

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

ELABORAÇÃO DE PROJETO MECÂNICO: ESTUDO DE CASO IMPLEMENTANDO UM ROBÔ COLABORATIVO EM SÉTIMO EIXO EM UMA INDÚSTRIA DE MANUFATURA AUTOMOTIVA

*PREPARATION OF MACHINE DESIGN: CASE STUDY IMPLEMENTING A SEVENTH-
AXIS COLLABORATIVE ROBOT IN AN AUTOMOTIVE MANUFACTURING INDUSTRY*

ALVES, Fábio da Silva; CALU, André;
LOUREIRO, Daniel, professor do Curso de Engenharia Mecânica Universidade São
Francisco

falveslhp@gmail.com; andre.calu@mail.usf.edu.br

RESUMO. O artigo científico aborda o impacto da Indústria 4.0 no campo do projeto mecânico, enfatizando a necessidade de integrar tecnologias avançadas, como robótica industrial e sistemas ciberfísicos, para melhorar a eficiência e a flexibilidade na produção, aprimorando a contínua criatividade e inovação humana. Concentrando-se em um sistema de estruturação de projeto mecânico baseado em uma organização especializada em equipamentos de automação, demonstra-se a metodologia usada para criar projetos robustos e otimizados, contando com a expertise da organização, cujo desempenho um papel crucial na competência técnica e na redução de erros, aumentando a eficiência, confiabilidade e a segurança do projeto. A pesquisa destaca na prática os desdobramentos envolvidos nas etapas de desenvolvimento de um projeto mecânico, sublinhando-se a importância de reuniões técnicas regulares para analisar o progresso e melhorar tomadas de decisões, dimensionamento de componentes, sistemas de automação, materiais e mecanismos mecânicos, e outros fatores; e ainda a notabilidade de uma documentação sólida e bem descrita para facilitar o entendimento do projeto, tornando-o acessível a uma ampla audiência. O controle de todos os estágios do processo, desde a concepção até o pós-projeto, é fundamental para analisar a eficiência e orientar futuras decisões. Em suma, o estudo demonstra a eficácia da roteirização e da prática de desenvolvimento de projetos mecânicos na era da Indústria 4.0, proporcionando uma ponte sólida entre a concepção e a concretização. Essa abordagem integrada é essencial para o sucesso na materialização de projetos mecânicos de equipamentos.

Palavras-chave: projeto mecânico; projeto de máquinas; robô colaborativo; estruturação de projeto; indústria 4.0; metodologia.

ABSTRACT. The scientific article addresses the impact of Industry 4.0 in the field of mechanical design, emphasizing the need to integrate advanced technologies, such as industrial robotics and cyber-physical systems, to improve efficiency and flexibility in production, enhancing continuous human creativity and innovation. Focusing on a mechanical design structuring system based on an organization specialized in automation equipment, the methodology used to create robust and optimized projects is demonstrated, relying on the organization's expertise, which plays a crucial role in technical competence and reducing errors, increasing project efficiency, reliability and safety. The research highlights in practice the developments involved in the development stages of a mechanical project, highlighting the



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

importance of regular technical meetings to analyze progress and improve decision-making, component sizing, automation systems, materials and mechanical mechanisms, and other factors; and also the notableness of solid and well-described documentation to facilitate the understanding of the project, making it accessible to a wide audience. Controlling all stages of the process, from conception to post-project, is essential for analyzing efficiency and guiding future decisions. In short, the study demonstrates the effectiveness of the scripting and development practice of mechanical projects in the Industry 4.0 era, providing a solid bridge between conception and implementation. This integrated approach is essential for the success in the materialization of mechanical equipment projects.

Keywords: mechanic design; machine design; collaborative robot; project structuring; industry 4.0.

INTRODUÇÃO

A implementação da indústria 4.0 tende a realizar uma unificação entre trazer novas tecnologias disruptivas para o chão de fábrica visando maior flexibilidade e eficiência para os meios de produção juntamente com a captação de novos profissionais com viés tecnológico. Isso afeta diversas áreas e setores das indústrias, destacando-se a área de projeto mecânico, que desempenha um papel crucial no desenvolvimento de máquinas inteligentes e sistemas ciberfísicos, integrando sistemas de controles avançados em máquinas e equipamentos, como por exemplo, robótica industrial, sistemas de manipulação automatizada, testes de dinâmica e medição de componentes, células de prototipagem e técnicas de simulação avançada de engenharia, entre outros. Essas soluções que englobam a nova era da indústria ajudam a otimizar os processos de produção melhorando a eficiência e aumentando a competitividade.

À vista disso, a propensão dessa nova realidade das indústrias tem um grande potencial para melhorar o desenvolvimento de projetos mecânicos, bem como a recíproca é verdadeira, pois as determinadas integrações tornam um sistema de mão dupla para a evolutiva industrial constantemente. No entanto, é de suma importância ter em mente que a criatividade e inovação humana são fundamentais para o desfecho e sucesso de um projeto mecânico.

A existência da complexidade de materializar as ideias é recorrente em qualquer área, mas nesta em específico, entramos em um processo intrincado e multifacetado, envolvendo uma série de etapas interligadas, determinados desafios técnicos e considerações críticas que contribuem para tal complexidade. Por mais que haja diferentes maneiras de descrever sua estruturação, o objetivo é comum em delinear cada estágio para a compreensibilidade e planejamento estratégico no desdobramento do projeto. Análises criteriosas e minuciosas devem ser exercidas para percepção da necessidade do cliente, dando a importância as normas e especificações, robustez em conceitos de funcionamento, dimensionamentos fundamentados e confiáveis, até a consolidação do projeto mecânico efetivamente.

Por tanto uma estruturação bem sólida é imprescindível para a elaboração e desenvolvimento de um projeto mecânico fidedigno, atendo as vertentes do processo de melhoria e mantendo uma estratégia sustentável para sua viabilidade.



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Objetivos

O presente trabalho pretende contribuir para que alunos, técnicos, engenheiros, organizações e outros interessados nas abordagens de um projeto de máquina possam compreender e analisar as informações apresentadas para suportar a elaboração e desenvolvimento de um projeto mecânico na prática, através da roteirização exposta e aplicabilidade por meio de um estudo de caso que evidencia o uso de tecnologia e inovação de processo na implementação de robô colaborativo para determinadas tarefas, visando à melhoria de eficiência, redução de custos e aplicação técnica com segurança, dissertando alguns conceitos específicos presente na Engenharia Mecânica

Justificativas

Devido à escassez de profissionais qualificados tecnicamente no setor industrial de desenvolvimento e aplicações de máquinas e equipamentos automatizados, principalmente os que compõe a elaboração e incorporação de projeto mecânico, uma vez que a indústria demanda cada vez mais engenheiros mecânicos capazes de desenvolver soluções inovadoras, eficientes, sustentáveis e seguras.

Do ponto de vista acadêmico existem poucas referências bibliográficas sobre o desenvolvimento e roteirização do tema, cujo a grande maioria dos livros apresentam um conteúdo relacionando a resistência dos materiais e as análises de falhas mecânicas que possam estar presentes na idealização do projeto, e os elementos de máquinas que compõe diversos equipamentos operatrizes. Sendo assim, ainda existe um distanciamento entre a teoria e a prática – principalmente relacionando algumas abordagens interdisciplinares, como por exemplo a automação – já que o projeto mecânico envolve uma série de conceitos e ferramentas que são essenciais para a formação de um engenheiro mecânico, como cálculo estrutural, desenho técnico, seleção de materiais, análise de sistemas mecânicos, dentre outros. Entender o projeto mecânico, portanto, é fundamental para a compreensão de muitos conceitos e teorias da engenharia mecânica, e o presente trabalho busca elucidar os caminhos contidos no processo de desdobramento de um projeto, permitindo que os estudantes apliquem esses conhecimentos em projetos reais, atendendo às necessidades do usuário final.

LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Neste levantamento é importante ressaltar que as atrativas foram segregadas em duas partes: sendo a primeira para abordar como determinados autores da área de projeto mecânico dividem suas etapas e comportamento em cada fase; e a segunda delineando sobre a importância da implementação de um robô colaborativo na manufatura de produtos visando melhorias de processo e as conversões para nova era da industrialização.

Estruturação de um Projeto Mecânico

O projeto mecânico permeia um rio de complexidade cujo exige as mais variáveis habilidades, e para viabilizar as compreensões e desenvolvimentos, uma série de relações são desdobradas em tarefas mais simples, onde os conceitos são introduzidos e reiterados. No contexto industrial, a incorporação de um projeto mecânico é impreterível para a concepção de

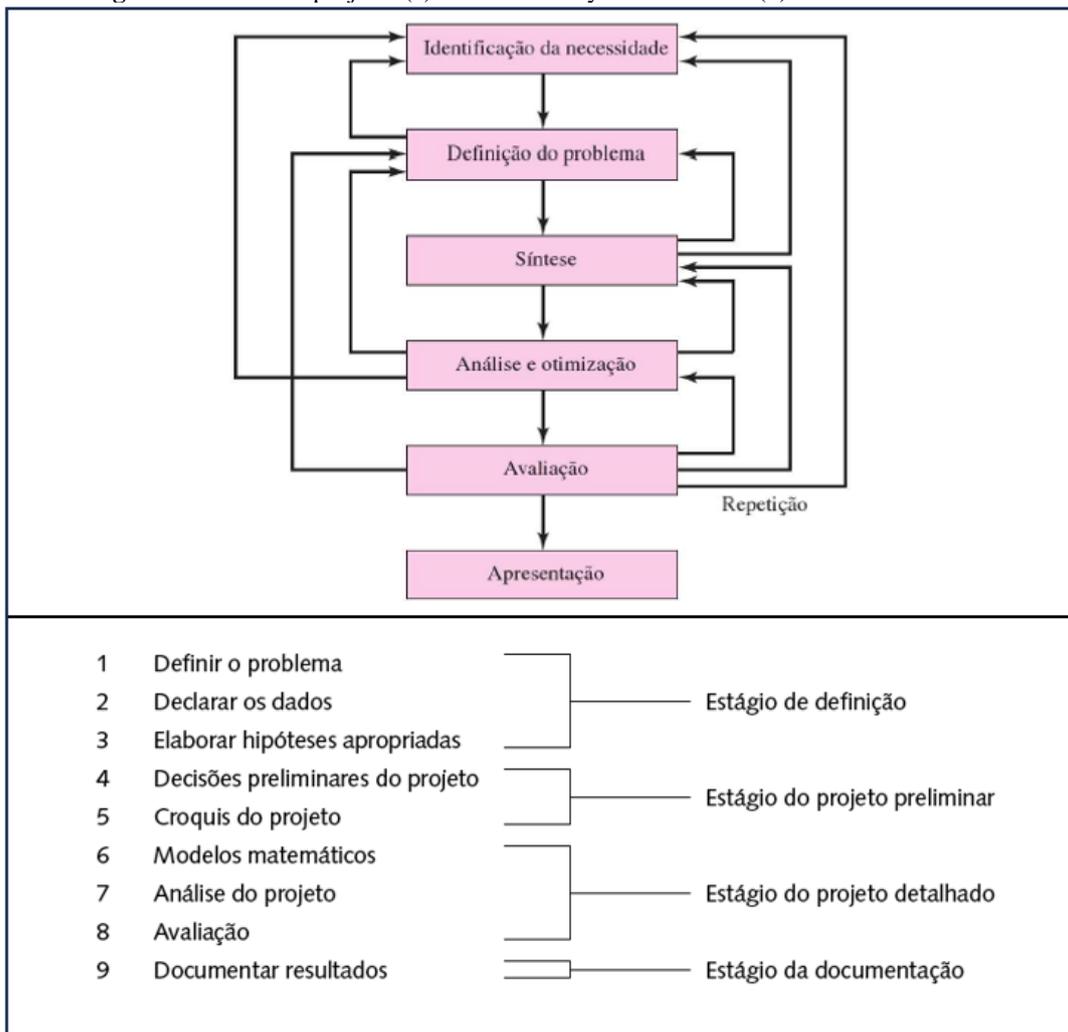


TRABALHO DE GRADUAÇÃO

um produto, pois negligenciar qualquer parte dos estágios pertinentes podem gerar riscos irreversíveis no projeto, impactando intensamente no desempenho, custos, vida útil, segurança, entre outros. Por conseguinte, é de relevância compreender todas as etapas que englobam um projeto mecânico, a fim de solucionar a problemática aplicando as bases disciplinares envolvidas na Engenharia Mecânica e aplicar um planejamento otimizado gerenciando suas etapas de maneira eficaz.

O processo de criação de um projeto mecânico pode ser reduzido a um esquemático exibido em Budynas e Nisbeth (2011), no qual sempre será iniciado identificando uma necessidade prosseguida de uma definição do problema, e assim realizando as etapas consequentes de Síntese, Análise e Otimização, Avaliação, sendo estas realizadas em diversas repetições e realimentações, para que na fase seja apresentado a solução do problema. (BUDYNAS e NISBETH, 2011), (NORTON, 2013), (COLLINS, BUSBY e STAAB, 2019).

Figura 1 – Fases do projeto: (a) acima de Budynas e Nisbet e (2) a baixo de Norton.



Fonte: Adaptado de Budynas e Nisbet (2011) e Norton (2013).

Norton (2013) propôs um desdobramento do projeto de acordo com as atividades chaves do processo de criação, redirecionando para quatro etapas que compõe o sistema macro



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

do desenvolvimento, como pode ser visualizado abaixo. No entanto Collins, Busby e Staab, (2019), baseando neste preceito demonstram de uma forma mais coerente essas etapas do projeto mecânico, unificando estágio de definição com o projeto preliminar no qual denominou de Projeto Conceitual, e dividiu o estágio de projeto detalhado em duas partes: Projeto de Incorporação ou Desenvolvimento do Projeto e Detalhamento do Projeto. Ainda, utilizou-se da nomenclatura de Pós Projeto ou Projeto de Campo, para designar todas as atividades realizadas após a elaboração dos desenhos técnicos para construção do produto. Entende-se que esta forma apresentada é mais autêntica de projetar equipamentos e produtos, distinguido adequadamente os passos a serem preenchidos e progredidos durante o processo de criação e implementação do projeto.

No estágio inicial, o denominado Projeto Conceitual envolve a compreensão nítida das necessidades do cliente analisando as problemáticas inerentes aos processos que o desenvolvimento do projeto mecânico vai abranger, realizando os dados iniciais e as premissas para uma elaboração de hipóteses que sejam apropriadas, estratificando-os e sintetizando as ideias para unificar as propostas numa abordagem preliminar. Importante ressaltar que nesse estágio as simplificações e julgamentos baseados em disciplinas de engenharia são mandatórias, bem como as experiências de casos anteriores que possam embasar o conceito do projeto, usufruindo de um tempo otimizado para uma resposta ágil. Torna-se indispensável os alinhamentos de informações com um corpo técnico especializado e experiente na área para florar discussões técnicas sobre o conteúdo, sustentando o conceito utilizado e corrigindo as divergências que surgirem, para reduzir os riscos de implementação do projeto mecânico. (BUDYNAS e NISBET, 2011), (NORTON, 2013), (COLLINS, BUSBY e STAAB, 2019) e (MOTT, 2004)

Posteriormente a aprovação desse projeto preliminar, a fase de incorporação é continuada aprofundando nas avaliações dos componentes e sistemas individualmente que compõe o produto, sendo que as abordagens iniciais elucidadas no primeiro estágio são comprovadas teoricamente com base em estudos de acordo com as aplicações, como por exemplo, análise de forças globais que atuam no produto ou equipamento para direcionar as forças locais, análise de cinemática e dinâmica, vibrações, estudo do comportamento do fluido, determinação concreta dos componentes que serão utilizados, estudo de passo e tempo do equipamento, seleção de materiais, geometria das peças que compõem a montagem, etc. Outros fatores como montabilidade de peças, acesso a manutenção, segurança, análise de custos, ergonomia, também são avaliados nesse estágio. Vale salientar que a interação com outras engenharias para suportar o projeto tecnicamente são extremamente válidas, bem como uma validação do projeto internamente quanto com o cliente, para que o projeto esteja dentro da expectativa dos envolvidos e assim ficar claros se os objetivos serão atingidos. (BUDYNAS e NISBET, 2011), (NORTON, 2013), (COLLINS, BUSBY e STAAB, 2019), (MOTT, 2004), (CHILDS, 2003) e (RISITANO, 2011).

No estágio de detalhamento do projeto mecânico são disponibilizados através de um desenho técnico todas as peças que serão industrializadas, bem como os desenhos de cada conjunto do equipamento referenciado, com configurações do arranjo físico, o atendimento as especificações e tolerâncias geométricas, padronização, elementos de fixação, listagem de materiais contidas, entre outras especificações relevantes para a construção. Todo este trabalho é consequência das determinações que foram realizadas na etapa anterior. É significativo que estes desenhos sejam conferidos por um profissional experiente na área de fabricação e montagem, certificando e creditando o projeto para atender as funções exigidas, bem como para

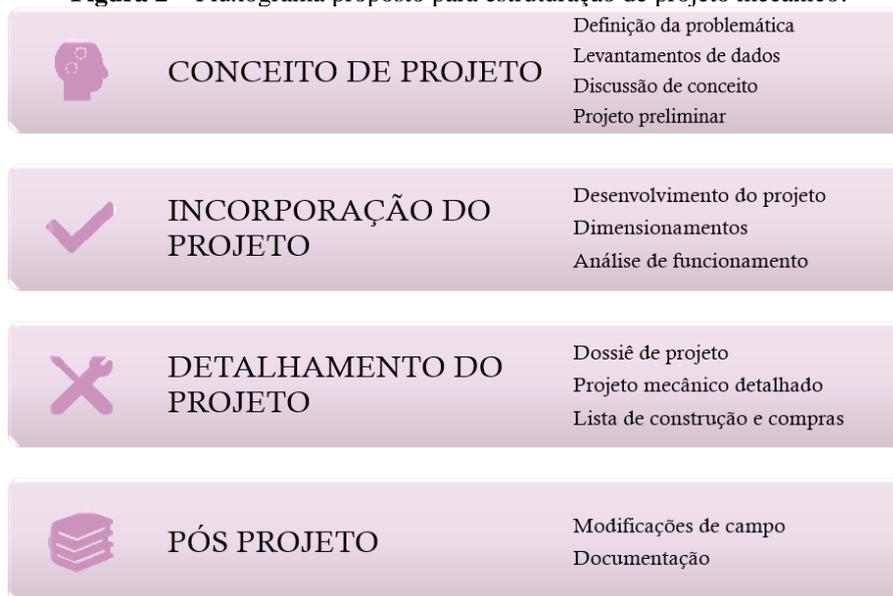


TRABALHO DE GRADUAÇÃO

reduzir determinados custos de fabricação das peças. (COLLINS, BUSBY e STAAB, 2019), (CHILDS, 2003) e (RISITANO, 2011).

Finalmente quando o projeto é liberado para construção e montagem, a etapa denominada de Projeto de Campo ou Pós-Projeto tem uma significância impar devido as atuações para esclarecimentos de dúvidas, no suporte técnico para outros setores para possibilitar a sintonia entre engenharias, o acompanhamento da montagem avaliando problemas encontrados que circundam a implementação do equipamento, as análises de soluções e incrementos de melhorias realizando as modificações necessárias, documentações de informações, atualizações de projeto, enfim, todas as atividades que surgem no decorrer do processo após a liberação da engenharia mecânica. Desta forma é imprescindível os documentos que permitam a interface com outros setores para condução do projeto, e isto por vezes, não são levados em considerações por gestores desta área de fabricação de equipamentos e produtos. (COLLINS, BUSBY e STAAB, 2019), (MOTT, 2004), (CHILDS, 2003), (RISITANO, 2011).

Figura 2 – Fluxograma proposto para estruturação de projeto mecânico.



Fonte: Próprio Autor (2023).

Logo, basear-se em um processo padronizado para elaboração e condução das atividades é indispensável para as organizações que buscam redução de custos alinhados com eficiência de sua engenharia, e como consequência, o controle do processo será otimizado e propícios a melhorias contínuas.

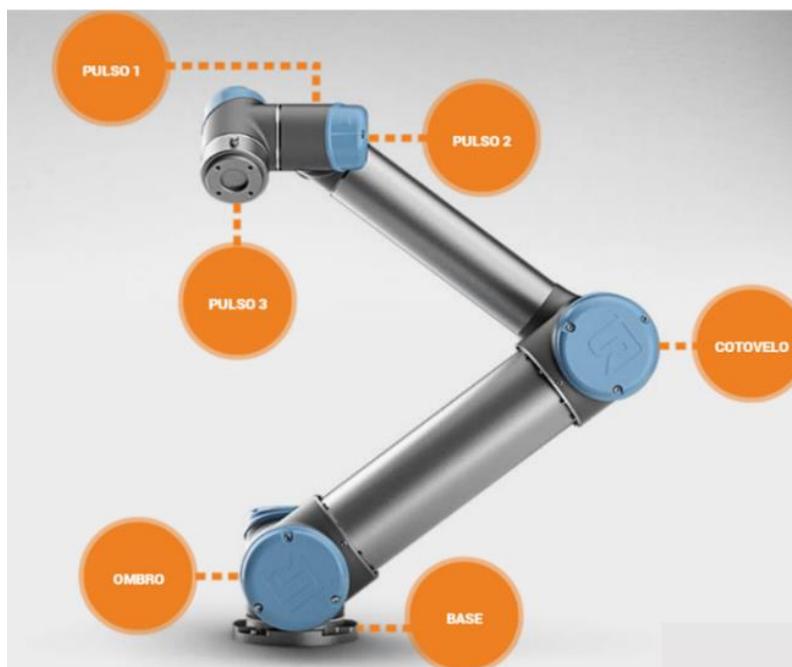
Robôs Colaborativos (Cobot)

Robôs colaborativos são dispositivos projetados para trabalhar em um ambiente industrial exercendo tarefas em completa colaboração com seres humanos, interagindo de forma segura e eficaz, sem necessidades específicas como é visto em células robóticas em atividades com robôs industriais, onde o alto nível de segurança é primordial para os operadores. Com complementação do uso de sensores de visão, scanners de área de segurança,

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

e ainda as delimitações das suas áreas de atuação através da sua programação, os Cobots podem detectar a presença humana no espaço de trabalho reduzindo drasticamente sua velocidade ou até mesmo parando instantaneamente em caso de uma intervenção não planejada, minimizando os riscos de acidentes. Apesar desse fator, ainda existem determinados obstáculos impostos pela Norma Brasileira de segurança no trabalho em máquinas e equipamentos, a NR-12.

Figura 3 – Representação dos 6 eixos de um robô colaborativo da Universal Robotics.



Fonte: Universal Robotics (2023).

A flexibilidade proporcionada por esses robôs é de utilidade ímpar, adaptando as mais diferentes tarefas devido aos graus de liberdade gerado pelos seus seis eixos, variando em as configurações de acordo com a aplicação dos seus movimentos. Isso permite muita variabilidade nas implementações na indústria, ajustando aos diferentes tipos de ambientes e processos de produção. Com isso, pode-se aumentar consideravelmente a eficiência produtiva ao realizar as atribuições de maneira consistente e sem fadiga, e com alto grau de constância nos movimentos, resultando em uma produção mais rápida, enxuta e confiável. (KNUDSEN e KAIVO-OJA, 2020).

Neste contexto, sua implementação converge e desempenha papel crucial para a Indústria 4.0, envolvendo a integração de tecnologias da informação e automação para criação de novos sistemas. A coleta de informações e o compartilhamento de dados em tempo real ainda contribuem para tomadas de decisões mais assertivas e ágeis, favorecendo a otimização contínua dos processos de fabricação. À medida que a tecnologia avança, é provável que os robôs colaborativos desempenhem um papel ainda mais proeminente na transformação das indústrias em todo o mundo. (SOARES e LUCATO, 2021).

METODOLOGIA

Para delinear o escopo dessa pesquisa foi definido primeiramente o tema e objetivo a ser atingido estruturando a elaboração de um projeto mecânico aplicando tecnologias



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

específicas explorando um fenômeno contemporâneo da área da Engenharia Mecânica. Em uma abordagem qualitativa como mencionado por Yin (2018), adotamos como metodologia um estudo de caso único holístico, concentrando as compreensões do caso através de entrevistas, análises e revisões de documentos fornecidos pela empresa detentora de longa longevidade no mercado de fabricação de equipamentos especiais para automação e com grande excelência e know-how no mercado. Observações direta e acompanhamento do projeto também foram aplicados para permitir uma conversão de dados para resultados mais confiáveis, além de visitas em campo verificando a instalação e comissionamento do equipamento.

Um documento fora criado e denominado “Check List de Análise de Projeto Mecânico”, permitindo uma exploração mais profunda de determinados pontos técnicos que permeiam a criação do projeto e fortalecem a estruturação com base nas revisões de literatura, cujo anexo no Apêndice A.

Sendo assim, a realização da comparação dos dados coletados juntamente com a empresa e as análises de teorias existentes na literatura permitiu uma abordagem aprofundada e destacada na discussão dos resultados, absorvendo insights e esclarecendo as principais descobertas (RUBIN e RUBIN, 2011). Por fim, são expostos os pontos de conclusão para a aplicação prática das etapas do projeto mecânico no estudo de caso, com os possíveis pontos de melhorias no processo de projeto mecânico.

ESTUDO DE CASO

O estudo de caso deste trabalho foi realizado em uma empresa fabricante de equipamentos especiais para automação, no qual denominaremos de Fabricante, com grande longevidade no mercado industrial por mais de 30 anos e detentora de um enorme know-how em sistemas integrados de automação, e uma de suas soluções tecnológicas foi implementada em uma organização que denominaremos como Cliente. Esta organização detém excelência na produção de motores a combustão e em um processo específico de montagem de carcaças no bloco de motor, aplica-se uma junta líquida entre os componentes antes de efetuar a montagem com finalidade de criar uma vedação eficaz, impedindo vazamentos de fluídos do motor e prevenção contra contaminações, sendo feita de um material selante de alta temperatura e resistência química, que após injetado, endurece para formar uma vedação sólida. Anteriormente ao projeto de melhoria desse processo, esta tarefa era realizada manualmente pelo operador habilitado, no qual o processo apresentava irregularidades e inconsistência na aplicação, além de problemas ergonômicos para os pontos mais extremos do produto. Em uma análise da equipe de processo de manufatura do Cliente, previu-se ganhos diretos de qualidade e produtividade na implementação de um robô colaborativo para essa tarefa, uma vez que há repetibilidade, rastreabilidade e qualidade de aplicação de junta pelo robô devido a automação e controle, reduzindo a dependência da força de trabalho manual e consequentemente os riscos de lesões ocupacionais que estes operadores estariam expostos. Tudo isso fica atrelado a um ganho de eficiência, uma vez que, os operadores poderiam ser destinados a realizar outras tarefas provenientes da montagem desses componentes, como por exemplo a preparação dos componentes ou atividade de pré-montagem em postos adjacentes, sendo executadas simultaneamente a operação do Cobot, e assim, reduzindo o tempo de ciclo da operação final.

O Fabricante analisou tecnicamente com criticidade todo o processo de manufatura do Cliente através de uma reunião técnica com os seus times da área Comercial e Engenharia, denominada Reunião de Partida, interpretando as operações e as possíveis melhorias que eram



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

cabíveis no processo. De maneira impreterível, algumas informações específicas para a iniciação do projeto foram compartilhadas com o Fabricante, sendo esses os elementos para iniciação do projeto foram documentados através de uma análise crítica de todos os pontos abordados. Em resumo, os levantamentos foram:

- i. Todos os componentes inerentes a aplicação de junta líquida são de fornecimento do Cliente, devido a uma reutilização de um antigo sistema inutilizável. Desta forma, deve-se reaproveitar os componentes desde que haja essa possibilidade, como por exemplo, bomba, mangueiras aquecidas, válvula reguladora de pressão, válvula dosadora, painel de comando do controlador de dosagem da junta, bico aplicador, entre outros, para que desta maneira seja reduzido os custos do projeto.
- ii. Os blocos de motores ficam dispostos sobre um pallet especial que percorre um transportador de rolos pela linha de montagem. Em um determinado ponto desta linha estão alocados dois postos de aplicação de junta que ficam separados por uma distância de 2,7 metros aproximadamente, cujo no primeiro posto é executado na parte frontal do bloco e no seguinte na parte traseira do bloco, sendo que em ambos, logo após aplicação, são montados todos os componentes necessários de acordo com o sequenciamento de montagem.
- iii. É indispensável que o Cobot fique instalado do lado oposto da linha onde são alocados os operadores, para que na realização da sua tarefa, as movimentações não atrapalhem os operadores. Com isso, o operador deve rotacionar o pallet em 180 graus para que o robô possa atuar, e após a execução da tarefa, retornar o pallet para a posição inicial para finalizar a montagem. Este tópico empregado para ambos postos.
- iv. O projeto mecânico deve apresentar o menor custo possível para a implementação do novo sistema, e desta forma o Cliente estaria inclinado a renunciar determinadas tecnologias para que viabilizar o projeto.

A estruturação de projeto mecânico utilizado pelo Fabricante é dividido em quatro etapas fundamentais, indo de encontro com as etapas que dividem um projeto mecânico conforme elucidado por Collins, Busby e Staab, (2019). À vista disso, o Fabricante analisou as necessidades do Cliente juntamente com as imposições realizadas para unificar numa proposta preliminar.

Neste desenvolvimento de projeto conceitual uma sessão de brainstorming com os técnicos mais experiente do time de Engenharia Mecânica e Automação foi praticada levando em consideração as experiências de outros desenvolvimentos, delineando orientações preliminares em relação aos requisitos essenciais do equipamento e criando um esboço inicial que serviu como base para o mapeamento do projeto e posteriormente foi transferido para o software CAD.

No desdobramento inicial deste equipamento foram determinados itens demarcados como cruciais para condicionar a viabilidade técnica da implementação.

- a. O Cobot selecionado para esse equipamento é da fabricante Universal Robotics, definido em conjunto pelo Fabricante e Cliente, valendo as experiências passadas e casos de sucesso entre essa parceria. O modelo *UR10e* foi dimensionado para esta operação levando em consideração a massa do conjunto de válvula dosadora, suporte de fixação e mangueira aquecida, que foi estimado para uma massa total de oito quilos. Neste tópico é importante observar que a



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

- primeira definição é efetuada considerando as características mecânicas deste componente para viabilizar tecnicamente a automação, que no caso suportaria uma movimentação de carga útil de até doze quilos – logicamente de acordo com a posição do centro de gravidade desta carga em relação ao ponto de gravidade do punho do Cobot, isto é, quanto mais distantes essa relação, maior será o momento e conseqüentemente existe uma redução de carga manuseada.
- b. Como nesta linha de montagem apresenta pontos de parada através de um Stopper pneumático, para que o robô possa realizar a tarefa de aplicação de junta de uma maneira eficaz garantido a qualidade, os pallets que acomodam o produto devem ser indexados, isto é, necessitam ficar estabilizados numa posição conhecida, sem que as possíveis variações que poderiam ocorrer se o pallet ficasse somente apoiado nos rolos deste transportador.
 - c. Os Cobots apresentam determinadas limitações mecânicas relacionadas ao seu alcance, e no caso do *UR10e* é apresentado um raio de 1300 milímetros de alcance associada ao centro da base de fixação. Devido a diferença entre os centros de aplicação dos postos em aproximadamente 2,7 metros, torna-se fundamental para a viabilização dessa solução a inserção de um sétimo eixo no robô, isto significa que o robô ficaria instalado em uma mesa que sofreria uma atuação de deslocamento no sentido longitudinal da linha de montagem para compensar essa diferença caracterizada, podendo realizar a tarefa de uma maneira mais segura em relação aos movimentos do robô.
 - d. A necessidade de uma estrutura individualizada do transportador para este equipamento também é indispensável, para que as vibrações e possíveis impactos nesta linha de montagem não afetem o funcionamento do Cobot. Todos os periféricos para condicionar a aplicação da junta líquida devem estar próximas a esta estrutura devido aos comprimentos de cabos e mangueiras do sistema, otimizando a instalação.
 - e. Scanners de segurança são obrigatórios para monitoramento da área de operação, condicionando as velocidades e controles do Cobot quando invadidas, além de assegurar que transeuntes não sejam afetados com esta solução.

Após o conceito discutido e aprovado com os membros do corpo técnico do Fabricante, o projeto foi apresentado para o Cliente avaliar e realizar as críticas e sugestões pertinentes de acordo com o seu processo de manufatura. Contemplando os pontos de melhorias observados, foram solicitados: uma contenção (barreira física) para proteger a estrutura do Cobot, uma vez que os operadores interagem com um carrinho na parte de trás do transportador e desta forma evitaria colisões com o equipamento; e a utilização de um atuador pneumático convencional com curso de 800 milímetros que havia disponível na manutenção do Cliente, reduzindo os custos de implementação do sétimo eixo, já que o proposto pelo Fabricante era utilização de um atuador sem haste acionado por servomotor para controlar posicionamento do carro, sendo uma tecnologia que apresenta muito mais recursos e controles precisos de parada, melhorando o aproveitamento do espaço físico, em contrapartida, uma solução mais onerosa.

Posteriormente a aprovação do conceito, o desenvolvimento do projeto mecânico foi adquirindo uma forma mais rica em conteúdo e detalhes que permitissem discussões mais aprofundadas tecnicamente, propiciando também um planejamento para aquisição de peças industrializadas e comerciais que compõe o projeto. Estruturalmente, o projeto foi segregado em conjuntos para que permitissem um melhor controle de acordo com as funções



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

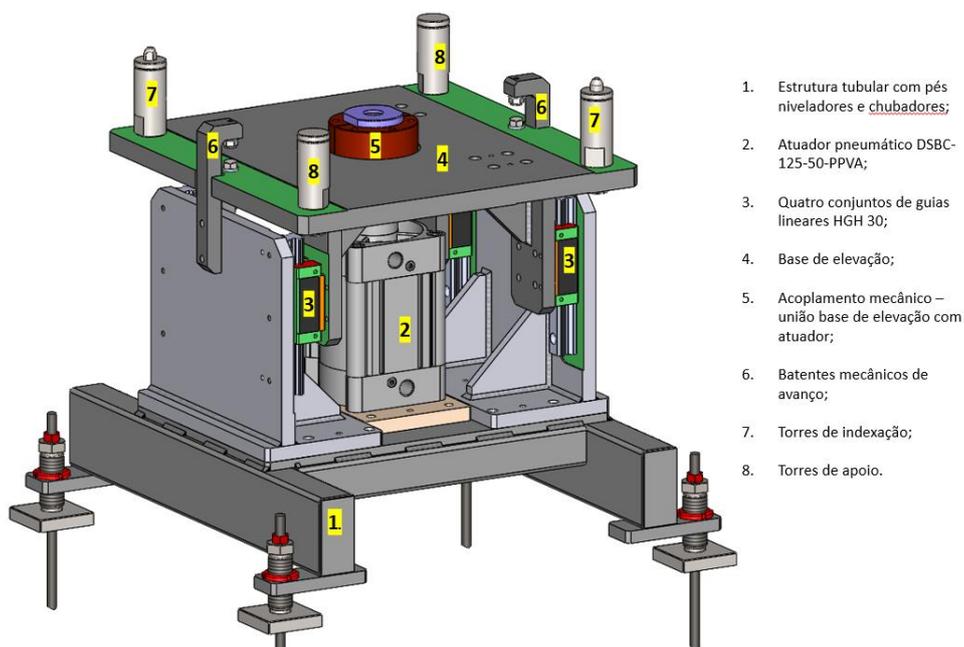
desempenhadas e revelando os detalhes técnicos no software de modelagem CAD de uma maneira mais hábil para manuseios. Isto quer dizer que desta forma são criados benefícios ao facilitar as modificações em determinados pontos específicos sem que haja grande sobrecarga de processamento do software, como por exemplo, se todos os componentes e peças tivessem em uma única montagem, a quantidade de referências e detalhes gráficos do projeto demandariam um tempo de processamento que poderia prejudicar a desenvoltura do projetista. Logo, os conjuntos foram divididos em quatro grupos principais seguindo rigorosamente a ordenação dos desenvolvimentos em: Transportador (com pallets e produtos); Mesa de indexação; Sétimo eixo; e Periféricos; sendo que a união dessas sub montagens formam o layout do equipamento.

Para prosseguir com a incorporação mais robusta, optou-se por replicar os transportadores e os pallets com produtos da maneira mais próxima possível com a realidade, já que estes conjuntos estavam disponíveis na linha de montagem do Cliente. Pôde-se analisar mais precisamente o espaço físico destinado para as mesas de indexação do pallet, cujo ficariam abaixo dos transportadores para exercer a função de manter os pallets estáticos para que o Cobot pudesse realizar a tarefa; e para a mesa do sétimo eixo, onde os componentes de borda de linha influenciaria significativamente nos pontos de instalação dos periféricos destinados para a implementação do sistema de aplicação da junta líquida, como por exemplo, a bomba, o controlador de aquecimento da mangueira, painéis de comando, entre outros.

Este levantamento do espaço físico disponível possibilitou o desenvolvimento das mesas indexadoras com maior precisão e seguiu uma referência de projeto que o Fabricante já havia realizado em outrora para aplicações similares, redimensionando e adequando para a aplicação em questão. Para isso, calculou-se a força de atuação do atuador pneumático considerando a massa do pallet e do produto, totalizando 330 quilos. Para esse cálculo, como boa prática de engenharia, o fabricante considerou uma pressão de trabalho de 4 BAR, equivalente a 66% da pressão de trabalho nominal na linha do Cliente. Dessa maneira foi definido um atuador pneumático DSBC-125-50-PPVA como acionador do sistema, guiado de maneira robusta através de guias lineares para permitir regularidade, linearidade e precisão no movimento vertical. O curso do cilindro foi definido com base na face de fixação dos pinos index, o curso de alojamento do pino no pallet, e a medida necessária para retirar o pallet do transportador. Outro ponto relevante para adequação das mesas foi o dimensionamento correto dos dois pontos de indexação e os dois pontos de apoio, que quando o atuador estiver recuado, estes pontos estão abaixo dos roletes e não interferem na movimentação dos pallets, e ao ser acionado, realiza-se o deslocamento vertical em aproximadamente 5 milímetros da tangente superior dos roletes, estabilizando esse movimento vertical através de batentes mecânicos e consequentemente os pallets ficariam imóveis para que o robô pudesse atuar. Ainda, foi verificada toda acessibilidade de montagem e nivelamento do conjunto no local, a facilidade e usinabilidade das peças para que os custos de fabricação fossem reduzidos, além dos acessos para manutenções, quando necessário.

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Figura 4 – Reprodução do projeto em CAD 3D da Mesa de Indexação dos Pallets.



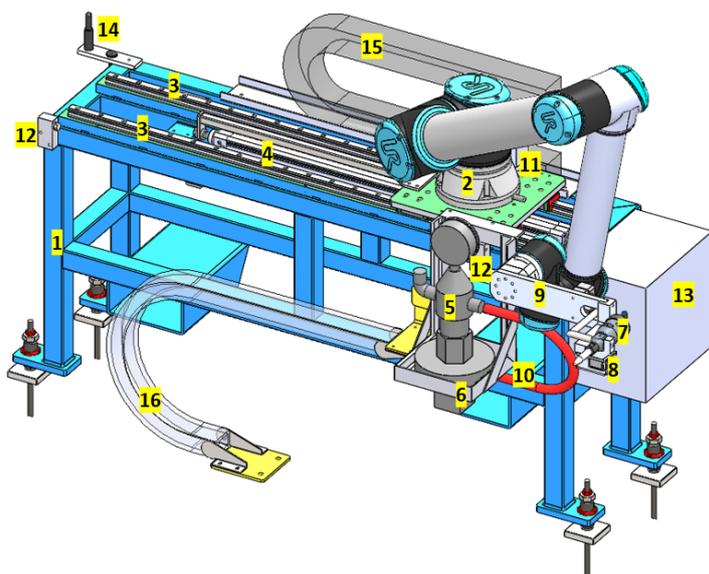
Fonte: Material interno Fabricante (2023).

A primeira definição no sistema do Sétimo Eixo foi definir o dimensionamento da estrutura que apresenta dois fatores determinantes: o Cobot UR10e e o atuador pneumático DSBC-40-800-PPVA, cujo esses itens poderiam dar os parâmetros de largura e comprimento da estrutura, respectivamente. A base do robô apresenta um diâmetro de 190 milímetros e isso significa que a largura da estrutura não poderia ser menor que essa medida, e de forma similar o comprimento não poderia ser menor que o curso do cilindro mais o diâmetro da base do robô. Dessa maneira, deve-se considerar esses fatores além de outros pontos para o dimensionamento da estrutura, que neste caso, a base móvel onde será fixado o robô, o conjunto de guias lineares que vão dar robustez e retilineidade na movimentação do carro, os sistemas de indexação do carro do robô, o painel de comando da mangueira aquecida, as passagens de mangueiras e cabos do conjunto. Após uma análise de todos componentes e espaço físico, a estrutura foi dimensionada para que o Cobot pudesse realizar a tarefa nos dois postos, utilizando 790 milímetros da posição A para posição B.

Um estudo de massa manipulada foi realizado para verificar os impactos relacionando os torques, acelerações e velocidades de movimentação do robô, certificando que os parâmetros estavam sendo obedecidos e assim não impactar na execução da tarefa de aplicação de junta. Para a massa total manipulada, foram considerados a válvula dosadora de junta líquida, o suporte mecânico do aplicador de junta e a mangueira aquecida que interligava a válvula dosadora até a válvula reguladora de pressão, totalizando 4 quilos. Coerentemente, foi reduzido o máximo possível das massas dos suportes mecânicos sem afetar sua funcionalidade para facilitar a implantação no Cobot, trabalhando nas especificações dos materiais desses suportes. Ainda com base nessa análise um estudo de tempo da tarefa fora realizado para certificar que a aplicação estaria dentro do tempo de ciclo de produção.

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Figura 5 – Reprodução do projeto em CAD 3D do sistema do Sétimo Eixo.



1. Estrutura tubular com pés niveladores;
2. Robô colaborativo UR10e;
3. Guias lineares Quatro conjuntos de guias lineares HGH25-CA-2R1210-ZA-C (HIWIN);
4. Atuador pneumático DSBC-40-800-PPVA-N3 (FESTO);
5. Válvula reguladora de pressão – EXISTENTE;
6. Suporte da válvula reguladora de pressão;
7. Válvula dosadora 918535 (GRACO) – EXISTENTE;
8. Sensor laser LR-W500C (KEYENCE);
9. Suporte do conjunto de aplicação;
10. Tubo de inox – conexão reguladora com mangueira da bomba;
11. Stopper pneumático (index) STA-50-20-P-A (FESTO);
12. Batente mecânico de fim de curso;
13. Painel controlador do aquecimento da mangueira;
14. Km0 robô – sistema de referenciamento de posição;
15. Representação esteira porta-cabos FB.460.50.100;
16. Representação esteira porta-cabos metálica M065;

Fonte: Material interno Fabricante (2023).

Os Periféricos da linha foram definidos por último devido a uma estratégia adotada pelo Fabricante para ganhar tempo de desenvolvimento de projeto e na fabricação dos sistemas de movimentações, resultando em um menor lead time para entrega do projeto. Nesta prática seguiu da seguinte maneira: após o desenvolvimento da Mesa de Indexação considerando o conjunto do Transportador que foi replicado com as posições de trabalho, o projeto desta mesa foi discutido tecnicamente entre os técnicos responsáveis da área de projeto mecânico e as outras áreas da engenharia com o intuito de aprovar o projeto tecnicamente para dar seguimento para a próxima etapa, que no caso seria o detalhamento desses conjuntos para envio para fabricação. Sendo assim, foram propostas algumas melhorias em relação a montagem e acessibilidade visando a instalação no cliente. Posteriormente as alterações, o projetista responsável poderia dar prosseguimento no desenvolvimento do sistema de movimentação do Cobot enquanto um profissional com habilidades em detalhamento realizaria a tarefa do detalhamento técnico da mesa de indexação, e desta forma, as atividades eram realizadas simultaneamente e conseqüentemente de forma enxuta. Seguindo este princípio, no término do detalhamento todas as informações construtivas contidas no desenho eram enviadas para um técnico mais experiente com habilidades em checagem de projeto para certificar que os métodos construtivos das peças estavam em conformidades e econômicas para fabricação.

Na parte do projeto dos Periféricos já com o layout dos sistemas de movimentação definidos, foram analisados os melhores posicionamentos para o armário de comando elétrico, o painel de controle do Cobot, a placa pneumática contendo a unidade de conservação e válvulas eletropneumáticas para comandar os sistemas de acionamentos, a barreira física para proteção da estrutura do robô, e as posições corretas do sistema de monitoramento de área via scanner de segurança. Ainda visando a segurança de operadores e transeuntes, o Cliente solicitou uma proteção simples de perfil de alumínio com policarbonato entre as estações para proteger durante a movimentação do Cobot no deslocamento do sétimo eixo.



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Após as aprovações de projeto realizada pelo Cliente e o Detalhamento checado e validado, um documento denominado como Lista Unitária de Conjunto é gerado, logicamente um para cada conjunto de montagem, proporcionando a passagem de informações para área de PCP (Planejamento e Controle da Produção) do Fabricante, para que sejam exercidas as aquisições de matéria-prima, compra de componentes comerciais, e industrialização das peças usinadas que compõe o projeto. Com isso, a parte de Detalhamento do Projeto é encerrada e o projeto estaria apto para a sua fabricação, montagem e instalação.

O Pós Projeto é a última etapa da elaboração do projeto mecânico, e aqui são consideradas, efetuadas e documentadas todas as modificações executadas em campo. Por exemplo, se uma peça foi modificada em campo para que ela pudesse exercer a sua funcionalidade, um requerimento é realizado para o time de Engenharia Mecânica realizar uma atualização das peças, pontuando os motivos da alteração. Assim, o equipamento é mutável no decorrer da montagem e instalação, porém não se perde o histórico do projeto, mantendo-o atualizado instantaneamente. Esse histórico de modificações é extrema importância, pois serve de indicador para verificar a eficiência da Engenharia Mecânica, analisando as falhas ocorridas e processo de melhorias do projeto.

Por fim, após o try-out do equipamento e a sua validação praticada pelo Cliente, o processo de documentação do projeto é revisado para ser fornecido junto com o equipamento. Projeto Mecânico Detalhado, Plano de Manutenção Preventiva e Lista de Peças de Reposição são documentos de responsabilidade do time de projeto mecânico, e ainda outros documentos são fornecidos junto com o equipamento, como por exemplo, Manual de Instruções do Equipamento, Avaliação de Riscos, Backup de Software, Projeto Elétrico Detalhado, Projeto Pneumático Detalhado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Claramente é evidenciado pelo Fabricante um processo de definição da problemática na etapa de Conceito de Projeto, uma vez que as necessidades foram levantadas para compreender mais nitidamente a finalidade do projeto. Neste caso, devido a um corpo técnico competente, uma reunião de partida interna foi o suficiente para isso, obtendo como ponto central a melhoria de processo para aplicação de junta líquida implementando um robô colaborativo para realização dessa atividade e otimizando o processo de montagem, aumentando significativamente a qualidade do produto. Importante salientar que a definição do problema foi trabalhada e desdobrada no processo anterior entre Cliente e equipe Comercial do Fabricante antes da necessidade virar um pedido, promovendo uma solução a ser mais bem analisada e desenvolvida pela Engenharia.

Dados importantes foram coletados nesta reunião interna para ser discutido especificamente com o Cliente a fim de alinhar as expectativas e direcionar o caminho do projeto. Nesta etapa de coleta de dados técnicos e alinhamento de informações o Fabricante utilizou um documento denominado de “Análise Crítica do Projeto”, cujo foram listados todos os pontos de comum acordo entre as partes, itens críticos que poderiam comprometer o cronograma e as principais datas chaves para implementação do projeto, entradas necessárias para iniciação do projeto mecânico, como por exemplo, desenhos dos produtos, layout, normas internas, requisitos mínimos, fornecimentos de componentes, entre outros.

Após a declaração de dados e a compreensão mais aprofundada, o time de Engenharia se sustenta na experiência do seu corpo técnico qualificado para esboçar um projeto conceitual,



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

através de uma sessão de discussão técnica praticando e considerando fornecimentos passados para que atendesse os requisitos essenciais para a implementação do equipamento. A prática utilizada pelo Fabricante nesta etapa a ser destacada é usufruir da competência e habilidade profissional para transpassar manualmente os pontos discutidos e considerados no projeto para o papel em forma de desenhos esboçados (conceituais), mapeando os principais mecanismo de funcionamento e as disposições iniciais que o equipamento de conter. Note que nesta etapa outras ferramentas de soluções de problemáticas poderiam ser desenvolvidas a fim de suportar e promover o melhor caminho para o projeto conceitual, como por exemplo, uma análise de causa e efeito, matriz SWOT, diagrama de fluxos, ou outras ferramentas.

Informações primordiais que foram consideradas no documento de análise crítica, como o modelo do Cobot a ser considerado, a massa aproximada a ser manipulada, o curso necessário para realizar a atividade de aplicação de junta, pontos ergonômicos e de segurança do operador, para que desta forma o projeto pudesse ser desenvolvido sem que houvesse esquecimentos de importantes necessidades.

O projeto esboçado foi modelado em software CAD para que a apresentação do conceito fosse mais visível para o Cliente, mostrando determinadas situações e esclarecimentos do layout. A praticidade e clareza que o Fabricante utiliza para passar as informações que o projeto mecânico abrange é notória, evidenciando isso através de ferramentas de apresentação para elucidar o processo de funcionamento do equipamento com um passo a passo bem descrito e com imagens, ou ainda com vídeos didáticos gerados pelo próprio software de modelagem.

Seguindo a estruturação de projeto mecânico proposta, iniciou-se o processo de Incorporação do Projeto com base em todo conceito discutido e aprovado entre as partes. A segregação do equipamento em conjuntos de montagem foi de extrema importância para que houvesse um planejamento das tarefas e focar nos pontos cruciais que pudessem comprometer o cronograma, dando direcionamentos estratégicos para otimizar tempo de elaboração e fabricação do projeto. O documento utilizado para realizar essa segregação é apresentado por meio de um mapeamento denominado “Árvore de Projeto” onde as peças e componentes preliminares estão contidas nos seus respectivos conjuntos-pai.

A estratégia de realçar na integra os componentes e sistemas já instalados na linha de montagem propiciou uma melhor visualização dos espaços disponíveis para a inclusão dos sistemas mecânicos do equipamento e os periféricos, influenciando positivamente para que fosse reduzidos os riscos de projeto e as avaliações das possíveis interferências, bem como os dimensionamentos de cabos, mangueiras, ferramentas de pré-montagem e outros componentes na linha de montagem.

Ainda nesta etapa foi possível acompanhar os desenvolvimentos dos conjuntos de montagem seguindo determinados princípios construtivos adotados pelo Fabricante e cálculos de dimensionamentos respeitando as premissas dos projetos e componentes utilizados. Por exemplo, para o dimensionamento dos atuadores pneumáticos da mesa de elevação do pallet foi calculado a massa total do sistema a ser elevado juntamente com uma pressão de 4 BAR definida pelo Fabricante como base de cálculo de dimensionamento. Desta forma, qualquer variação que houvesse na linha de pressão pneumática (facilities) do Cliente, o acionamento não seria prejudicado.



Figura 6 – Planilha de cálculo para dimensionamento do atuador pneumático.

CÁLCULO DE FORÇA DE CILINDRO PNEUMÁTICO

Øêmbolo	100	mm		
Øhaste	25	mm		
Pressão de trabalho	4	bar		
Aavanço				
	0,00785	m ²		
Arecuo				
	0,000491	m ²		
Fav (teórica)				
	3140,0	N	320,4	kgf
Fre (teórica)				
	2943,8	N	300,4	kgf
Considerando 10% de perda de energia devido soma dos atritos				
Fav (real)				
	2826,0	N	288,4	kgf
Fre (real)				
	2649,4	N	270,3	kgf
FORÇA REQUIRADA	3234,0	N	330	kfg

DIMENSIONAMENTO INVÁLIDO 330kgf > 288,4kgf

Øêmbolo	125	mm		
Øhaste	32	mm		
Pressão de trabalho	4	bar		
Aavanço				
	0,012266	m ²		
Arecuo				
	0,000804	m ²		
Fav (teórica)				
	4906,3	N	500,6	kgf
Fre (teórica)				
	4584,7	N	467,8	kgf
Considerando 10% de perda de energia devido soma dos atritos				
Fav (real)				
	4415,6	N	450,6	kgf
Fre (real)				
	4126,2	N	421,0	kgf
FORÇA REQUIRADA	3234,0	N	330	kfg

DIMENSIONAMENTO VÁLIDO 330kgf < 450,6kgf

Fonte: Material interno Fabricante (2023).

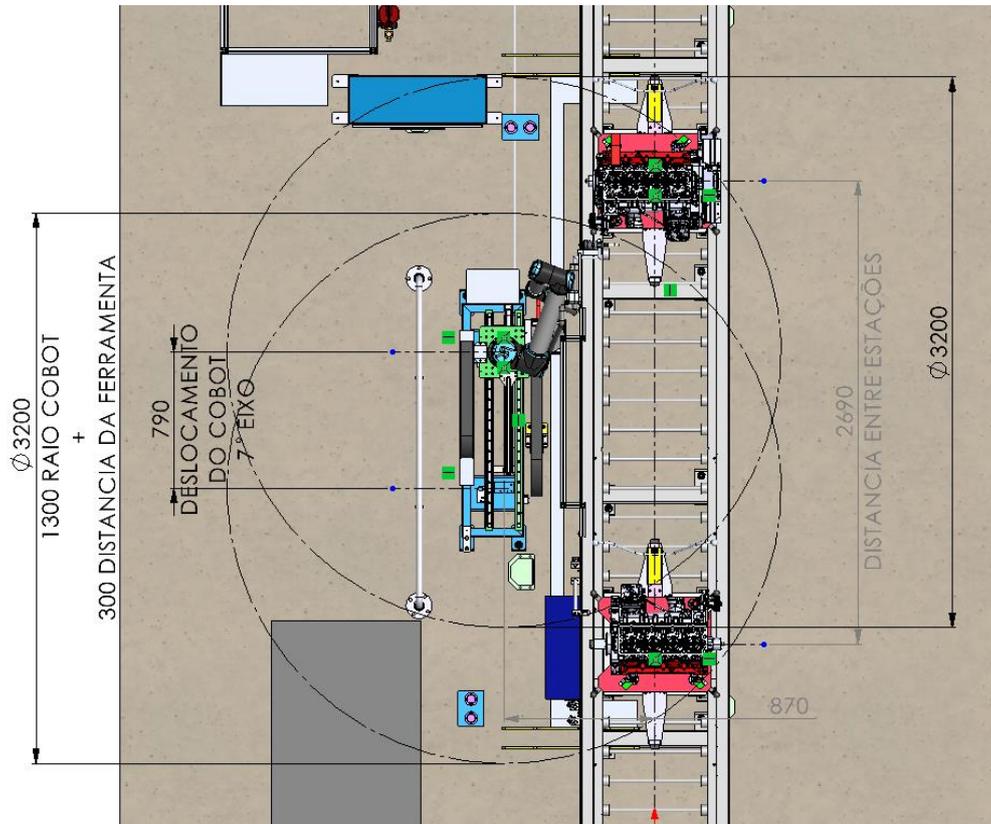
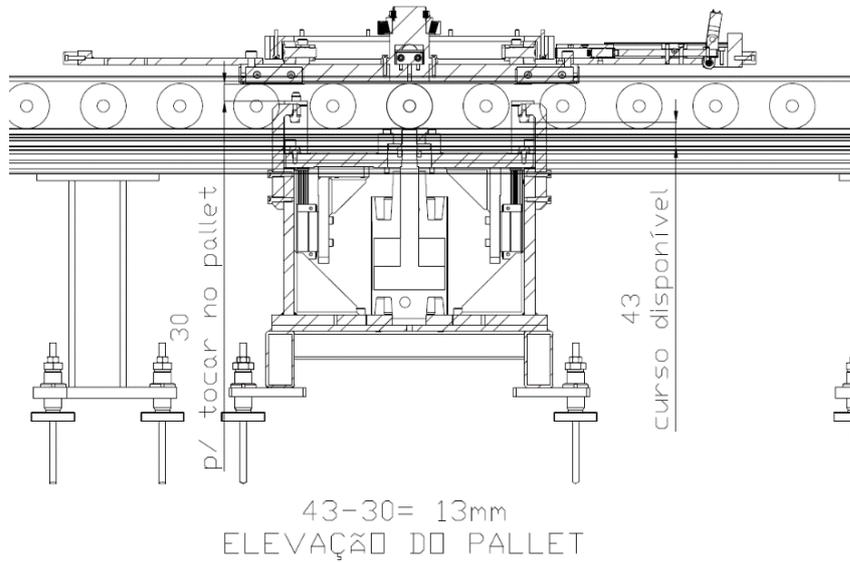
Os dimensionamentos da implementação do Cobot foram analisados considerando dois pontos principais: primeiramente verificando se haveria problemas no manuseio do conjunto de aplicação de cola considerando a distância do centro de massa do conjunto em relação a flange do Cobot, e dessa forma comparando com um gráfico disponibilizado pelo fabricante do robô, no qual foi constatado que a carga máxima manuseada era de 9,6 quilos e como o conjunto de aplicação de cola estava dimensionado com 4 quilos, obtivemos um dimensionamento em conformidade; e por conseguinte, estimando as cargas que poderiam ser geradas pela movimentação do robô para certificar que as guias lineares do sétimo eixo suportariam sem que houvesse sobrecargas no sistema.

Estudos de movimentos dos mecanismos também apresentaram resultados satisfatórios para suportar os dimensionamentos das peças e componentes, bem como simular o processo de funcionamento do equipamento. Importante mencionar a necessidade das utilizações de batentes mecânicos nos finais de cursos dos movimentos onde requer uma determinada precisão, não deixando somente no final de curso do atuador pneumático, pois devido as deformações permanentes apresentadas nos elastômeros de amortecimento contidos nos finais de curso desse componente, ao longo da sua utilização, não garantem a precisão de parada, e isso acarreta falhas de posicionamentos e conseqüentemente instabilidade do sistema. Abaixo um exemplo de um estudo realizado no mecanismo de indexação do pallet e em seguida um estudo de verificação da ação do Cobot para realizar a tarefa de aplicação de junta líquida.

Na segunda imagem foi considerado um raio de ação do robô de 1600 milímetros, sendo 1300 milímetros seu raio máximo de atuação e mais 300 milímetros da distância da fixação do flange até o bico de aplicação. Dessa forma foi possível certificar que o curso do Sétimo eixo e do robô eram suficientes para execução da tarefa de aplicação de junta, ainda com uma sobra dos pontos extremos do produto.



Figura 8 – Acima: exemplo de análise de cursos para dimensionamento da mesa de indexação. Abaixo: estudo de curso para verificação da abrangência da aplicação de junta pelo Cobot.



Fonte: Material interno Fabricante (2023).

Outra estratégia notável adotada pelo Fabricante foi conciliar a etapa de Detalhamento do Projeto dentro do tempo da Incorporação do Projeto. Para que esse evento acontecesse, o Fabricante se baseou nos conhecimentos técnicos do time juntamente com discussões realizadas em uma reunião denominada de Aprovação de Projeto Interno, que aplicando as ressalvas de

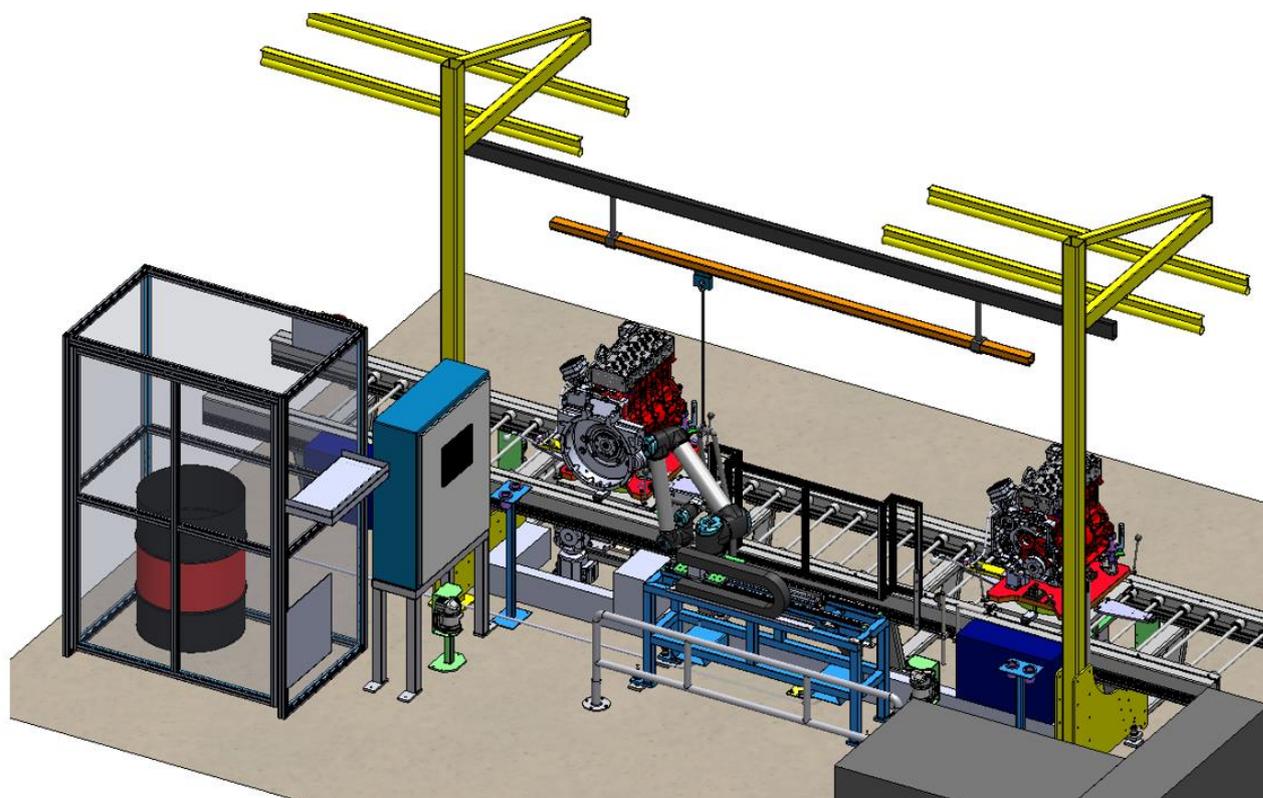


TRABALHO DE GRADUAÇÃO

melhorias que deveriam ser feitas em alguns conjuntos de montagem, seria improvável a interferência no quesito técnico do Cliente referente aos mecanismos desenvolvidos. Dessa maneira, a etapa de Detalhamento ficou parcialmente embutida na fase de Incorporação, otimizando o tempo do projeto e reduzindo os impactos na entrega final do equipamento.

Novamente, baseado na experiência, a habilidade do profissional responsável pela checagem dos detalhamentos dos desenhos técnicos é primordial para uma melhor assertividade na fabricação das peças e da montabilidade dos conjuntos do equipamento, analisando as possíveis interferências, conformidades e tolerâncias de desenho, métodos construtivos, e a acessibilidade para manutenção.

Figura 9 – Projeto mecânico da implementação do robô colaborativo na linha de montagem.



Fonte: Material interno Fabricante (2023).

O projeto mecânico final delimitou toda acessibilidade e limitações do layout para implementação dos equipamentos e de seus componentes necessários para exercer a funcionalidade.

LIÇÕES APRENDIDAS E CONCLUSÃO

O sistema de estruturação de projeto mecânico apresentado neste estudo de caso unificou algumas definições de referências bibliográficas encontradas em renomados livros de projetos mecânicos cujo são abordadas de uma maneira mais superficial, com a atuação metodológica utilizada por uma organização de alto nível no mercado de equipamentos especiais para automação, incrementando e elucidando na prática os passos fundamentais para



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

que o projeto seja robusto e ordenado, de tal forma que o planejamento deste seja viável e otimizado para o processo de implementação.

Logicamente, um ponto não negativo, mas que deve ser ressaltado, a condição de expertise dessa organização e o fato de estar consolidada nesse ramo de atuação de projetos de máquinas influencia diretamente na qualificação dos profissionais para que haja uma exímia competência técnica na abordagem de resolução de problemas justamente devido ao conhecimento especializado, reduzindo dessa forma os erros inerentes, aumentando a eficiência e segurança do projeto. Por tanto, as abordagens de constantes reuniões técnicas para analisar criticamente o andamento do processo é um fator proveitoso com retornos imediatos, facilitando nas tomadas de decisões e potencializando o conhecimento técnico em um processo de retroalimentação.

Técnicas de dimensionamentos de componentes, materiais e mecanismos mecânicos baseada na experiência foi amplamente vista no decorrer do projeto, valendo-se de equipamentos que já foram fornecidos no passado e de competência do corpo técnico. Assim, usar determinados coeficientes de segurança para um respaldo próprio, garantindo a funcionalidade e confiabilidade do projeto mecânico, ressaltam a importância da atuação de uma engenharia mecânica robusta.

De fato, a composição e o ordenamento das atividades e documentos empregados para cada etapa é imprescindível para o sucesso da implementação, suportando as áreas relacionadas durante o trajeto de desenvolvimento e mantendo a perceptibilidade do endosso do projeto. Sistemas com apresentações bem descritas com imagens ou vídeos didáticos desempenham um papel crucial para o entendimento do projeto, beneficiando uma ampla gama de público, incluindo pessoas que não são profissionais dedicados da área. Logo, esse método apresenta uma credibilidade ímpar justamente por superar determinadas barreiras presentes na interpretação, minimizando erros e garantindo a integridade do projeto numa documentação sólida.

Controlar todos os processos dessa estruturação de projeto mecânico influencia significativamente para compreender os resultados obtidos e projetar melhorias futuras. Supervisionar cada etapa do processo, desde a definição de Conceito até o Pós Projeto, assegura-se o entendimento, interações e desempenho, como pode ser observado pelo controle de modificações, possibilitando em indicadores de engenharia mecânica para analisar a eficiência do projeto e conseqüentemente capacitar nas tomadas de decisão futuras nesta área.

Por fim, a roteirização conciliada a uma prática de elaboração de projeto mecânico pôde clarear o processo de criação e a simplificação da complexidade que permeia o trajeto de desenvolvimento, revelando uma ponte sólida entre concepção e a concretização. A combinação dos elementos propicia uma robustez e a capacidade de mutação ou ajustes de acordo com a necessidade de cada organização. Portanto, a integração eficaz da roteirização e da prática de desenvolvimento é essencial para o sucesso na materialização de projetos mecânicos de equipamentos.



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

REFERÊNCIAS

BUDYNAS, Richard G.; NISBETH, J. Keith. **Elementos de Máquinas de Shigley**, 8ª Edição. McGraw Hill Brasil, 2011.

NORTON, Robert L. **Projeto de máquinas**. bookman editora, 2013.

COLLINS, J. A.; BUSBY, H. R.; STAAB, G. H. **Projeto Mecânico de Elementos de Máquinas: uma perspectiva de prevenção da falha**, 2ª edição, 2019

MOTT, Robert L. **Machine elements in mechanical design**. Pearson Educación, 2004.

CHILDS, Peter RN. **Mechanical design**. Elsevier, 2003.

RISITANO, Antonino. **Mechanical design**. Crc Press, 2011.

YIN, R. K. **Case Study Research and Applications: Design and Methods**. Sage Publications, 2018.

RUBIN, H. J.; RUBIN I. S. **Qualitative interviewing: The art of hearing data**. Sage Publications, 2011.

KNUDSEN, Mikkel; KAIVO-OJA, Jari. **Collaborative robots: Frontiers of current literature**. Journal of Intelligent Systems: Theory and Applications, v. 3, n. 2, p. 13-20, 2020.

SOARES, Renan; LUCATO, André Vicente Ricco. **robótica colaborativa na indústria 4.0, sua importância e desafio**. Revista Interface Tecnológica, v. 18, n. 2, p. 747-759, 2021.

Segurança com Cobots e NR12. **Universal Robotics**, 2020. Disponível em <<https://www.universal-robots.com/br/blog/seguranca-com-cobots-e-nr12/>>. Acesso em: 30 de outubro de 2023.

Robôs trabalhando com humanos: o que já é realidade e impactos no mercado. **Universal Robotics**, 2023. Disponível em <<https://www.universal-robots.com/br/blog/rob%C3%B4s-trabalhando-com-humanos-o-que-j%C3%A1-%C3%A9-realidade-e-impactos-no-mercado/>>. Acesso em: 30 de outubro de 2023.



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

APÊNDICE

Check list para elaboração de projetos mecânicos – preenchimento para o estudo de caso

1 – ETAPA DE CONCEITO				
ITEM	ASSUNTO	S	N	JUSTIFICATIVA/OBSERVAÇÕES
1.01	Checadas as normas do Cliente para elaboração do projeto?	x		Normas de segurança e ergonomia
1.02	Foram considerados todos os produtos?	x		Dois modelos de motores
1.03	Foram fornecidos desenhos técnicos dos produtos?	x		Somente dos componentes envolvidos na montagem
1.04	Existem modelagens em 3D dos produtos?	x		Somente dos componentes envolvidos na montagem
1.05	Houve o envio de amostras?	x		Somente dos componentes envolvidos na montagem
1.06	Foram disponibilizadas as características necessárias para a conformação/montagem dos produtos? (Força, velocidade, pressão, etc.)	x		Parâmetro da espessura do cordão de junta = max. 4mm
1.07	Haverá necessidade de setup's para troca de produtos ou ferramentas na máquina?		x	Sem necessidade de setup's
1.08	O equipamento será integrado a alguma linha, maquinário ou alimentadores?	x		Linha de transportadores existente
1.09	Existem projetos internos para referência?		x	Concepção nova
1.10	Foi elaborado o passo-a-passo do equipamento (processo de funcionamento da máquina)?	x		
1.11	Realizada a solicitações de compra dos itens de Longo Prazo?		x	Itens de longo prazo foram de responsabilidade do cliente: Cobot, scanners de segurança, componentes para aplicação da junta líquida
1.12	Realizada a reunião de aprovação de conceito?	x		Conceito aprovado

2 – ETAPA DO PROJETO				
ITEM	ASSUNTO	S	N	JUSTIFICATIVA/OBSERVAÇÕES
2.01	Está destacado no projeto o fluxo/sentido/posição do produto na máquina ou linha?	x		
2.02	Existem limitações de dimensionamento do equipamento?	x		Restrição: área retangular de x x x metros
2.03	Existem normas do cliente de segurança e ergonomia?	x		Conforme documento no Caderno de Encargos
2.04	A máquina está em conformidade em relação aos pontos ergonômicos (altura da bancada, altura e profundidade de alimentação de produtos, peso p/ manipulação de produtos e ferramentas, altura da IHM, e etc)		x	Não se aplica, pois o operador não terá interação com o equipamento instalado, e sim com a linha existente
2.05	As estruturas estão dimensionadas corretamente?	x		



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

2.06	Serão utilizadas pinturas conforme norma do cliente (estruturas e componentes)? Se sim informar	x	RAL 9010 para estruturas RAL 1018 para proteções mecânicas
2.07	Haverá pontos de locomoção e/ou içamento da máquina?	x	Ponto para içamento com empilhadeira
2.08	Foi verificado se a proteção da máquina está em conformidade com a NR-12	x	Verificado todos os movimentos e proteções
2.09	As barreiras e/ou scanner de segurança estão posicionadas na distância mínima conforme o cálculo de segurança?	x	Em conformidade
2.10	Foram realizados os cálculos de forças dos cilindros pneumáticos/hidráulicos?	x	Deslocamento do carro longitudinal – sétimo eixo
2.11	Foram realizados os cálculos de torque dos motores e/ou servomotores?	x	Não se aplica
2.12	Foram realizados os cálculos de aplicação de forças de montagem?	x	Não se aplica
2.13	Foram realizados estudos de análise estática (CAE via SolidWorks Simulation)?	x	Somente estudo de movimentos Estaticamente estrutura em conformidade
2.14	Foram realizados os estudos de movimentações das partes móveis da máquina?	x	Análise dinâmica via SolidWorks
2.15	Foram realizados os estudos de disposições e montagens para TODOS os produtos?	x	Estudo de movimento de aplicação de junta
2.16	Verificado se os elementos de transmissão de potência (correia, correntes, fusos, engrenagens, eixos etc.) atendem as solicitações mecânicas (torque, velocidade, tração, torção, etc.)	x	
2.17	Considerados freios p/ cilindros verticais de longos cursos?	x	Não se aplica
2.18	Os redutores e acoplamentos estão dimensionados corretamente?	x	Não se aplica
2.19	Os sistemas rolamentos e guias lineares estão protegidos com raspadores?	x	Direto do fabricante
2.20	Considerada acessibilidade para montagem e manutenção dos dispositivos, componentes e periféricos?	x	
2.21	Realizado levantamento dos itens comerciais necessários?	x	Itens mecânicos - conforme lista BOM
2.22	Realizada uma prévia de passagem de cabos e mangueiras?	x	Conforme projeto 3D
2.24	Os painéis elétricos/calhas de passagem estão representadas?	x	Conforme projeto 3D
2.25	Consideradas proteções para elementos que têm movimentos expostos? (Riscos aos operadores e terceiros)	x	Proteção: scanner de segurança.
2.26	Foi elaborado o Dossiê do projeto?	x	Informações do projeto contidas no dossiê para suportar demais áreas
2.27	Realizada a reunião de aprovação com o Cliente?	x	

3 – ETAPA DO DETALHAMENTO

ITEM	ASSUNTO	S	N	JUSTIFICATIVA/OBSERVAÇÕES
3.01	Consideradas as vistas necessárias para leitura do desenho de conjunto? (Elevação, planta, lateral, cortes etc.)	x		
3.02	A legenda do desenho está preenchida?	x		



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

3.03	Os materiais das peças estão especificados no desenho?	x	
3.04	O tratamento térmico da peça está especificado no desenho?	x	
3.05	O tratamento superficial da peça está especificado no desenho?	x	
3.06	A numeração da peça está correta no desenho?	x	
3.07	Cotas para a fabricação das peças estão inseridas nos desenhos?	x	
3.08	Estão indicadas as partes que serão usinadas?	x	
3.09	Os dimensionamentos geométricos e tolerâncias estão indicadas no desenho? (GD&T)	x	
3.10	Para os conjuntos soldados: A tabela de materiais está indicada?	x	
3.11	Para desenhos de conjunto: foram apresentadas as cotas de referência para montagem?	x	
3.12	Foi elaborado o Plano de Manutenção?	x	
3.13	Foi elaborada a Lista de Spare Parts (peças de reposição)?	x	
3.14	Foi elaborada a Solicitação de Compras dos itens comerciais?	x	