante todo o processo, utilizando o método DFM.

4.4 CARACTERIZAÇÃO DE ROSCAS TRANSPORTADORAS

A rosca transportadora pode ser chamada também de rosca helicoidal, e trata-se de um avançado dispositivo especialmente projetado para facilitar o deslocamento, abrangendo não apenas movimentos laterais, mas também inclinados. A direção precisa desse deslocamento é habilmente determinada pela interação entre a rotação e o tipo específico do helicóide, podendo este apresentar um passo à esquerda ou à direita, desencadeando o movimento dos grãos de maneira eficiente, uma vez que estes são impulsionados por um arraste meticulosamente gerado pela contínua rotação do helicóide (MILMAN, 2002).

A rosca transportadora desempenha um papel crucial na movimentação eficiente de materiais granulares e farelos, os versáteis transportadores helicoidais são adaptáveis a uma ampla gama de contextos, sendo notáveis, sobretudo, em atividades como a carga e descarga

de silos, o esvaziamento de secadores, além de servirem em uma extensa variedade de outras aplicações correlatas, sua presença proeminente nessas operações ressalta a sua importância e versatilidade no manuseio de diferentes tipos de carga (GSI, 2020).

Esses mecanismos de transporte são dotados de uma configuração cilíndrica distintiva, destacam-se pela presença de helicoides habilmente confeccionados em chapas de aço carbono SAE 1045/1060. Estes helicoides são cuidadosamente conformados sobre um tubo mecânico de parede espessa, conferindo robustez e durabilidade à estrutura; é importante salientar que a versatilidade dessas roscas não se limita apenas à sua forma e material padrão, pois sua construção pode ser adaptada para incorporar diferentes materiais. Essa adaptabilidade é uma resposta direta às necessidades específicas do cliente e às exigências particulares de cada instalação, em que tal flexibilidade no processo construtivo proporciona uma notável capacidade de personalização, possibilitando ajustes precisos às condições e requisitos únicos de cada aplicação industrial (PASQUALINI *et al.*[Sd]).

FIGURA 2: ROSCA TRANSPORTADORA



Fonte: PASQUALINI *et al.* [Sd]

No processo de concepção de um transportador helicoidal, torna-se imperativo refletir cuidadosamente sobre o tipo específico de material que se pretende transportar, considerando também o volume total envolvido e a velocidade desejada para a efetiva condução. A abordagem integral desses elementos revela-se crucial durante a fase de elaboração do projeto, sendo essencial para garantir não apenas uma concepção, mas uma concepção verdadeiramente adequada e eficiente do transportador helicoidal em questão, este enfoque minucioso no planejamento é fundamental para a consecução de um sistema de transporte que atenda de

maneira precisa às demandas particulares de cada aplicação, promovendo, assim, um desempenho otimizado e confiável ao longo do tempo.

4.4.1 FUNCIONAMENTO DA ROSCA TRANSPORTADORA

O processo inicia-se com o encaminhamento do material em direção a um guia estratégico, responsável por direcionar sua entrada de maneira precisa para o mecanismo subsequente. O material é, então, depositado com precisão na calha limitadora de carga, também conhecida como carcaça, que ostenta uma configuração em forma de U ou tubo fechado, proporcionando uma alimentação contínua e ininterrupta. Posteriormente, o material é confiado ao transporte através de um eixo, no qual a rosca sem fim é habilmente unida por meio do processo de soldagem, assegurando uma integridade estrutural sólida.

O eixo helicoidal, por sua vez, é cuidadosamente acoplado a um motor redutor, cujo acionamento desencadeia uma operação eficiente. Este motor redutor não apenas gera trabalho, mas também coordena a movimentação suave do material ao longo do helicóide, culminando na sua condução até a boca de descarga. Destaca-se que a flexibilidade desses transportadores é notável, pois são capazes de operar tanto na posição horizontal quanto inclinada, conferindo-lhes a capacidade de movimentar e elevar materiais de forma eficiente, adaptando-se às demandas específicas de cada aplicação. Essa versatilidade faz desses transportadores elementos fundamentais em processos industriais diversificados (PETRULHO, ALMEIDA, 2021).

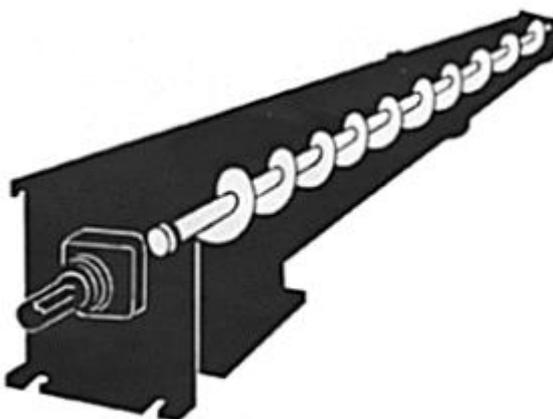
Desenvolver um projeto eficiente de rosca transportadora requer uma abordagem cuidadosa e uma compreensão aprofundada dos requisitos específicos do sistema, aprimorar esse processo envolve a consideração de vários fatores, desde o design inicial até a implementação prática. É essencial realizar uma análise abrangente dos requisitos específicos do projeto, isso inclui a natureza dos materiais a serem transportados, as condições ambientais, as taxas de produção desejadas e as restrições espaciais. Com uma compreensão clara desses elementos, é possível personalizar o design da rosca para atender precisamente às necessidades do sistema (BARRIOS, 2021).

Após ler os trabalhos já existentes acerca do tema, observou-se que a rosca transportadora pode ser implementada de maneira simplificada e utilizando a arquitetura de produtos modular como metodologia norteadora. Como forma de otimizar a modularização das roscas de transporte, propõe-se um conjunto complexo de peças que em conjunto irão melhorar o desempenho desta. A proposta é unir um elemento de entrada do material que é produzido

pela empresa (grãos, ração, queijo, etc.), um lugar para acoplar a rosca de transporte e um lugar de saída além de um componente de acionamento.

Segundo Milman (2002), a configuração horizontal da rosca transportadora, comumente conhecida como calha transportadora fixada ao chão, é amplamente adotada para a movimentação eficiente de materiais granulares e farelos em diversas aplicações industriais. Essa disposição específica oferece uma solução robusta e versátil para o transporte de cargas a granel, proporcionando benefícios significativos em termos de acessibilidade, manutenção e operacionalidade (Figura 2).

FIGURA 3: CALHA TRANSPORTADORA



Fonte: Milman (2002)

A rosca transportadora em forma de calha transportadora é projetada para movimentar grãos em curtas, médias ou longas distâncias, seja em silos, secadores e diversas outras aplicações. Pode ser instalada tanto em ambientes internos quanto externos (COFELMA, 2020a). Pode ser fabricada em aço carbono ou em aço inoxidável podendo possuir formato de “U”, encontrando aplicações nas indústrias química, alimentícia, farmacêutica e de mineração (BARRIOS, 2021).

FIGURA 4: ROSCA TRANSPORTADORA (HELICOIDAL)

Fonte: CALDESA (2023).

O lugar em que a rosca transportadora irá ser acoplada pode ser denominado de calha transportadora, desempenha um papel crucial na estrutura da rosca transportadora, tendo como finalidade principal cobrir a rosca transportadora e servir como suporte para os mancais de rolamento localizados nas extremidades. Geralmente, é fabricado utilizando chapas ou tubos de aço, garantindo robustez e durabilidade ao componente. A carga e descarga dos materiais são realizadas em pontos específicos ao longo da calha, conhecidos como bica de carga ou entrada, e bica de descarga ou saída. Esses locais bem determinados facilitam a eficiência do processo, permitindo um fluxo controlado e direcionado dos materiais transportados (MILMAN, 2002).

Conforme destacado por Macdarma (2020), a calha da rosca transportadora é frequentemente fabricada utilizando perfis e chapas de aço carbono SAE 1010/20. No entanto, o autor ressalta que há a possibilidade de construção utilizando aço inoxidável, como o AISI 304 ou 316, essa flexibilidade na escolha de materiais reflete a adaptabilidade do projeto às necessidades específicas da aplicação, oferecendo opções que variam em resistência, durabilidade e capacidade de resistir a condições ambientais adversas.

FIGURA 5: CALHA TRANSPORTADORA E ROSCA TRANSPORTADORA

Fonte: PADIX (2023)

Outra parte necessária para que o processo funcione são os helicóides, que são tiras de chapas de metal que passam por um processo de laminação e podem ser submetidos a diferentes tratamentos térmicos e termoquímicos e se caracterizam pelo passo, que pode ser à esquerda ou à direita, além do diâmetro externo e diâmetro interno (MILMAN, 2002).

FIGURA 6: HELICÓIDE

Fonte: COFELMA (2020)

A folga máxima recomendada entre o sem-fim e a calha ou tubo é de 5 a 10 mm, com o intuito de evitar danos aos grãos, essa especificação visa garantir um transporte eficiente e

seguro, minimizando o risco de quebras durante o processo. A escolha cuidadosa do dimensionamento do helicóide e da folga é essencial para otimizar o desempenho da rosca transportadora, assegurando uma movimentação suave e confiável dos materiais (TIMKEN, 2020).

O acionamento do transportador helicoidal representa uma etapa crucial na operação eficiente desse sistema, e diversas abordagens são empregadas para garantir um movimento contínuo e preciso dos materiais transportados, comumente, a escolha recai sobre o uso de motoredutores com acoplamento direto ou motores elétricos associados a polias e correias. A configuração mais direta envolve a implementação de motoredutores com acoplamento direto. Essa escolha simplifica o sistema ao integrar diretamente o motor redutor à rosca transportadora, eliminando a necessidade de componentes intermediários, esse método é especialmente eficaz em ambientes industriais onde a simplicidade e a robustez são prioridades, proporcionando uma solução compacta e de fácil manutenção (MILMAN, 2002).

Por outro lado, motores elétricos em combinação com polias e correias oferecem flexibilidade adicional no controle da velocidade e na adaptação a diferentes condições operacionais. Essa abordagem permite ajustes mais refinados na transmissão de potência, adequando-se a exigências específicas de processos industriais, a utilização de polias e correias também proporciona um amortecimento eficaz de choques mecânicos, contribuindo para a preservação dos componentes do sistema (BARRIOS, 2021).

A escolha entre essas opções de acionamento depende das demandas específicas de cada aplicação. Em ambientes onde a simplicidade é crucial e as condições operacionais são mais padronizadas, o uso de motoredutores com acoplamento direto pode ser a escolha mais eficiente, já em cenários que demandam maior flexibilidade no controle de velocidade e adaptabilidade, a configuração com motores elétricos, polias e correias pode ser preferível (JÚNIOR *et al.* [sd]).

O conjunto de componentes que compõem a estrutura global de um transportador helicoidal desempenha um papel fundamental na movimentação eficiente de materiais por meio do arraste, seja em posições horizontais ou inclinadas, essa engenharia cuidadosa e integrada visa assegurar um transporte suave e confiável ao longo do sistema. O coração desse conjunto é o helicóide, uma fita de chapa de metal que, após passar por processos de laminação e tratamentos térmicos, incorpora propriedades cruciais para a condução eficaz dos materiais. Juntamente com a calha ou tubo, que serve como apoio e envoltório para o helicóide, forma-se a estrutura essencial para o transporte (MILMAN, 2002).

Os mancais de rolamento nas extremidades do helicóide desempenham um papel crítico na estabilidade estrutural, garantindo que o movimento de arraste ocorra de maneira suave e livre de atritos excessivos. O acionamento, seja por meio de motor-redutores com acoplamento direto ou motores elétricos com polias e correias, fornece a energia necessária para impulsionar o conjunto de forma consistente. Em posições inclinadas, a geometria do transportador helicoidal é projetada para lidar eficientemente com o desafio adicional da gravidade, a combinação de passo, diâmetro externo e diâmetro interno do helicóide é otimizada para proporcionar um transporte seguro e eficiente, garantindo que os materiais se movam de maneira controlada, sem riscos de deslizamento ou acúmulo excessivo (MILMAN, 2002; BARRIOS, 2021).

Essa integração de componentes, trabalhando harmoniosamente como um sistema, destaca-se por sua capacidade de lidar com uma variedade de materiais em diferentes condições operacionais. Seja para o transporte de grãos, pós, ou outros materiais a granel, o conjunto de componentes do transportador helicoidal é projetado para oferecer desempenho consistente, contribuindo significativamente para a eficiência dos processos industriais.

4.5 MODULARIZAÇÃO DE ROSCA TRANSPORTADORA DE GRÃOS

4.5.1 DEFINIR OS REQUISITOS DO CLIENTE

Utilizando o DFM para a modularização de uma rosca transportadora, o estudo leva em conta a modularização frente às considerações de manufatura e montagem. Os requisitos do cliente e demais passos para realizar a modularização de roscas transportadoras foram levantados a partir da análise bibliográfica de Machado; Maziero (2014).

TABELA 1. REQUISITOS DO CONSUMIDOR E DEFINIÇÕES / ESPECIFICAÇÕES IDENTIFICADAS PARA A ROSCA TRANSPORTADORA.

Requisitos do Consumidor	Definições
1. Aparência	1. Design atraente e inovador que demonstre a robustez do equipamento 2. Forma / formato do conjunto final

	<p>agradável.</p> <p>3. Cor (tipo)</p>
2. Qualidade	<p>1. Perfeito alinhamento entre os componentes</p> <p>2. Uniformidade da cor</p> <p>3. Baixo ruído no funcionamento</p>
3. Durabilidade	<p>1. Manter o desempenho de trabalho durante o ciclo de vida</p> <p>2. Longo ciclo de vida com uso rotineiro</p> <p>3. Baixo índice de falhas</p> <p>4. Materiais resistentes</p>
4. Facilidade de operação	<p>1. Instruções de uso do produto de fácil entendimento (Manual técnico de utilização que o acompanha)</p> <p>2. Facilidade de utilização / operação</p>
5. Segurança	<p>1. Resistência dos materiais aplicados na estrutura do produto</p> <p>2. Em caso de pane no sistema hidráulico / elétrico usar o botão de emergência</p>
6. Consumo de energia	<p>1. Baixo consumo de energia</p>
7. Não agride o meio ambiente	<p>1. Processos de recuperação / reutilização que não agridam o meio ambiente (limpeza, restauração)</p>

Fonte: Adaptada de Machado; Maziero (2014).

TABELA 2. GRAU DE IMPORTÂNCIA DOS REQUISITOS PARA O CONSUMIDOR

Requisitos do Consumidor	Definições
1. Aparência	7
2. Qualidade	2
3. Durabilidade	3
4. Facilidade de operação	4
5. Segurança	1
6. Consumo de energia	6
7. Não agride o meio ambiente	5

Fonte: Adaptada de Machado; Maziero (2014).

TABELA 3. PROPRIEDADES DO PRODUTO

Propriedades do produto
1. Formato do equipamento que transmite robustez
2. Cor uniforme
3. Movimentação na direção certa dos grãos
4. Resistência mecânica dos componentes estruturais
5. Rigidez da estrutura
6. Inclinação certa para a movimentação eficiente de materiais granulares e farelos em diversas aplicações industriais.
7. Força na rosca de transporte
8. Eficiência das partes elétricas

9. Visibilidade dos produtos
10. Vida útil
11. Operação do equipamento
12. Manutenção e substituição de componentes
13. Separação dos grãos

Fonte: Adaptada de Machado; Maziero (2014).

4.5.2 GERAR SOLUÇÕES TÉCNICAS

Nesta etapa, o produto é analisado sob uma perspectiva funcional, onde é realizado o levantamento das funções e subfunções que atendem aos requisitos, e a escolha das abordagens técnicas correspondentes. As características do produto são categorizadas com base em funções semelhantes, agrupando-as para facilitar a formulação das soluções técnicas de acordo com os requisitos estabelecidos.

TABELA 4. SOLUÇÕES TÉCNICAS PARA AS FUNÇÕES.

Função	Solução Técnica
1. Entrada dos grãos na linha de transporte	<ol style="list-style-type: none"> 1. Abertura de entrada. 2. Mecanismo de Seleção dos melhores grãos 3. Estrutura do conjunto do rodado 4. Estrutura do conjunto de apoio 5. Motor elétrico 6. Chave liga /desliga
2. Grãos na Calha	<ol style="list-style-type: none"> 1. Chave liga desliga 2. Soldagem 3. Válvula de controle

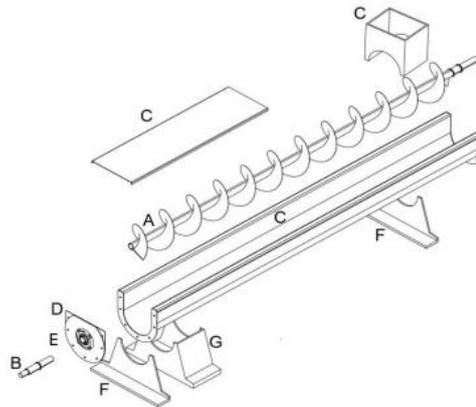
	4. Cabeçalho de transporte
3. Grãos na rosca transportadora	1. Motor redutor 2. Pannel de direcionamento
4. Segurança	1. Chave liga desliga

Fonte: Adaptada de Machado; Maziero (2014).

4.5.3 GERAR O CONCEITO MODULAR

No terceiro passo do processo, as soluções técnicas que foram cuidadosamente selecionadas no segundo passo são submetidas a uma análise minuciosa com relação às suas razões para a formação de módulos. Neste estágio, é essencial examinar detalhadamente as características e funcionalidades de cada solução técnica, levando em consideração diversos aspectos, como a escalabilidade, modularidade, eficiência e flexibilidade.

FIGURA 8: REPRESENTAÇÃO DE UM TRANSPORTADOR HELICOIDAL COMUM E SEUS COMPONENTES PARA A GERAÇÃO DE UM MÓDULO



- A-** Hélice ou helicóide;
- B-** Ponta de eixo;
- C-** Calha limitadora de carga (carcaça) e boca de entrada;
- D-** Tampas de fechamento;
- E-** Mancal;
- F-** Suporte de fixação;
- G-** Bocal de descarga;

Fonte: Petrulho *et al.* (2021)

4.5.4 GERAR E ANALISAR CONCEITOS

Este passo do processo constitui uma etapa essencial na avaliação dos conceitos gerados, e é conduzido através da utilização da Matriz de Interfaces (MI). A análise da Matriz de Interfaces é um processo meticuloso e detalhado, onde cada elemento é examinado em profundidade para compreender sua função e sua interação com os demais.

Tabela 5. Matriz de Interfaces

Tipos de interfaces: S - Espacial A - Fixação T - Transferência F - Campo E - Ambiente C - Controle ou Comunicação	Bocal de entrada	Rosca Transportadora	Chave liga/desliga	Calha Transportadora	Bocal de descarga
Bocal de entrada	S, T	C,T	C, T	S, E
Rosca Transportadora	C	T, F	S, T
Chave liga/desliga	C	C
Calha Transportadora	T, S
Bocal de descarga

Fonte: Adaptada de Machado; Maziero (2014).

4.5.5 APERFEIÇOAR OS MÓDULOS

No passo final do método DFM, realiza-se uma detalhada especificação por escrito para cada módulo, abrangendo informações técnicas, metas de custo previstas durante o desenvolvimento, descrição de variantes, entre outros elementos essenciais. Essas especificações dos módulos representam a espinha dorsal da estrutura do produto, proporcionando uma visão clara e abrangente de cada componente individual.

Essa etapa é fundamental, pois consolida o conceito de modularização ao aprofundar a análise de cada módulo separadamente. Ao documentar detalhadamente as características técnicas e funcionais de cada componente, a equipe de desenvolvimento ganha uma compreensão mais aprofundada das interações e interdependências entre os módulos. Isso não apenas facilita o processo de fabricação e montagem, mas também permite uma gestão mais eficaz do ciclo de vida do produto, incluindo manutenção, atualizações e modificações futuras.

As especificações dos módulos fornecem um ponto de referência crucial para avaliar o desempenho e a qualidade do produto final, ao comparar as características reais dos módulos com as metas e requisitos estabelecidos nas especificações, é possível identificar possíveis desvios e realizar ajustes conforme necessário ao longo do processo de desenvolvimento.

5 CONCLUSÃO

Os benefícios derivados da implementação da modularização nas organizações abrangem uma ampla gama de áreas, incluindo funcionalidade de produtos, desenvolvimento, produção, cadeia de fornecimento, processos e outros aspectos fundamentais. A modularidade oferece aos projetistas um controle significativo sobre como as variações nos processos ou requisitos podem impactar o produto. Além disso, ao promover a intercambiabilidade, ela concede uma flexibilidade considerável para adaptar-se a mudanças nos processos, permitindo atrasar decisões de projeto até que mais informações estejam disponíveis, sem comprometer o progresso no desenvolvimento do produto. Essa flexibilidade resulta não apenas em tomadas de decisões mais informadas, mas também contribui para a redução dos custos ao longo do ciclo de vida do produto.

A modularidade, ao minimizar o número de processos e eliminar redundâncias, possibilita uma gestão mais eficiente dos recursos, refletindo em economias substanciais. Outros benefícios inerentes à modularidade incluem a potencial redução nos ciclos de vida do produto, um aumento no número de variantes disponíveis, maior flexibilidade no desenvolvimento de produtos, a capacidade de realizar atualizações tecnológicas eficientes e uma redução no número de fornecedores, resultando, por conseguinte, em economias significativas nos custos de desenvolvimento e produção.

À medida que o consumidor final busca personalização, a modularidade em uso oferece a capacidade aos clientes de mesclar e combinar elementos para criar um produto final que atenda precisamente aos seus gostos e necessidades. A modularidade não só proporciona flexibilidade funcional, mas também se destaca na adaptação às exigências variadas do usuário final. Nesse contexto, desempenha um papel crucial ao longo do ciclo de vida e do tempo de desenvolvimento, contribuindo para uma abordagem mais versátil e sustentável.

O propósito central deste artigo foi abordar criticamente os conceitos de modularização, modularidade, modular e módulo, explorando suas inter-relações, diversas abordagens e os benefícios decorrentes da aplicação estratégica dessa metodologia. Além disso, objetivou-se também explorar a modularização por trás do uso das roscas transportadoras e analisar a importância dessa organização.

Por fim, recomenda-se a realização de estudos e análises adicionais sobre a modularização, com foco especial em estudos de caso envolvendo empresas brasileiras. Adicionalmente, sugere-se a condução de estudos mais aprofundados que apresentem dados e

resultados mais substanciais, com o intuito de comprovar os impactos da modularização, pois essa linha de pesquisa contribuirá significativamente para a compreensão mais aprofundada dos efeitos da modularização no cenário local, oferecendo perspectivas valiosas para aprimorar práticas e estratégias empresariais no contexto brasileiro.

REFERÊNCIAS

BALDWIN, C.; CLARK, K. B. **Managing in the Age of Modularity**. Harvard Business Review, v.75, n°5, 1987.

BARRIOS, J. L. **Concepção e construção de uma bancada de ensaios de desgaste em helicóide de transportadores helicoidais utilizados na movimentação de grãos**. 2021.

BATAGLIN, M. **O método do desdobramento da função modular no projeto e manufatura sustentável de produtos: aplicação em uma empresa do setor metal-mecânico**. 2012.

BAXTER, M. **Projeto de Produto: Guia prático para o design de novos produtos**. 2ª edição. Editora Blucher. São Paulo-SP. 2000.

BERNARDES, H.; KARLA, B.; COSTA, K. **Modularização: simplificando a gestão e maximizando os resultados**. Espacios, 34(2), 2-16, 2013.

BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P.; KNIGHT, W. **Product design for manufacture and assembly**. New York: Marcel Dekker, 2002.

COFELMA, Produtos, 2020a. Disponível em <http://cofelma.com.br/produto/calha/> Acesso em 30 nov 2023.

COFELMA. Helicóide. Disponível em: <https://cofelma.com.br/produto/helicóide-laminado/>. Acesso em 27 nov 2023.

COSTA, D. I. S. **Análise do Desempenho e Otimização de Processos Industriais na Indústria Automóvel**. Relatório De Estágio De Natureza Profissional Para A Obtenção Do Grau De Mestre Em Engenharia E Gestão Industrial. Instituto Politécnico De Coimbra. Coimbra, 2022.

EISENHARDT, K. **Building Theories from Case Study Research** Academy of Management Review. Vol.14, n°14, pp-532-550.1989

FIXSON, S.; SAKO, M. **Modularity in Product Architecture: Will the Auto Industry Follow the Computer Industry?** (An Analysis of Product Architecture, Market Conditions and Industrial Forces) IMVP/ MIT Working Paper, 2001.

FREDRIKSSON, P. **Operations and logistics issues in modular assembly processes: cases from the automotive sector**. Journal of Manufacturing Technology Management, v. 17, n. 2, p. 168-186, 2006.

GERSHENSON, J. K., PRASAD, G. J. & ALLAMNENI, S., Modular product design: a life cycle view. **Journal of Integrated Design and Process Science**, v.3, p.3–26. 1999.

GSI BRASIL, Produtos, 2020a. Disponível em:

https://www.grainsystems.com/pt_SA.html?gad_source=1&gclid=CjwKCAiAgeeqBhBAEiwAoDDhn-LReVJuRbfu87aTkE925bxETNY0gWxorwRfecFCFfWEqPWP6JgexoCzPYQAvD_BwE.

Acesso em 19 nov 2023.

HUANG, Y. Y.; LI, S. J. **Suitable application situation of different postponement approaches: Standardization vs. Modularization.** *Journal of Manufacturing Systems*, v. 27, p. 111-122, 2008.

JOSE, A.; TOLLENAERE, M. **Modular and platform methods for product family design: literature analysis.** *Journal of Intelligent Manufacturing*, v. 16, n. 3, p. 371-390, 2005.

JÚNIOR, L. R.; ALVES, G. H.; DA SILVA, A. M. B. **Automação do sistema de exaustão de uma linha de revestimento de chapas em uma indústria de painéis de madeira: um estudo de caso.**

KAMRANI, A. K.; SALHIEH, S. M. **Product Design For Modularity.** 2ed. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers Norwell, 2010.

KONG, F. B.; MING, X. G.; WANG, L.; WANG, X. H.; WANG, P. P. **On modular products development.** *Concurrent Engineering*, 17(4), 291-300, 2009.

MACDARMA, Produtos, 2020. Disponível em:

http://www.macdarma.com.br/rosca_transportadoras.php. Acesso em: 30 nov 2023.

MACHADO, J.; MAZIERO, N. L. Aplicação do Método MFD Para Projeto De Produto Modular Com Enfoque Na Manufatura E Na Montagem. *Revista CIATEC-UPF*, v. 6, n. 2, 2014.

MARSHALL, R.; LEANEY, P.; BOTTERELL, P. **Enhanced product realisation through modular design: an example of product/process integration.** Third Biennial Conference on Integrated Design and Process Sciences, Berlin, 1998.

MARTIN, V. M.; ISHI, K. **Project for Variety: developing standardized and modularized product platform architectures.** Trabalho apresentado para a Divisão de Engenharia Mecânica e Projeto, Universidade Stanford, Stanford, 2002.

MIGUEL, P. A. C. **Modularity in product development: a literature review towards a research agenda.** *Product: Management & Development*, v. 3, n. 2, p. 165-174, 2005.

MILES, M.; HUBERMAN, A. **Qualitative data analysis: a sourcebook of new methods,** Beverly Hills, CA, Sage, 1994.

MILLER, T. D.; ELGARD, P. **Defining Modules, Modularity and Modularization - Evolution of Concept in a Historical Perspective**. Design for Integration in Manufacturing, 1998.

MILMAN, M. J. **Equipamentos para Pré-Processamento de Grãos**. Pelotas- RS: Ed. Universitária/UFpel, 2002.

NEWCOMB, P. J.; BRAS, B.; ROSEN, D. W. **Implications of modularity on product design for the lifecycle**. Proceedings of the 1996 ASME Design Engineering Technical Conferences - 8th International Conference on Design Theory and Methodology, Irvine, CA (New York: The American Society of Mechanical Engineers), 1996.

NUNES, F. N. **Análise da modularização como estratégia em desenvolvimento de produtos**. Espacios. Vol. 35. Nº 13, 2014.

NUNES, F.L.; ROCHA, M. V.; VIRGÍNIA SILVA, D. I. A. S.; ANTUNES JR, J. A. V. **(Análise da modularização como estratégia em desenvolvimento de produtos**. Revista ESPACIOS| Vol. 35 (Nº 13) Año, 2014.

PANDREMENOS, J.; PARALIKAS, J., SALONITIS, G.; CHRYSOLOURIS. **Modularity concepts for the automotive industry: A critical review**. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. v. 1, p. 148-152, 2009.

PASQUALINI, A.; SONTAG, D.; ALEXANDRINI, F.; FÁVERI, J.; SEZERINO, V. **Desenvolvimento de Sistema para Soldagem Automatizada de Roscas Transportadoras**.

PADIX. **Calha de transporte**. Disponível em: padix.com.br/rosca-transportadora-tipo-calha. Acesso em: 28 nov 2023.

PETRULHO, A. S.; FELIPPE, A. L.; ALMEIDA, R. **Análise de falha: rosca-de-descarga**. Revista de Trabalhos Acadêmicos da FAM, 6(1), 2021.

PICK, W. J. **Procedimento de padronização de projetos mecânicos**. 2021.

PIRAN, F. A. S. **Modularização de produto e os efeitos sobre a eficiência técnica: uma avaliação em uma fabricante de ônibus**. 2015.

RO, Y. K.; LIKER, J. K.; FIXSON, S. K. **Modularity as a Strategy for Supply Chain Coordination: The Case of U.S. Auto**. IEEE Transactions on Engineering Management. v. 54, n. 1, p. 172-189, 2007.

ROZENFELD, H. et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para melhoria do processo**. São Paulo: Editora Saraiva, 2006.

SAKO, M. **Modularity and Outsourcing: The nature of Co-evolution of product Architecture and Organisation Architecture in the Global Automotive Industry**. Cap.

Livro. *The Business of Systems Integrations*, editado por Prencipe, Davies and Hobday. Oxford University Press, 2002.

SAKO, M.; MURRAY, F. **Modular strategies in cars and computers**. Boston: Massachusetts Institute of Technology, 1999. Disponível em . Acesso em 15 jul. 2013.

SANTOS, A. D.; SAMPAIO, C. P.; KARAM, R.; RAZERA, D. L. **Modularização como Estratégia para Ampliar o Ciclo de Vida de Produtos**, 2008.

SCAVARDA, L. F.; REICHHART, A., HAMACHER, S.; HOLWEG, M. **Managing product variety in emerging markets**. *International Journal of Operations & Production Management*. v. 30, n. 2, p. 205-224, 2010.

SHAMSUZZOHA, A. H. M. **Modular product architecture for productivity enhancement**. *Business Process Management Journal*, v. 17, n. 1, p 21-41, 2011.

SHAMSUZZOHA, A. H. M.; KEKÄLE, T.; HELO, P. **Towards External Varieties to Internal – Modular Perspective**. *International Journal of Business, Economics, Finance and Management Sciences* v. 2, n. 1, p.33-39, 2010.

SMITH, S.; YEN, C. C. **Green Product design through product modularization using atomic theory**. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. v. 26, p. 790-798, 2010.

STONE, R. B.; WOOD, K. L.; CRAWFORD, R. H. **Using quantitative functional models to develop product architectures**. *Design Studies*, 21(3), 239-260, 2000.

TIMAFEJN, M. I. **Gestão da manutenção predial: definição de práticas e ferramentas a partir de conceitos aplicados da indústria 4.0 na construção civil**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos como parte dos requisitos para a conclusão da graduação em Engenharia Civil. São Carlos- SP, 2021.

TIMKEN, Produtos, 2020. Disponível em: <https://www.timken.com/pt-br/products/produtos-de-transmissao-de-potencia-mecanica-da-timken/helicoides/>. Acesso em: 28 nov 2023.

ULRICH, K. T. **The role of product architecture in the manufacturing firm**. *Research Policy*, v. 24, p. 419-440, 1995.

ULRICH, K. T.; TUNG, K. **Fundamentals of product modularity**. Issue in Design/Manufacture Integration - American Society of Mechanical Engineers, Design Engineering Division Publication DE, v. 39, p. 73-79, 1991.

YIN, R. **Estudo de caso: Planejamento e Métodos**, Porto Alegre, Bookman, 2002.