

RAQUEL MARTINS MILARÉ

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE ROBÔ
INDUSTRIAL PARA APLICAÇÃO DE COLAGEM EM PEÇAS
AGRÍCOLAS**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
2022

RAQUEL MARTINS MILARÉ

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE ROBÔ
INDUSTRIAL PARA APLICAÇÃO DE COLAGEM EM PEÇAS
AGRÍCOLAS**

Projeto de Fim de Curso apresentado a Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para a obtenção do título de graduado em Engenharia Mecatrônica.

Orientador: Pr. Dr. Rogério Sales Gonçalves

Uberlândia
2022

RAQUEL MARTINS MILARÉ

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE ROBÔ
INDUSTRIAL PARA APLICAÇÃO DE COLAGEM EM PEÇAS
AGRÍCOLAS**

Projeto de Fim de Curso apresentado à
Universidade Federal de Uberlândia, como
requisito parcial para a obtenção do título de
graduado em Engenharia Mecatrônica.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rogério Sales Gonçalves

Prof. Me. Werley Rocherter Borges Ferreira

Eng. Aer. Lohanna Ferreira Paiva

Uberlândia, 13 de outubro de 2022.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer à minha família, minha mãe Kátia, meu pai Tadeu e minhas irmãs Alessandra e Karina por me apoiarem incondicionalmente durante toda minha graduação e vida inteira. Sem vocês eu não seria a pessoa que sou hoje, espero orgulhar vocês da mesma forma que me orgulho e admiro cada um de vocês.

Gostaria de agradecer às amigas e amigos que sempre me ampararam e tornaram os momentos difíceis mais leves, com carinho e afeto tão sinceros.

Agradeço também a todas as engenheiras e a todos os engenheiros do meu estágio de graduação por me desenvolverem e me fazerem acreditar que posso me tornar uma profissional competente e capaz de grandes conquistas. Em especial Evanielly, Danilo, Bianca e Maurício.

Por fim, gostaria de agradecer ao Professor Rogério, que sempre se mostrou muito solícito e dedicado com a elaboração desse Trabalho de Conclusão de Curso e meu aprendizado em geral.

MILARÉ, R. M. **Estudo da viabilidade de implementação de robô industrial para aplicação de colagem em peças agrícolas.** 2022. 60 folhas. Projeto de Fim de Curso (Graduação em Engenharia Mecatrônica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022.

RESUMO

O setor sucroenergético brasileiro tem demonstrado evolução no que se refere à utilização de máquinas, implementos, técnicas de manejo e transporte, como colhedoras de cana-de-açúcar. Dos itens que a compõe, o corte de base influi diretamente na qualidade da colheita, na longevidade do canavial e na quantidade de carga colhida que irá para a indústria, portanto é de suma importância que todas as suas peças sejam montadas adequadamente. Este trabalho apresenta o estudo e a viabilidade de um robô industrial para automatização do processo de aplicação de selante na linha de montagem do cortador de base de colhedoras de cana. A motivação para a escolha do projeto foi a inter-relação existente entre as engenharias na robótica e o grau de aprendizagem resultante. O projeto contribuiu na aplicação tecnológica em busca de soluções adequadas para problemas práticos inovadores e no aperfeiçoamento de ideias já existentes.

Palavras-chave: *Cortador De Base, Mecanização, Colheita, Produção Agrícola; Automação; Controle; Aplicação de cola, Robótica, Programação.*

MILARÉ, R. M. **Estudo da viabilidade de implementação de robô industrial para aplicação de colagem em peças agrícolas.** 2022. 60 folhas. Projeto de Fim de Curso (Graduação em Engenharia Mecatrônica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022.

ABSTRACT

The sugar-energy sector has shown evolution in terms of the use of machines, implements, handling and transport techniques, such as sugarcane harvesters. Of the items that compose it, the base cut directly influences the quality of the harvest, the longevity of the cane field and the amount of harvested load that will go to the industry, so it is of paramount importance that all its parts are assembled properly. The work presents the assembly procedure and the feasibility of an industrial robot for automating the process of applying sealant in the assembly line of the base cutter of sugarcane collectors. The motivation for choosing the project was the existing interrelationship between engineering in robotics and the resulting degree of learning. The project contributed to the application of technology in search of adequate solutions to innovative practical problems and the improvement of existing ideas.

Keywords: Base Cutter, Mechanization, Harvest, Agricultural Production; Automation; Control; Glue application, Robotics, Programming

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Percentual de colheita mecanizada no Brasil	14
Figura 2. Localização de componentes de uma base de uma colhedora de cana-de-açúcar	18
Figura 3. Fluxo de colheita de cana-de-açúcar	19
Figura 4. Cortador de disco duplo rígido para dois modelos de operação (a. Redução de contaminação, b. Redução de perdas, c. Ponto de corte, d. Ponto de tangência com a superfície do solo, e. Configuração construtiva do cortador de duplo disco rígido).	20
Figura 5. Vista isométrica do dispositivo corte de base.....	21
Figura 6. Aplicação industrial de manipuladores	23
Figura 7. Elos e juntas de um robô.....	24
Figura 8. Manipulador com 6 graus de liberdade. 1) Rotação da base; 2) Rotação do ombro; 3) Rotação do cotovelo; 4) Rotação do punho (“pitch”); 5) Rotação do punho (“yaw”); 6) Rotação do punho (“roll”)(“yaw”); 6) Rotação do punho (“roll”)......	25
Figura 9. Classificação de manipuladores seriais de acordo com a estrutura cinemática:a). Manipulador cartesiano, b). Manipulador Cilíndrico, c). ManipuladorEsférico, d). Manipulador Antropomórfico, e). Manipulador SCARA.	26
Figura 10. Discos de corte padrão.....	28
Figura 11. Manutenção das vedações	30
Figura 12. Aplicador manual para aplicação do selante	31
Figura 13. Excesso de selante aplicado na flange.....	31
Figura 14. Esquema de funcionamento de aplicação de vedante anaeróbico.....	33
Figura 15. Sistema automatizado de distribuição de adesivo.	33
Figura 16. (a) Controlador NX100, (b) Motoman HP6 e (c) Teach Pendant	34
Figura 17. Desenho em CAD do elemento terminal.	35
Figura 18. Elemento terminal conectado ao suporte para pistola.....	36
Figura 19. CAD da montagem pistola com elemento terminal e espátula.....	37
Figura 20. Ponteira do robô percorrendo a trajetória programada.....	38
Figura 21. Trajetória interna e externa da ponteira	39
Figura 22. Espátula de metal empurrando o selante durante a trajetória	39
Figura 23. Impressão 3D de parte da flange do cortador de base.....	39
Figura 24. (a) Espátula de silicone espalhando o selante durante sua trajetória (b) Resultado do espalhamento de selante com a espátula de silicone	41
Figura 25. Espátula deformada durante a trajetória	41
Figura 26. Excesso de selante espalhado na mesa do gabarito	42
Figura 27. Teste refeito com melhoria de trajetória com selante alternativo	43

Figura 28. Teste refeito com melhoria de trajetória com selante real	43
Figura 29. Espátula de silicone com excesso de cola	44

SUMÁRIO

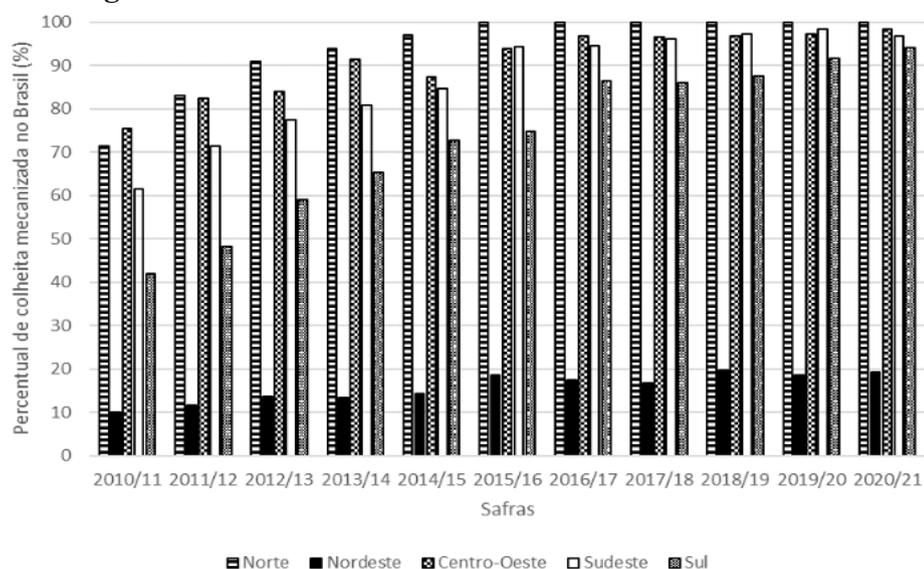
1. INTRODUÇÃO	14
1.1. Objetivos	16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1. Colhedora de cana-de-açúcar: Origem, Classificação e Manutenção.....	17
2.2. Etapas do Processamento da Colheita de Cana-de-açúcar	19
2.3. Corte de base: Função e Descrição de seus Componentes	20
2.4. Automação industrial	22
2.4.1. Estrutura de um manipulador	23
3. METODOLOGIA.....	28
3.1. Empresa estudada.....	28
3.2. Colhedora estudada	28
3.3. Etapas da implementação	28
3.4. Identificação do problema.....	29
3.4.1. Descrição do processo manual	30
3.5. Soluções atuais do mercado	31
3.6. Proposta de melhoria.....	34
3.6.1. Materiais utilizados nos experimentos	34
3.7. Metodologia dos Experimentos	36
3.7.1. Semana 1.....	36
3.7.2. Semana 2.....	40
3.7.3. Semana 3.....	42
3.8. Análise de viabilidade.....	44
4. CONCLUSÃO	46
REFERÊNCIAS.....	47
APÊNDICE A – Códigos	52
APÊNDICE B – Trajetória interna	56
APÊNDICE C – Trajetória externa da base.....	57
APÊNDICE D – Trajetória externa da lateral.....	58
APÊNDICE E – Trajetória externa do topo.....	59
APÊNDICE F – Trajetória da espátula	60

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é, historicamente, uma das mais expressivas culturas na atividade agrícola brasileira, tendo presença no país desde o período colonial, passando por inúmeras transformações tecnológicas ao longo dos anos. O setor sucroenergético é uma das commodities de grande significância nos comércios nacional e internacional. A produção brasileira de cana-de-açúcar, na safra de 2020/2021, foi cerca de 654 milhões de toneladas, cultivadas em 8,6 milhões de hectares, com produtividade média de 75,9 t ha⁻¹. (CONAB, 2021).

No início dos anos 2000 o sistema mecanizado para colheita estava presente em apenas 28% dos canaviais brasileiros (NEVES *et al.*, 2015) e, com o passar dos anos, essa porcentagem foi crescendo conforme aconteciam as melhorias e as adaptações gerais do setor sucroenergético para o uso das máquinas nos canaviais. De acordo com a Conab (2021), a porcentagem de colheita mecanizada nacional passou para 89 % na safra 2020/21 (Figura 1). Esse percentual só não é maior porque a região Nordeste ainda utiliza predominantemente a colheita manual devido ao relevo acidentado e pela maior disponibilidade de mão de obra na região. A região Sudeste, a de maior produção canavieira, tem 97,1 % dos canaviais colhidos de forma mecanizada (CONAB, 2021). Dentre os estados, São Paulo destaca-se por ser responsável por, aproximadamente, 98,5 % de área colhida mecanicamente.

Figura 1. Percentual de colheita mecanizada no Brasil



Fonte: CONAB, 2021

A técnica de colheita manual começou a ser questionada quando o cultivo desta cultura tomou dimensões mais expressivas no cenário nacional, juntamente a apelos ambientais e sociais. O corte manual de cana-de-açúcar utiliza da queima do canavial para diminuir impurezas, reduzir o risco com animais peçonhentos e aumentar a capacidade operacional (SCHIMIDT JÚNIOR, 2011).

Dessa forma, segundo Voltarelli *et al.* (2017) e Vieira *et al.* (2018), a mecanização da colheita de cana-de-açúcar cresceu nos estados produtores, devido à necessidade da extinção da queima pré-colheita em toda área canavieira até 2017. Todavia, o sistema de corte basal das colhedoras ainda se mostra ineficiente, interferindo diretamente na qualidade da matéria-prima e comprometendo a longevidade do canavial (VOLTARELLI *et al.*, 2017).

Todavia, Pevide (2018) diz que a crescente demanda de veículos automotores é diretamente responsável pela automação e inovação tecnológica das indústrias automobilísticas, onde o trabalho manual e repetitivo é substituído por máquinas e robôs, a fim de reduzir custo e tempo de ciclo, e aumentar a qualidade, padronização do processo, produtividade e segurança.

A indústria de máquinas agrícolas em geral busca sempre estar se destacando no que se refere a aplicação de novas tecnologias para aumentar sua produtividade. Os métodos tradicionais de união, como soldagem ou aparafusamento, estão sendo progressivamente substituídos em aplicações industriais por processos eficientes de colagem automática, uma vez que esses processos proporcionam uma série de vantagens, como redução de peso das peças ou manuseio simplificado das peças (SCHEUGENPFLUG, 2022)

Nesse contexto, dentre as inovações tecnológicas e automatizações de sistemas, o processo de aplicação automática de selantes tem crescido bastante nas indústrias. Em relação ao processo de vedação por aplicação automática de selante, as vantagens se devem ao fato de proporcionar rapidez, repetibilidade da aplicação, estabilidade e padronização do processo, menor retrabalho e baixo índice de vazamento (PEVIDE, 2018).

Com isso, a motivação para elaboração do estudo atual, surgiu durante o período de estágio na engenharia de manufatura do setor automotivo agrícola da empresa estudada. Neste período como estagiária foi possível identificar possibilidades da viabilidade da automatização do processo de aplicação de selantes na montagem do cortador de base de colhedoras de cana através de um robô industrial.

1.1. Objetivos

Nesse contexto, o objetivo geral desta pesquisa é realizar um estudo de viabilidade econômica da implementação de um robô industrial em uma empresa de máquinas e implementos agrícolas. Atualmente o processo que se busca automatizar consiste no operador aplicar o selante com um aplicador manual e depois espalhá-lo com os dedos usando uma luva. Para alcançar esse objetivo, foram elencados os seguintes objetivos específicos:

- Automatização do processo industrial;
- Melhoria de qualidade na operação;
- Aumento da ergonomia para operadores;
- Redução do tempo padrão da montagem;
- Redução dos custos de produção;
- Aplicação dos conhecimentos do Curso de Engenharia Mecatrônica na solução de um problema industrial.

Com estes aspectos iniciais em mente, segue-se para a próxima seção deste trabalho que é o referencial teórico.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo será apresentado alguns conceitos e terminologias referentes ao maquinário agrícola de colhedoras de cana-de-açúcar e que serviram para o aprendizado e informação para maior entendimento do funcionamento destas. Além disso, será também abordada uma breve revisão a respeito de automação industrial.

2.1. Colhedora de cana-de-açúcar: Origem, Classificação e Manutenção

Um primeiro passo no sentido da mecanização foi a introdução do carregamento mecânico dos colmos inteiros. Na década de 50 surgiu, na Austrália, o princípio mecânico de colheita atualmente utilizado no Brasil, o qual combina a operação de colheita com a de carregamento. Trata-se de equipamento que corta uma linha por vez, utiliza um veículo que trafega paralelamente à colhedora para receber a matéria-prima, separa boa parte das folhas e ponteiros e os lança ao solo da área colhida. Os processos convencionais de colheita manual ou mecânica, com queima prévia, visam apenas o aproveitamento dos colmos e estão constituídos de uma sequência de operações simples que incluem o corte da base, do ponteiro e a picagem ou empilhamento dos colmos (BRAUNBECK, MAGALHÃES, 2006).

As colhedoras de cana-de-açúcar foram desenvolvidas no Brasil a partir dos anos 70 através da montadora Santal Equipamentos S/A. E desde então, passaram por inúmeras modificações até chegarem aos modelos atuais. As máquinas importadas dos EUA e da Austrália, assim como os primeiros modelos fabricados no Brasil, eram muito mais simples principalmente com relação à eletrônica. Porém, mesmo diante da evolução da máquina, especialistas e usuários, argumentam que há questões tecnológicas operacionais que precisam evoluir para o seu melhoramento (CHERUBIN, 2018).

Magalhães e Braunbeck (1998) também dizem que o setor canavieiro enfrenta problemas pela escassez de tecnologia apropriada, principalmente no setor agrícola que, aliado à questão da sazonalidade da mão-de-obra, tem sobrecarregado o custo da produção. Na tentativa de reduzir custos e melhorar a rentabilidade do setor, as usinas, a exemplo do que ocorreu nas demais culturas, têm optado por um sistema gradual de mecanização, principalmente da colheita.

Segundo Narimoto (2012), as máquinas colhedoras podem ser classificadas de quatro maneiras:

- à fonte de potência (auto propelida ou montada lateralmente ao trator);
- o rodado (pneus ou esteiras);
- ao número de linhas de cana cortadas por vez (uma ou duas) e
- quanto ao tipo de matéria-prima fornecida (de colmos inteiros ou fracionados).

Atualmente, as colhedoras combinadas auto propelidas são empregadas com maior frequência. Estas são fabricadas no Brasil por: Santal, CASE-CNH, John Deere, Star e Civemasa. Na Figura 2, é possível observar a localização de seus componentes em destaque o cortador de base que será analisado nesta pesquisa.

Figura 2. Localização de componentes de uma base de uma colhedora de cana-de-açúcar



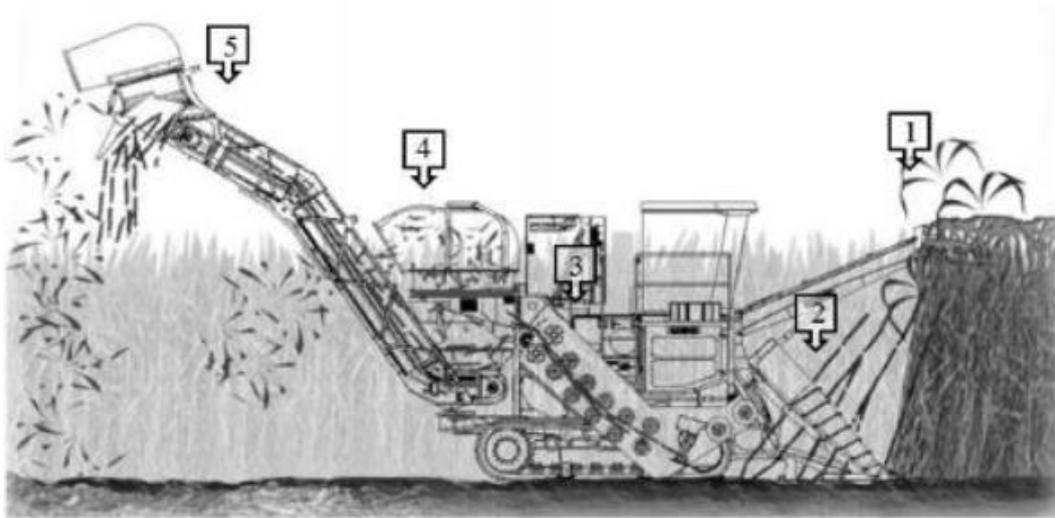
Fonte: John Deere, 2010

A unidade consta essencialmente de uma frente de corte com largura de uma ou duas linhas, incluindo um disco flutuante para o corte basal de cada linha, segue um conjunto de transportadores helicoidais rotativos que conduzem o material até uma célula de trabalho onde os operadores recolhem manualmente os colmos, cortam o ponteiro utilizando um disco cortador disponível para cada linha e encaixam os colmos em um transportador lateral que os conduz até um despalhador de rolos. O despalhador retira as folhas e lança os colmos inteiros até uma carreta de descarga vertical onde os mesmos são armazenados ordenadamente, na direção longitudinal de marcha, para manter a densidade de carga requerida pela operação posterior de transporte. A frente do equipamento efetua o corte de base e o transporte da massa integral de cana sobre um plano inclinado, sem separação entre as linhas (BRAUNBECK, MAGALHÃES, 2006).

2.2. Etapas do Processamento da Colheita de Cana-de-açúcar

O processamento da cana de açúcar desde sua entrada na colhedora até sua saída, será descrito nas etapas enumeradas a seguir, as quais podem ser visualizadas na Figura 3 (JOHN DEERE, 2006):

Figura 3. Fluxo de colheita de cana-de açúcar



Fonte: John Deere, 2006

Segundo Stringhetta (2018), a descrição das etapas enumeradas na Figura 3:

- (1) Inicialmente, é realizado o corte das pontes da cana-de-açúcar pelos despontadores, que consiste em um sistema de facas rotativas;
- (2) Na sequência, a matéria-prima é conduzida pelos divisores de linha, se necessário, é apoiada pelo rolo tombador para haver o direcionamento e realizar o corte basal, que ocorre na base da cana, a poucos centímetros do solo, por meio do disco de faquinhas, presentes no componente da caixa de corte de base;
- (3) Após o corte basal, os colmos são direcionados para os rolos alimentadores, até chegar aos rolos picadores, onde é cortada em rebolos de tamanhos que variam entre 30 e 40 cm;
- (4) Em seguida, os colmos são depositados no cesto do elevador, onde, pela ação do extrator primário, a maior parte das impurezas é removida por exaustão de ar, promovida por uma hélice giratória;
- (5) Na etapa seguinte, os colmos fracionados são conduzidos pelo elevador de taliscas, passando pelo extrator secundário para nova remoção de impurezas e, por

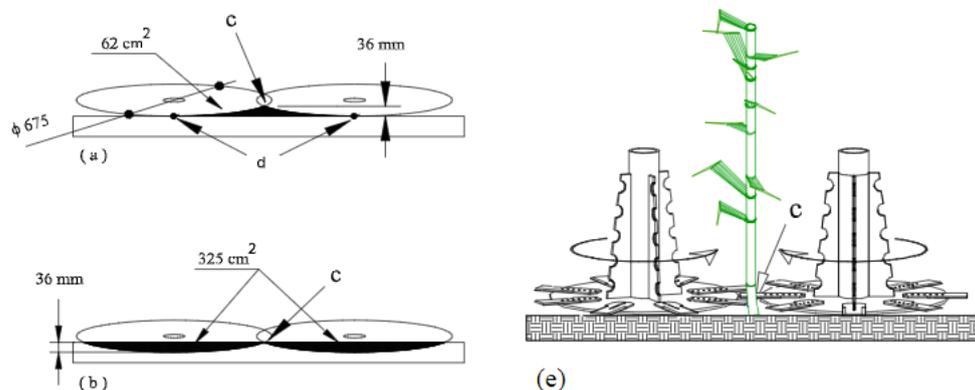
fim, são descarregados, normalmente em sistemas de transbordo específicos.

2.3. Corte de base: Função e Descrição de seus Componentes

O corte de base é um dos itens de maior importância da colhedora de cana-de-açúcar, pois a qualidade da operação está ligada diretamente com esse corte basal (NEVES, 2003). Segundo Mello (2011), o mecanismo para realizar esse corte é composto por um par de discos contra rotativos com cinco lâminas retangulares em cada disco (Figura 3). Essas lâminas são fixadas nas extremidades de cada disco que cortam por impacto os colmos da cana-de-açúcar em sua base.

O corte de base é efetuado pelo princípio de corte inercial (sem contra-faca). As facas atingem o solo com velocidade de 20 - 22 m/s, e por causa disso rapidamente perdem o corte. O contato das facas com o solo deve ser evitado para conservar um corte eficiente e desta forma reduzir as perdas, o teor de terra da matéria-prima e reduzir os danos às soqueiras visando aumentar sua longevidade. Os dois discos do sistema atualmente em uso, ilustrado na Fig. 4, definem um plano de corte de aproximadamente 1,5 m de largura, plano esse que deve descer até a base da cana, rente ao solo, para evitar perdas (tocos). (BRAUNBECK, MAGALHÃES, 2006).

Figura 4. Cortador de disco duplo rígido para dois modelos de operação (a. Redução de contaminação, b. Redução de perdas, c. Ponto de corte, d. Ponto de tangência com a superfície do solo, e. Configuração construtiva do cortador de duplo disco rígido).



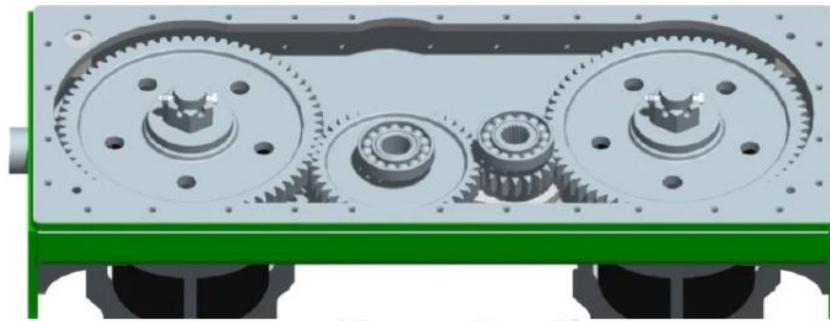
Fonte: Braunbeck; Mgalhães, 2002

Os discos do referido cortador giram em sentidos opostos e são montados com inclinação longitudinal perto de 10 °; o corte da linha de cana processa-se na faixa central de encontro dos discos. Normalmente, para reduzir as perdas torna-se necessário operar

o cortador de base em profundidade, como alternativa a um recurso de varredura mais eficiente. Esta condição promove a incorporação de um alto volume de solo aos colmos colhidos (BRAUNBECK, MAGALHÃES, 2002).

A unidade da cabeça de corte é montada na estrutura móvel. Consiste em dois discos de corte horizontais montados em eixos de acionamento verticais, conforme mostrado na Fig. 5, cada disco é equipado com quatro lâminas de corte.

Figura 5. Vista superior do dispositivo corte de base



Fonte: John Deere, 2008

O corte deve ser realizado o mais perfeito possível para assegurar o melhor aproveitamento da lavoura, reduzindo os índices de perdas e de contaminações da matéria prima e manter as boas condições agronômicas para a rebrota do canavial sem diminuição da produtividade nas safras futuras (NEVES *et al.*, 2006; SANTOS, 2008; SILVA *et al.*, 2008). Segundo Voltarelli e colaboradores (2015) a maioria das colhedoras comercializadas no Brasil ainda possuem este tipo de mecanismo, atuando da mesma forma que era no início e, portanto, apresentando os mesmos pontos negativos ou potenciais de falhas.

Dos componentes da colhedora de cana-de-açúcar o corte de base está ligado diretamente na qualidade da colheita influenciando na longevidade e na produção do canavial. O corte basal é realizado por impacto das lâminas dos discos no colmo da planta, podendo abalar as soqueiras, causar perdas invisíveis, elevar a quantidade de impurezas minerais incorporadas no material colhido já que frequentemente ocorre contato das facas de corte com o solo, acarretando também na redução da vida útil destas por desgaste e deformações (DRUDI, 2021).

Além disso, quando o corte de base é realizado por um único disco permite

que o eixo do mesmo seja posicionado sobre a linha de plantio. Nessa condição o formato elíptico da trajetória da ponta da faca acompanha aproximadamente a forma da depressão do terreno (sulco) próxima da soqueira. No caso de terreno nivelado o ponto mais baixo da trajetória da faca tangencia a superfície do terreno minimizando sempre o corte e movimentação de solo. A menor movimentação de solo existente no auxílio mecânico resulta também em menor demanda de potência e desgaste ou quebra de facas (BRAUNBECK, MAGALHÃES, 2006).

2.4. Automação industrial

É de se saber que os robôs adquiriram um espaço plausível nas indústrias. Sendo assim, suas principais aplicações estão em manipular materiais diversos e no processo de fabricação.

A automação industrial nada mais é do que como seu próprio nome diz o uso de processos automáticos que utilizam um software que com o auxílio de componentes elétricos ajudam a diminuir o uso de mão de obra humana, e reduzem ao máximo desperdícios, o que faz com que os processos ocorram em *lead time*.

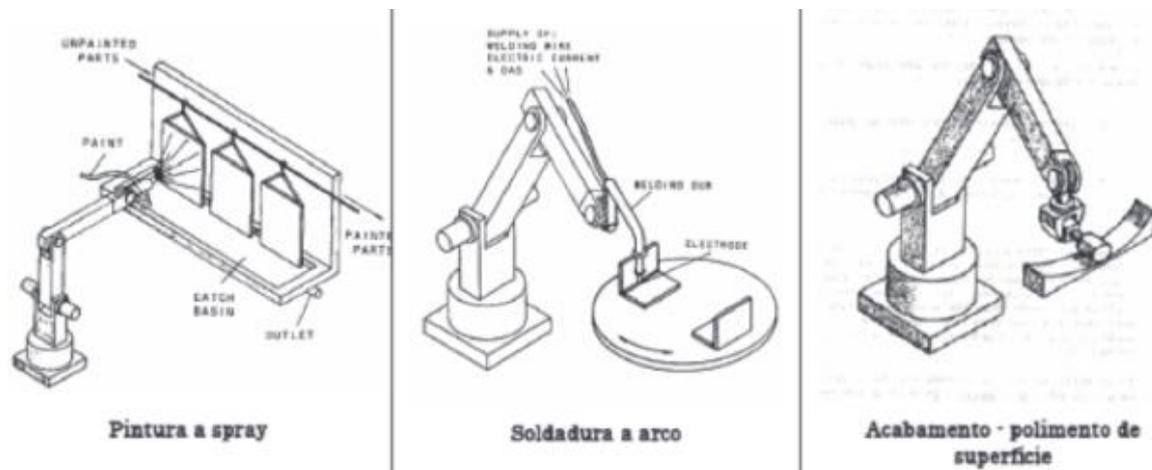
Com a intensa industrialização a partir dos anos 1940 ficou mais evidente a necessidade de se automatizar as tarefas repetitivas, proporcionando maior produtividade e redução de custos, uma vez que uma máquina não necessita de intervalos para descanso e pode realizar o mesmo processo inúmeras vezes mantendo o padrão de construção (MORI, 1989). Segundo Granemann (2020), na década de 80, a indústria robótica começou a dar grandes passos devido à grande demanda por automação flexível na indústria automotiva. Em 1982, a General Motors assinou um acordo com a Fanuc chamado GMFanuc para fabricar robôs principalmente para a indústria automotiva. Nos anos seguintes, mais avanços foram feitos na robótica, e a robótica se tornou um assunto frequente na indústria e na academia.

Segundo o mesmo autor, os robôs são um elemento primordial na indústria neste momento. Capazes de realizar múltiplas tarefas e operações, são precisos e não requerem os elementos comuns de segurança e conforto que um operador humano exige. Mas fazer o robô funcionar corretamente requer muito esforço e muitos recursos. A maioria das empresas da década de 1980 desapareceu, com algumas exceções, apenas as empresas que fabricam robôs industriais de qualidade permanecem no mercado. (como Adept, Fanuc, Kuka, Epson, Motoman, Denso, Fuji e ABB).

No Brasil, as indústrias que possuem a maior utilização de robôs industriais são as ligadas ao setor automobilístico.

Hoje pode-se destacar como principais atividades dos robôs: exploração espacial, automação de linhas de montagem, limpeza de áreas classificadas perigosas, busca e salvamento, serviços educacionais, etc. Na Figura 6 é possível visualizar algumas aplicações de manipuladores industriais.

Figura 6. Aplicação industrial de manipuladores



Fonte: Santos, 2004, p. 6

Por fim, é importante ressaltar que a automação se difere da mecanização de processos, já que na mecanização seus sistemas se nutrem de informações e agem rapidamente fazendo as correções necessárias, enquanto na automação é necessário que o homem defina todos os dados que serão inseridos no software para programá-lo a seguir o caminho esperado.

2.4.1. Estrutura de um manipulador

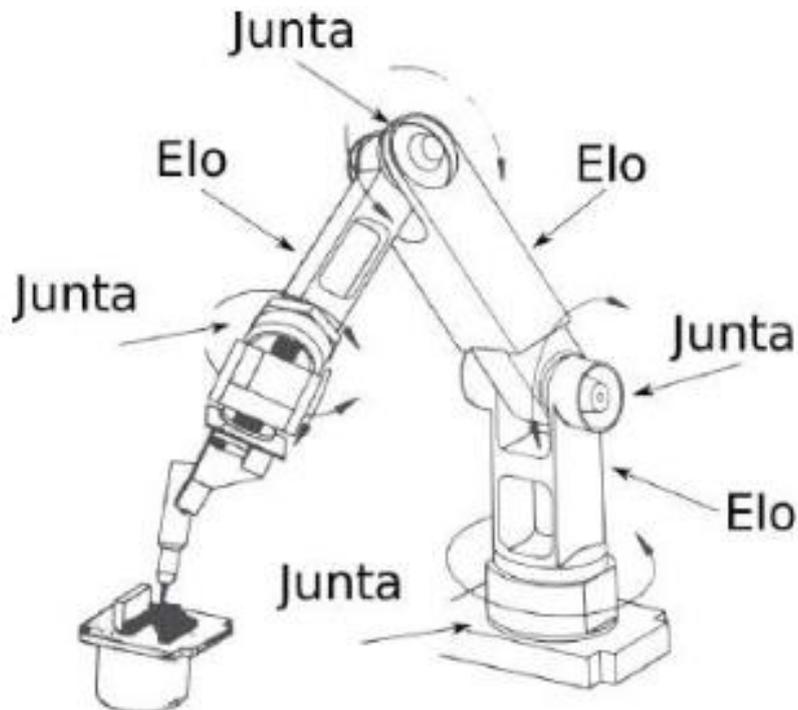
Segundo PASSARELI (2003), para construir dispositivos deste tipo, deve-se recorrer aos mais variados campos de conhecimento, como: matemática para calcular as áreas e forças envolvidas; mecânica, para construção física; elétricos para alimentar motores e circuitos eletrônicos; eletrônica para realizar tarefas automatizadas e, finalmente, computadores para programação de movimentos e interpretação de instruções do usuário.

Um manipulador é mecanicamente composto de uma série de elos, aqui

considerados como corpos rígidos, que são interligados através de juntas. Essa estrutura é denominada cadeia cinemática e pode ser visualizada na Figura 7.

Dessa forma, conforme Barrientos (1997), um sistema robótico é composto basicamente por três partes, são elas: o braço eletromecânico, o controlador digital e uma linguagem de programação.

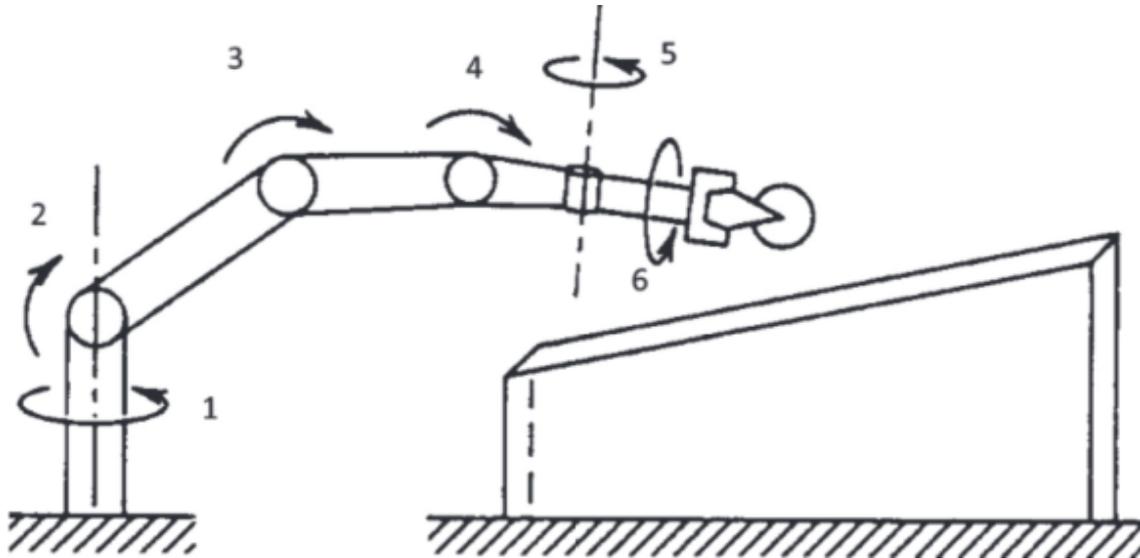
Figura 7. Elos e juntas de um robô



Fonte: Vertulo (2022)

A quantidade de juntas tem influência direta no movimento do manipulador, pois é isso que define os Graus de Liberdade (GDL). Se uma junta tem seu movimento em um único eixo, ela tem um grau de liberdade, caso se mover em dois eixos terá dois graus de liberdade, e assim por diante (Figura 8). As juntas podem ser classificadas de acordo com seu movimento, aquelas que proporcionam a translação do objeto são chamadas de Prismáticas, já aquelas que proporcionam a Rotação do objeto são chamadas de Revolução.

Figura 8. Manipulador com 6 graus de liberdade. 1) Rotação da base; 2) Rotação do ombro; 3) Rotação do cotovelo; 4) Rotação do punho (“pitch”); 5) Rotação do punho (“yaw”); 6) Rotação do punho (“roll”)(“yaw”); 6) Rotação do punho (“roll”).



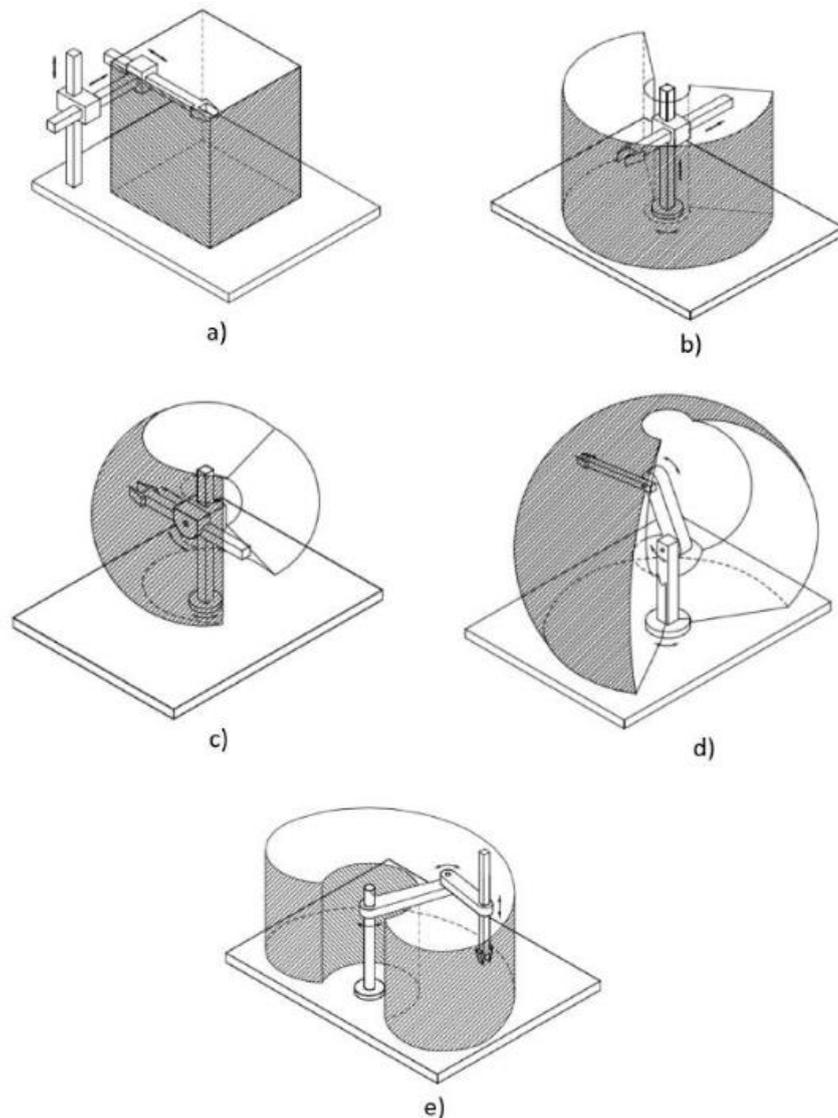
Fonte: Machado *et al.*, 2018.

Dependendo da área física na qual o manipulador atuará, é determinada a configuração das juntas, o que permite a classificação dos manipuladores. Dessa forma podemos dividi-los em cartesianos, cilíndricos, esféricos, SCARA e descritivos.

Segundo Granemann (2020), um robô cartesiano possui três juntas prismáticas (PPP) e nenhuma de revolução, o que permite que o efetuador seja posicionado em três coordenadas cartesianas através de movimentos lineares contidos em um espaço de trabalho cúbico. Já os robôs cilíndricos, possuem uma junta de revolução em adição a duas juntas prismáticas (RPPs), que, através da combinação dos movimentos lineares e rotacionais proporcionados pelas juntas, definem seu espaço de trabalho dentro de um cilindro.

De acordo com Granemann (2020), um robô esférico, por sua vez, possui duas juntas de rotação e uma junta prismática (RRP), resultando em um espaço de trabalho esférico. Os robôs SCARA (*Selective Compliance Assembly Robot Arm*) possuem duas juntas de rotação e uma junta prismática (RRP) e são comumente usados em processos de montagem. Um diagrama esquemático simples de cada classificação é mostrado na Figura 9.

Figura 9. Classificação de manipuladores seriais de acordo com a estrutura cinemática: a). Manipulador cartesiano, b). Manipulador Cilíndrico, c). Manipulador Esférico, d). Manipulador Antropomórfico, e). Manipulador SCARA.



Fonte: Vertulo, 2019

Por fim, segundo o mesmos autores, um robô articulado ou antropomórfico imitam um braço humano (ombro, cotovelo e punho). Como vantagem possui um espaço de trabalho mais abrangente que os tipos de robôs acima citados, porém possui controle de movimento complexo. Este tipo de robô industrial é amplamente utilizado na indústria e é de particular interesse neste documento, pois a área de trabalho necessária para elaboração desse projeto é de 1,5 m².

Conforme Granemann (2020), os sistemas de automação flexíveis diferem dos sistemas de automação rígidos, pois se adaptam facilmente às mudanças de condições, o que significa que podem ser facilmente reprogramados. A flexibilidade destes sistemas

não se limite a uma simples reprogramação, mas à compatibilidade com outras automações em um processo produtivo, sendo possível fazê-las trabalhar em conjunto dentro de um sistema.

Segundo Craig (2014), antes do desenvolvimento dos microcomputadores na indústria, os controladores dos robôs se limitavam a simples sequenciadores. Atualmente, os métodos se concentram principalmente na programação de robôs com computadores, o que faz com que os problemas enfrentados pela programação de forma geral sejam também contemplados na programação de robôs. Além disso, foram desenvolvidas muitas interfaces de usuário para programação de robôs e podemos destacar três métodos gerais na programação de robôs industriais de acordo com a literatura, a saber: programação usando ferramentas de ensino (*teach pendente*), programação usando linguagens de programação expressivas e programação.

3. METODOLOGIA

3.1. Empresa estudada

A Empresa X tem sua trajetória marcada pela inovação e qualidade, oferecendo produtos e serviços diferenciados para clientes em diversos segmentos, mas principalmente no segmento de maquinário agrícola. Atualmente, a companhia tem mais de 60 mil funcionários ao redor do mundo e 64 fábricas localizadas em 17 países, dentre eles Estados Unidos, África do Sul, Alemanha, Argentina, Brasil, Canadá, China, Espanha, França, Holanda, Índia e México.

3.2. Colhedora estudada

Segundo a Empresa X, o cortador de base tem um projeto orientado para o centro, com apenas quatro engrenagens para equilibrar a carga e reduzir o desgaste, acionado por um motor de pistão hidráulico. Podendo ter, dependendo do modelo, dois discos com cinco ou sete lâminas, facilmente substituíveis, que garantem um corte com o mínimo de danos às soqueiras. Na Figura 10 é possível visualizar como são esses discos acoplados a caixa do corte de base:

Figura 10. Discos de corte padrão



Fonte: Fablev, 2022

3.3. Etapas da implementação

Na empresa X, foi discutida a necessidade de melhorar o processo de aplicação de cola na linha de montagem do cortador de base de colhedoras de cana. A troca de

opiniões e ideias contribuíram para a criação de um planejamento durante o processo de projeto. A seguir são descritas as fases na implementação do robô industrial na empresa X:

- **Fase 1 – Identificação do problema:** Analisar os principais pontos de melhoria do processo manual anterior para que através da automação do processo eles sejam resolvidos;
- **Fase 2 – Análise das soluções atuais do mercado:** Analisar como o mercado lida atualmente com a aplicação de selantes e adesivos para contribuir na solução do problema;
- **Fase 3 – Estabelecimento dos requisitos construtivos:** Definir os materiais necessários ao experimento;
- **Fase 4 – Definição do espaço de trabalho:** Definir a forma geométrica onde o robô irá atuar;
- **Fase 5 – Programação:** Programação da trajetória feita no Pedant NX100, onde se aproxima o robô no ponto desejado e guarda-se a posição, e por fim, é escolhido o tipo de movimento feito e a velocidade. Então basicamente, se ensina pontos ao robô, formando a trajetória necessária, e este a repete de acordo com o programa salvo;
- **Fase 6 – Testes e correções:** Realizar testes no sistema para identificar possíveis erros e corrigi-los;
- **Fase 7 – Análise de viabilidade:** Nesta etapa, será analisado as vantagens do novo sistema comparado ao processo manual anteriormente utilizado.

3.4. Identificação do problema

Os avanços tecnológicos, principalmente em controladores, robôs e dispositivos inteligentes, possibilitaram o desenvolvimento de sistemas de automação e robótica cada vez mais eficientes e seguros, permitindo que as empresas atendam a essas demandas. Portanto, além de aumentar a capacidade de produção, esses sistemas também ajudam as empresas a reduzir custos, esforços físicos e o número de pessoas realizando tarefas de baixo nível.

Nesse contexto, uma empresa multinacional de máquinas agrícolas que opera principalmente no centro do Brasil desde 1991 e que terá o seu nome sob sigilo, percebeu que poderia automatizar o processo de aplicação manual de cola na linha de montagem

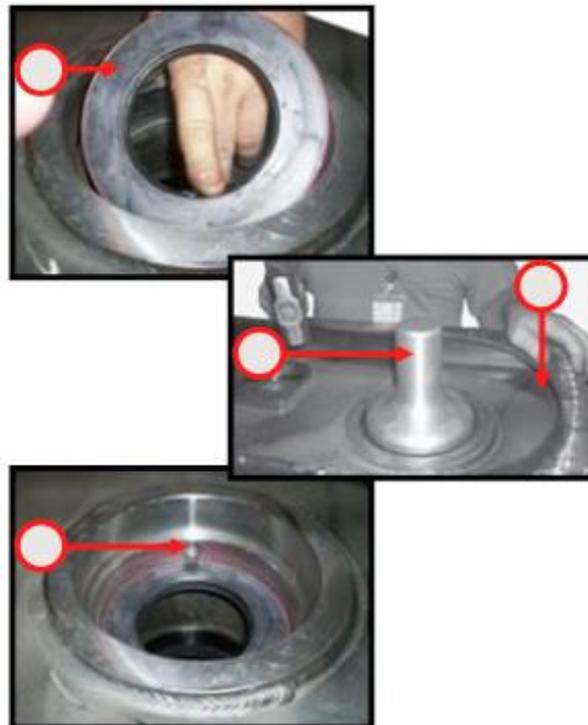
do cortador de base de colhedoras de cana, que será melhor explicado na seção a seguir. Buscando mais agilidade e precisão no projeto, este trabalho faz um estudo sobre a viabilidade de implementação de um robô industrial nessa linha de montagem da empresa X.

O sistema robotizado de aplicação de cola evita o trabalho manual de um grupo de colaboradores e otimiza o processo. A aplicação pode ser padronizada, evitando erros no processo como má aplicação de cola que pode ocasionar em problemas. Dessa forma, o novo sistema precisaria apenas de poucos colaboradores para operá-lo e supervisioná-lo, permitindo que os funcionários, que executam manualmente essa tarefa, possam passar a fazer tarefas de mais alto nível e mais importantes dentro da empresa.

3.4.1. Descrição do processo manual

O processo e aplicação pode ser demonstrado pelo manual de treinamento disponibilizado pela Empresa X, onde é mostrado a aplicação de cola realizada após o cortador de base ser fixado em seu gabarito na posição vertical com a área a ser selada para cima.

Figura 11. Manutenção das vedações



Fonte: Adaptado de JOHN DEERE, 2010

Se aplica uma camada de cola Loctite 5699 ou Loctite Superflex através de um aplicador manual (Figura 12), ao redor dos furos onde serão posicionados os parafusos de fixação da tampa e depois espalhados pelas mãos do operador utilizando luvas. Por fim a tampa do cortador é içada e posicionada em cima da peça e pressionada para que seja fixada.

Figura 12. Aplicador manual para aplicação do selante



Fonte: Tramontina

Devido à natureza manual da aplicação e espalhamento do selante, o processo não é padronizado e tem baixa precisão. Dessa forma, o excesso de cola na peça pode gerar problemas como contaminação do óleo e falha na lubrificação dos componentes próximos ao cortador e falha no torque aplicado para fixação dos parafusos e possível mal posicionamento dos componentes do cortador, como mostra a Figura 13.

Figura 13. Excesso de selante aplicado na flange



Fonte: Grupo Rubber Fast, 2018

3.5. Soluções atuais do mercado

Segundo o site *How to robot* (2020), a colagem e distribuição automatizadas podem ajudar a combater alguns dos problemas com o manuseio manual. Por exemplo, a colagem automatizada costuma ser muito mais precisa e, portanto, aumenta a qualidade do produto, além de aumentar a qualidade do produto também pode diminuir o número de produtos que precisam ser descartados devido à colagem imprecisa. Além disso, com soluções automatizadas, a redução dos custos de consumíveis é geralmente um dos benefícios. Isso também vale para a colagem automatizada, porque os sistemas automáticos usam a quantidade programada de cola.

Quando a cola é dispensada manualmente por um operador, sempre há uma pequena variação na quantidade utilizada. Dispensar uma quantidade desnecessariamente grande de cola é obviamente um custo que os fabricantes gostariam de eliminar. Isso muitas vezes pode ser alcançado com um robô.

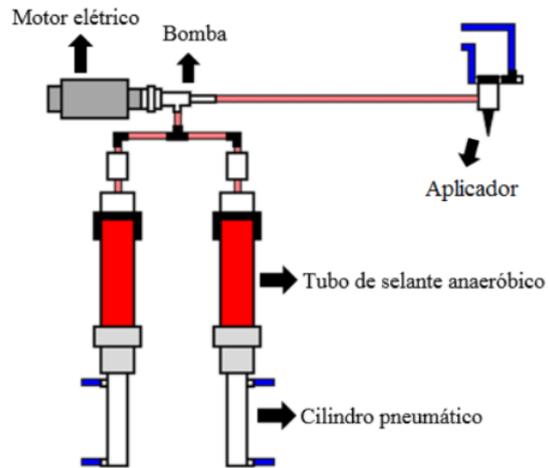
As soluções atuais de aplicação automatizada encontradas no mercado funcionam, de forma geral, através da pressurização de um cilindro que faz com que o fluido se mova em direção a uma bomba hidráulica, a qual é acionada através de um motor. Conforme o motor é rotacionado ele movimenta o selante para o aplicador. Concomitantemente, o braço robótico se movimenta de acordo com a trajetória desejada para a aplicação.

Segundo a pesquisa de Barcelos (2012), uma vez que o sistema é acionado, um robô é responsável por movimentar o produto que será vedado de maneira concordante e simultânea com o fluxo de cola que será expelido pelo aplicador. Para fazer o deslocamento de selante, os êmbolos dos cartuchos de cola são pressionados por um cilindro pneumático, que faz com que o fluido percorra as mangueiras até a conexão com a bomba. O motor acoplado ao sistema é responsável pela rotação do rotor interno da bomba, que funciona com o princípio de parafuso sem fim excêntrico. A medida que o rotor rotaciona, gera uma cavidade contínua por onde o fluido escoar e progride na direção do fluxo de aplicação, como pode ser visualizado na Figura 14.

A solução de um dispensador de cola acoplado ao robô também é uma opção para a indústria automotiva, onde um robô de seis eixos tem a flexibilidade de colar sobre as arestas de uma peça automotiva (por exemplo, uma porta de carro). Depois disso, normalmente ocorre a colagem adesiva (o processo de unir duas superfícies suavemente), durante a qual um grampo robótico (ou um robô adicional) acoplado à outra parte, empurra a parte colada e aplica pressão a ambas. Quanto aos sistemas de dosagem integrados, eles podem ser úteis na colagem de superfícies pequenas e uniformes, como

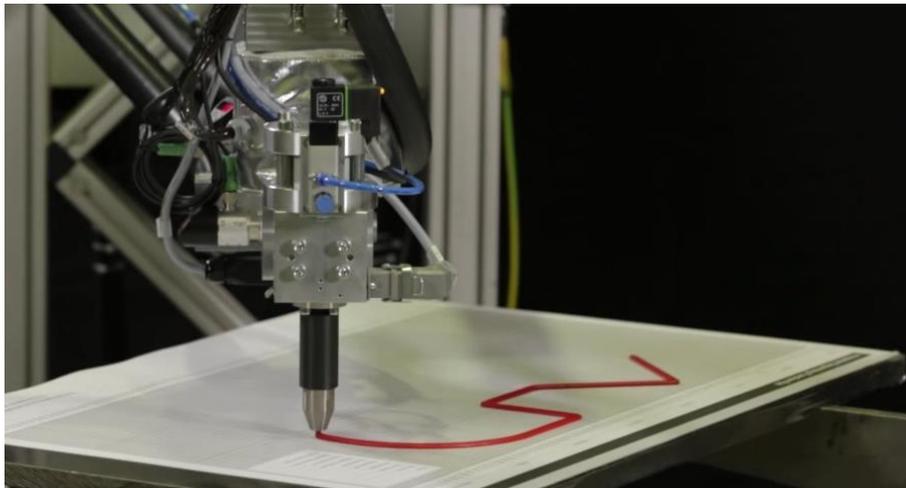
placas de circuito eletrônico (PCBs) ou na aplicação de verniz (HOW TO ROBOT, 2020), como mostrado na Figura 15.

Figura 14. Esquema de funcionamento de aplicação de vedante anaeróbico



Fonte: Pevide, 2018

Figura 15. Sistema automatizado de distribuição de adesivo.



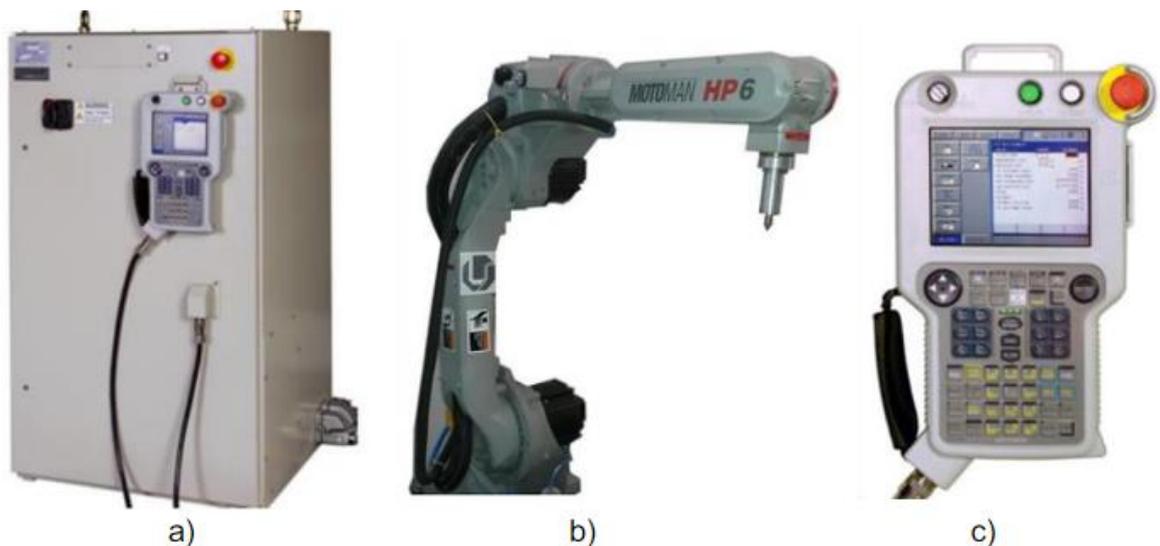
Fonte: How to robot, 2020

3.6. Proposta de melhoria

3.6.1. Materiais utilizados nos experimentos

Reunidas todas as informações pertinentes ao processo de aplicação de cola, parte-se para sua parte experimental. Para isto foi proposto a utilização de um braço robótico industrial com uma espátula e um suporte para o aplicador de selante acoplado a partir de uma flange de alumínio ao seu elemento terminal para um posicionamento preciso da espátula e do suporte durante os experimentos. O braço robótico utilizado é do modelo Motoman HP6 (Figura 16a) da marca Yaskawa® utilizando o controlador NX100 (Figura 16b), disponível no Laboratório de Automação e Robótica da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia. O sistema de referência utilizado para a validação dos experimentos será a do próprio braço robótico, que possui repetibilidade de 0,08mm (HP6 Manipulator Manual, 2007) segundo a norma ISO 9283 (1998).

Figura 16. (a) Controlador NX100, (b) Motoman HP6 e (c) Teach Pendant



Fonte: Adaptado de Vieira, 2016

Para que fosse possível fazer a aplicação de forma automática, utilizou-se uma pistola Loctite 97042 de acionamento pneumático. O tubo de selante foi fixado na pistola e seu gatilho preso com uma abraçadeira plástica. O seu acionamento foi feito através de uma válvula solenoide para controle da saída de ar que está no reservatório.

A fim de conectar o robô à pistola de acionamento foi modelado em CAD o elemento terminal (Figura 17). Uma extremidade conecta-se à flange do robô enquanto o corpo do elemento possui furos onde pode-se fixar a pistola e a espátula para espalhamento através de parafusos. O elemento terminal foi impresso em impressora 3D no próprio laboratório da Universidade.

Figura 17. Desenho em CAD do elemento terminal.



Fonte: Elaborada pela autora, 2022

A programação de um robô trata de indicar a sequência de tarefas e ações que o robô deverá cumprir. Para Pevide (2018), no entanto, cada fabricante desenvolve seu próprio método, que funciona apenas para seu próprio robô. É necessário dividir a rotina principal em várias sub-rotinas dedicadas a cada etapa do processo onde cada um dos movimentos do robô é especificado, incluindo velocidade, aceleração, acurácia do movimento, bem como o controle da ferramenta ou aderência adicionada ao punho do manipulador.

No proposto projeto, segundo Souza (2019), toda a manipulação e programação do Motoman HP6 é feita através do Teach Pendant (Figura 16c), uma espécie de controle remoto que fica conectado ao controlador NX100. O Teach Pendant possui botões para a manipulação direta do robô, para inserção de comandos na tela e seleção de modos de funcionamento do mesmo. Ademais, há também uma chave seletora que alterna entre os

modos de operação do manipulador, um botão de emergência com trava, além de uma tela sensível ao toque. Sua programação é feita a partir de instruções correspondentes ao posicionamento e orientação do elemento terminal e tipo de movimento que se deseja executar.

Sendo assim, em cada linha de código de cada programa é especificada as coordenadas cartesianas de posição e orientação para onde o elemento terminal do robô deverá se deslocar, no caso desse projeto, o programa está disponível no Apêndice A. Mais detalhes sobre como é feita a programação deste manipulador utilizado podem ser encontrados em GONÇALVES, 2013.

3.7. Metodologia dos Experimentos

Os experimentos ocorreram ao longo de três semanas de trabalho, onde foram implementadas melhorias a partir da visualização dos problemas ocorridos durante o processo. A seguir será descrito como foram os testes durante esse período:

3.7.1. Semana 1

Primeiramente, testou-se o elemento terminal no robô com suporte para a pistola com o tubo de Loctite e observou-se que esse conseguiu suportar o peso do suporte, como pode ser visto na Figura 18.

Figura 18. Elemento terminal conectado ao suporte para pistola



Fonte: Elaborado pela autora, 2022

Em seguida, foi utilizado um conector na ponta da pistola para ligar a mangueira

da válvula pneumática do laboratório, entretanto, o acionamento da pistola acontecia em “solavancos”, o que dificultava uma aplicação linear. Ademais, o tubo era demasiado grande para a pistola (Figura 19), além do eixo que empurra o tubo não conseguir chegar no final do percurso estabelecido. Por fim, a pistola acabou por desmontar com a pressão aplicada, por causa disso constatou-se a necessidade de utilizar uma pistola com controle de vazão e não de pressão.

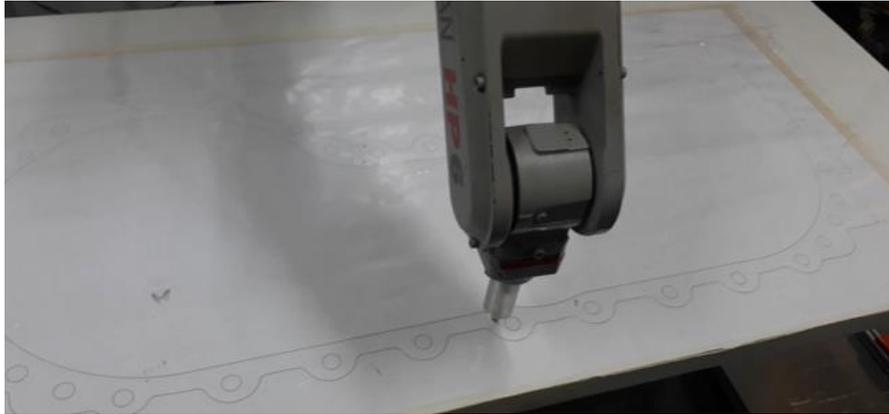
Figura 19. CAD da montagem pistola com elemento terminal e espátula



Fonte: Elaborado pela autora, 2022

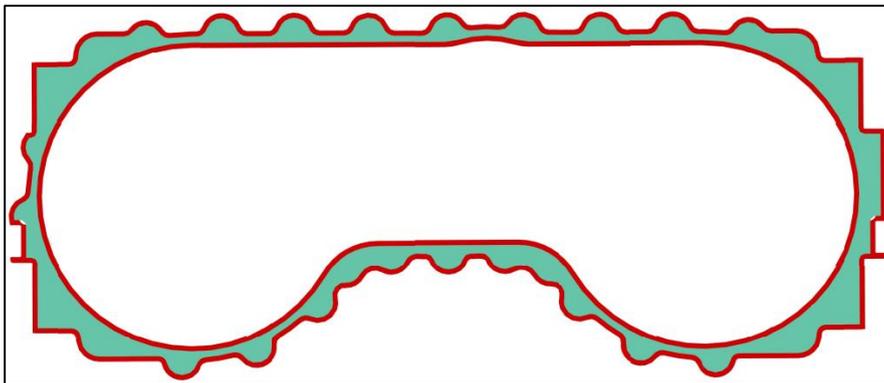
Por causa disso, na primeira semana de teste, utilizou-se a ponteira no robô para idealizar a trajetória do braço para que fosse aplicada a cola no gabarito da geometria do cortador de base (Figura 20). Para isso, foi necessário programar a trajetória interna e externa do cortador (Figura 21). Além disso, também foi feito a trajetória para o espalhamento da cola.

Figura 20. Ponteira do robô percorrendo a trajetória programada



Fonte: Elaborado pela autora, 2022

Figura 21. Trajetória interna e externa da ponteira



Fonte: Elaborado pela autora, 2022

Após a definição da trajetória com a ponteira utilizou-se somente o suporte com a espátula conectado ao elemento terminal para o espalhamento do selante. Então em uma aplicação efetiva com a pistola adequada, basta ajustar os pontos da trajetória com o elemento terminal. A discretização dos pontos da trajetória interna pode ser encontrado no APÊNDICE B e a da externa no APÊNDICE C, APÊNDICE D e APÊNDICE E

Foi então iniciado os testes para validação do espalhamento do selante com a espátula de alumínio. Essa não apresentou um bom resultado, visto que ela apenas empurrava o selante e não espalhava, como pode ser visto na Figura 22. Nota-se também

os pontos em que a trajetória de espalhamento não está precisa, onde o selante invade a área dos furos por exemplo.

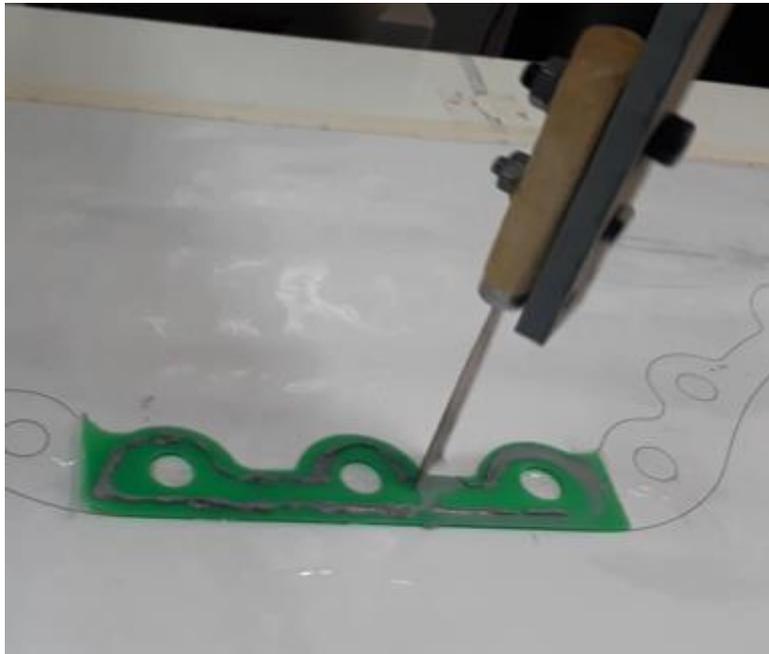
Figura 22. Espátula de metal empurrando o selante durante a trajetória



Fonte: Elaborado pela autora, 2022

Outrossim, foi impresso em 3D uma parte da peça do cortador de base inspirado na Figura 5 para que fosse possível testar o espalhamento da cola, como pode ser visto na Figura 23. Com isso poderia ser feita a validação em uma parte da peça para futuramente replicá-la ao longo de toda área de contorno do cortador de base

Figura 23. Impressão 3D de parte da flange do cortador de base



Fonte: Elaborado pela autora, 2022

Dessa forma, definiu-se que as etapas de trabalho para este projeto seriam:

- Acionamento da válvula pneumática
- Aplicação na trajetória interna
- Aplicação na trajetória externa
- Girar flange do robô para deixar espátula na vertical
- Trajetória da espátula espalhando o Loctite entre os furos.

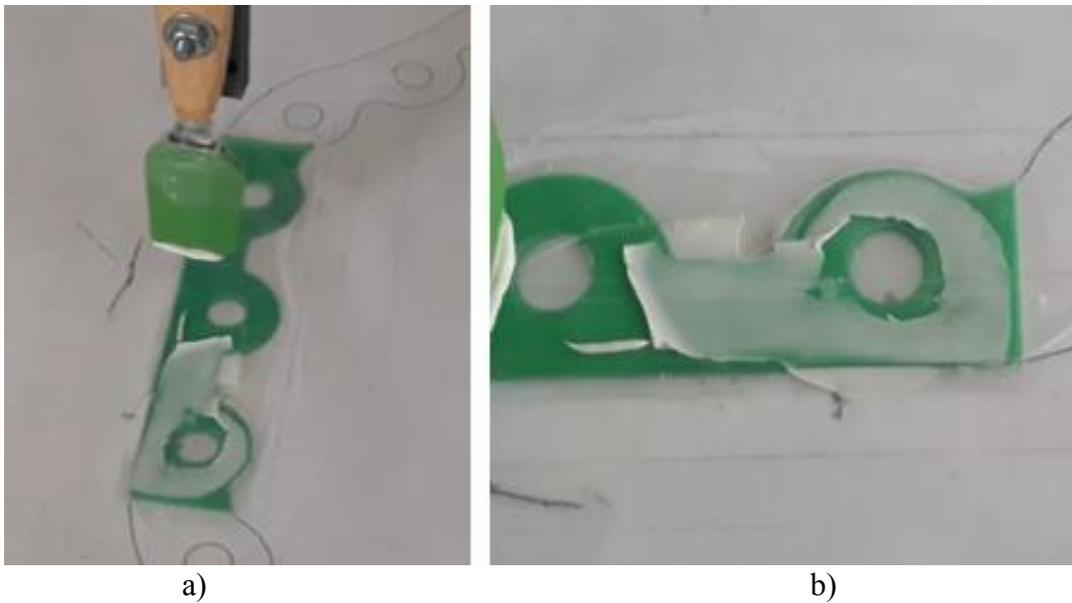
3.7.2. Semana 2

Na segunda semana focou-se em buscar uma solução para que o selante fosse espalhado, e não somente empurrado, além de otimizar a programação para que a trajetória para espalhar o selante nos furos da flange do cortador de base, de modo que a cola seria espalhada sem deixar que o Loctite entrasse dentro dos furos, o que, como explicado na seção 3.2.1., gera problemas na peça e por isso a necessidade da automação.

A princípio os testes foram realizados com um selante de mais fácil aplicação, e futuramente foi validado com o selante Loctite 5699 que é utilizado na fábrica.

Por causa da dificuldade de espalhamento da espátula de metal, tentou-se uma de silicone devido a sua flexibilidade. Essa apresentou resultados muito melhores quando comparada a sua contraparte (Figura 24), porém o cabo de plástico da espátula de silicone quebrou, então foi necessário apoiar a parte de silicone no suporte de madeira da espátula de metal.

Figura 24. (a) Espátula de silicone espalhando o selante durante sua trajetória (b) Resultado do espalhamento de selante com a espátula de silicone



Fonte: Elaborado pela autora, 2022

Quando a espátula precisava mudar de sentido, essa empurrava o selante até que a ponta deformasse e virasse (Figura 25), então em alguns pontos é necessário subir um pouco a espátula, girá-la no ar e abaixá-la novamente para que fique no mesmo sentido.

Figura 25. Espátula deformada durante a trajetória



Fonte: Elaborado pela autora, 2022

A trajetória ainda não está totalmente ideal, mas foi possível aplicar melhorias no

processo utilizando de base a experiência adquirida da semana anterior (Seção 3.2.1). É possível notar também que no ponto em que a espátula muda o sentido da deformação para espalhar o selante, é produzido o mesmo efeito que a espátula de metal. Ou seja, o selante é empurrado e não espalhado. Foi necessário então reprogramar o movimento para que a espátula subisse, girasse no ar e prosseguisse espalhando o selante no mesmo sentido.

Em alguns pontos a espátula é maior do que o contorno da peça, por causa disso sai um pouco de excesso de selante na mesa (Figura 26). Entretanto, isso é irrelevante pois na flange real, quando está no suporte, não possui nada que encoste nesses pontos, então o excesso de selante não seria espalhado.

Figura 26. Excesso de selante espalhado na mesa do gabarito

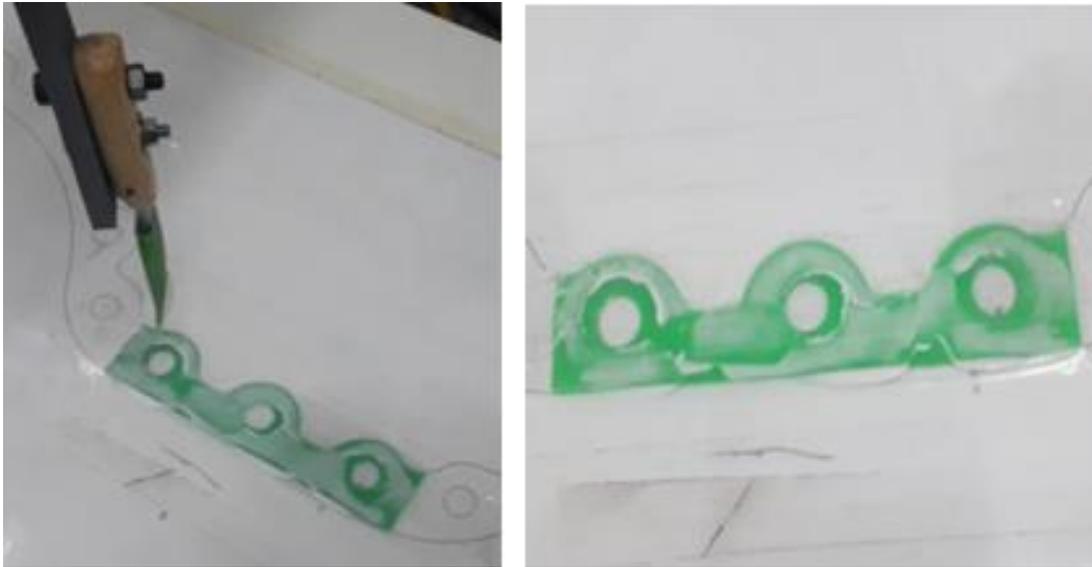


Fonte: Elaborado pela autora, 2022

3.7.3. Semana 3

Foram repetidos até encontrar um resultado satisfatório (Figura 27), os códigos finais podem ser visualizados no APÊNDICE A.

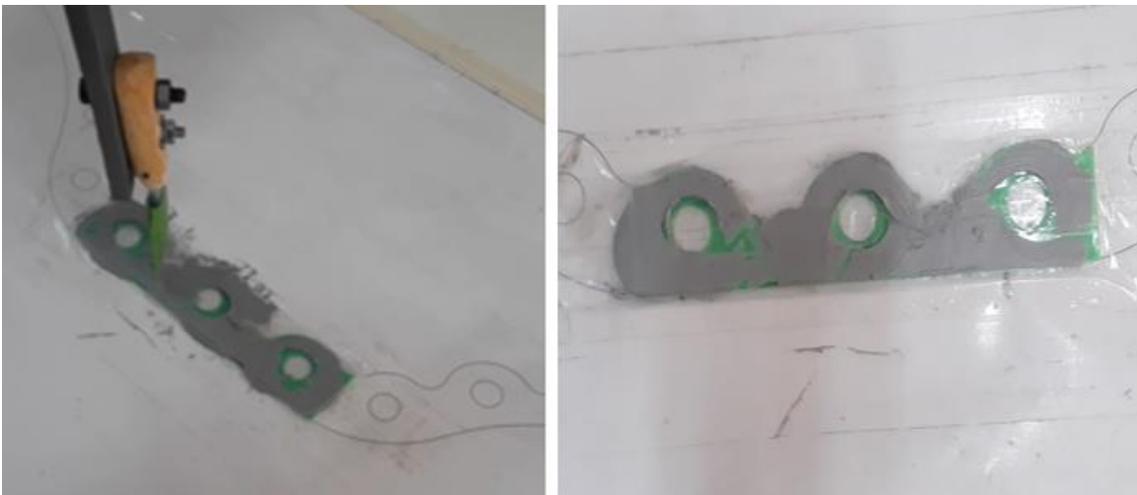
Figura 27. Teste refeito com melhoria de trajetória com selante alternativo



Fonte: Elaborado pela autora, 2022

Iniciou-se os testes com o selante Loctite 5699 utilizado na fábrica, depois de acertar alguns pontos da trajetória, o espalhamento ficou adequado e foi repetido a mesma trajetória algumas vezes obtendo resultados satisfatórios (Figura 28). A discretização da trajetória da espátula pode ser encontrada no APÊNDICE F.

Figura 28. Teste refeito com melhoria de trajetória com selante real



Fonte: Elaborado pela autora, 2022

Um outro ponto de melhoria que foi constatado durante os testes foi o excesso de cola que fica na espátula (Figura 29). Além disso, é importante salientar que o operador

no processo manual atualmente também fica com a luva com excesso de cola e as joga fora quase diariamente.

Figura 29. Espátula de silicone com excesso de cola



Fonte: Elaborada pela autora, 2022

3.8. Análise de viabilidade

O processo de aplicação de selante da peça estudada, descrita na seção 3.2.1, é um processo manual realizado por uma pessoa por turno, com claros sinais de defasagem em relação às tecnologias disponíveis. Em um segmento de mercado que sofre com os efeitos da sazonalidade e com alta demanda vinculada ao período de colheita, é imprescindível que se possua o menor tempo de setup possível. Além disso, também foi percebido que o operador dita o ritmo de produção, o que acaba impactando diretamente no custo do produto. Por fim, ainda tem-se o excesso de selante aplicado, tendo em vista que é um processo manual, o que pode influenciar diretamente na boa fixação da peça por causa da grande quantidade deste produto nos furos.

Para validação do sistema desenvolvido, executaram-se testes experimentais em laboratório, para avaliar a funcionalidade da integração dos componentes, sua praticidade, eficiência e consequente aplicabilidade. O processo manual atualmente leva 6,126 minutos em média para ser finalizado, tempo este computado sistematicamente pelo software da empresa. Já que este trabalho fez o experimento sobre três furos, estendendo esse processo para toda peça que possui 36 furos, têm-se para trajetória interna uma média de 40 segundos, para externa 50 segundos, para o espalhamento 3,37 minutos, totalizando 4,87 minutos, o que implica em uma redução de aproximadamente 20 % do tempo

demandado para execução da tarefa.

4. CONCLUSÃO

As empresas pretendem aumentar cada vez mais a sua produtividade, através da redução dos tempos de ciclo e dos períodos de parada de produção. Este aumento de produtividade aumenta a capacidade de resposta para com os clientes e reduz custos associados à produção.

Assim, o principal objetivo deste trabalho recai sobre a melhoria através da automatização/robotização de um processo produtivo de uma empresa de máquinas agrícolas, pretendendo um aumento da produtividade em partes por colaborador, uma redução da mão-de-obra humana e, acima de tudo, que o projeto seja viável a nível financeiro.

Graças aos robôs os processos de manufatura podem ser realizados em um menor período de tempo e com maior qualidade quando comparada com o processo manual. Isso ocorre porque os robôs possuem um design versátil, capaz de manipular ferramentas e realizar movimentos com alta precisão, além de contar com avançados softwares que interligam as etapas do processo.

Assim, a substituição do método de manual aponta para uma maior qualidade e uniformização do processo de aplicação de selante, bem como uma agilidade de resposta às necessidades de mercado, visto que não será necessária a interferência de mão-de-obra humana. Entretanto, mesmo que os testes realizados apresentaram resultados satisfatórios, e que os ganhos desta natureza tendem a gerar tomadas de decisão mais seguras, é de suma importância ressaltar que os resultados sejam validados de forma gradativa, pois será necessário o acompanhamento minucioso de todo o processo de implementação deste novo conceito dentro da empresa. Também será necessário treinamento de alto nível e desenvolvimento dos colaboradores envolvidos.

Entretanto, embora a colagem e a distribuição automatizadas normalmente aumentem a precisão e uniformizem a distribuição da cola ou da vedação, também existem alguns desafios para a tecnologia, já que robôs sozinhos não podem realizar o controle de qualidade. Como sugestão para trabalhos futuros, fica o desenvolvimento de um controle de qualidade automatizado para o sistema desenvolvido e ampliação do processo de três furos para 36, para que se possa fazer a estimativa real do tempo demandado pela máquina, assim como uma análise financeira de implementação do robô quando comparada a mão-de-obra humana.

REFERÊNCIAS

- Adhesive Bonding. Scheugenpflug Dispensing, 2022. Disponível em: <<https://www.scheugenpflug-dispensing.com/en/applications/dispensing-potting/adhesive-bonding>>. Acesso em: 02 abr. 2022
- Automated Adhesive Dispensing Systems - Types & Applications. How to robot, 2020. Disponível em: < <https://www.howtrobot.com/expert-insight/automated-adhesive-dispensing-systems-types-applications>>. Acesso em: 10 abr. 2022
- BARCELLOS, C. R. Bombas de deslocamento positivo. Artigo online, 2012. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/barcecr002/bombas-de-deslocamento-positivo>>. Acesso em: 24 mar. 2022
- BARRIENTOS, A. *et al.* Fundamentos de Robótica. 1ª ed. Mcgraw-Hill, Madrid, 1997.
- BRAUNBECK, O. A.; MAGALHÃES, P. S. G. Colheita de cana-de açúcar com auxílio mecânico. 2006. Disponível em: < https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Auxilio_Mecanico_Colheita_Cana_000fxew1kab02wyiv80soht9h8k862sp.pdf>. Acesso em: 20. Jan. 2022.
- BRAUNBECK, O. A.; MAGALHÃES, P. S. G. Seguimento do perfil do solo no corte e/ou levantamento de produtos agrícolas rasteiros. Máquinas Agrícolas, Rev. bras. eng. agríc. ambient. 6 (1), Abr 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662002000100027>
- CHERUBIN, N. Revista RPAnews -Cana & Indústria, 2018. Disponível em:<<https://revistarpanews.com.br/ed/56-edicao2015/edicao-170/736-especial-colhedoras-de-cana>>. Acesso em: 10 fev. 2018.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira: Cana-de-açúcar, v.7 –Safra 2020/21–Quarto Levantamento, Brasília, p. 1-62, maio. 2021.
- CRAIG, J. J. Introduction to Robotics: Mechanics and Control. [S.l.]: Pearson Education, 2014. ISBN 978-1-292-04004-2.
- DRUDI, F. S. Qualidade do corte do colmo de cana-de-açúcar em função da rotação

e da velocidade de deslocamentos dos discos em condições controladas / Fernanda Scaranello Drudi. --Botucatu, 202159p. : il., tabs.Tese (doutorado) -Universidade Estadual Paulista (Unesp),Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2021.

FURLANI NETO, V.L. Colhedora de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) avaliação em canaviais com queima e sem queima prévia.1995. 110 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) –Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

JOHN DEERE. CH570 e CH670: Colhedoras de Cana. Edição Sul Americana: Deere & Company, 2015. 238 p.

_____. Colhedora de cana John Deere 3510: Manual do operador. 6. ed. Edição Sul Americana: Deere & Company, 2006. 20 p.

_____. Colhedora de cana John Deere 3520 & 3522: Corte de Base. Edição Sul Americana: Deere & Company, 2010. 25 p.

_____. Colhedora de cana John Deere 3520 & 3522: Introdução e Segurança. Edição Sul Americana: Deere & Company, 2010. 25 p. Disponível em: <<https://slideplayer.com.br/slide/7312195/>>. Acesso em: 20 jun. 2022

_____. Treinamento Pós-vendas John Deere Brasil – Todos os direitos reservados. 2008.

JD Corte de Base Completo. FABLEV. Disponível em: <<https://www.fablev.com.br/jd-corte-de-base-completo~158~35~10~colhedorascanacorte-de-base>>. Acesso em: 14 jun. 2022

GONÇALVES, R. S. Apostila de práticas de laboratório de Robótica. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, p. 41. 2013.

Henkel 97042 LOCTITE® 50 mL Dual Cartridge Pneumatic Applicator 1:1 and 2:1 Mix Ratios. Skygeek, 2022. Disponível em: <<https://skygeek.com/henkel-loctite-97042-manual-dispensing-applicator-50-ml-dual-cartridge.html>>. Acesso em: 05 mar. 2022

HP6 Manipulator Manual. YASKAWA Electric Manufacturing. West Carrollton, OH, p. 82. 2007.

ISO 9283 (1998). Manipulating Industrial Robots -Performance Criteria and Related

Test Methods, Geneva.

MACHADO, C. S., ANDRADE, L. H. S., GUIMARÃES, M. A., VASCONCELOS, S. J. S., LÔBO, V. R. Desenvolvimento de um manipulador robótico impresso em 3d para estudos de robótica. Ciências exatas e tecnológicas, Alagoas, v. 5, n.1, p. 21-28, Novembro 2018.

MAGALHÃES, P.S.G.; BALDO, R.F.G.; CERRI, D.G.P. Sistema desincronismo entre a colhedora de cana-de-açúcar e o veículo de transbordo. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.28, n.2, p.274-282, abr./jun. 2008.

MAGALHÃES, P.S.G.; BRAUNBECK, O.A. Colheita de cana-de-açúcar: atualidades e perspectivas In: BALBUENA, R H.; BENEZ, S.H.; JORAJÚRIA, D. Ingeniería rural y mecanización agrária emel ámbito latinoamericano.La Plata: Editora de la Universidad Nacional de La Plata, 1998. v.1, p.262-273

MELLO, R. C.; HARRIS, H. Angled and serrated blades reduce damage, force and energy for a harvester basecutter. Proceedings of Australian Society of Sugar Cane Technologists, Mackay, n. 123. p. 212-218, 2011.

MENDES, L. F. da S. Aplicações Industriais de Rôbos. Disponível em: <https://ufsj.edu.br/portal2repositorio/File/orcv/materialdeestudo_roboticaindustrial.pdf> Acesso em: 12 jun. 2022.

MORAES, Cicero Couto de; CASTRUCCI, Plinio de Lauro. Engenharia de automação industrial. Rio de Janeiro:EditoraLtc, 2001. 295 p.

NARIMOTO, L. R. O trabalho dos operadores de máquinas colhedoras de cana-de-açúcar: uma abordagem ergonômica.2012. 186f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade de São Carlos, São Carlos, 2012.

NEVES, J.L.M. et al. Avaliação de perdas invisíveis na colheita mecanizada em dois fluxos de massa de cana-de-açúcar. Engenharia Agrícola, v.26, n.3, p.787-794, 2006.

NEVES J. L. M. Avaliação de perdas invisíveis em colhedoras de cana-de-açúcar picada e alternativas para sua redução. 2003. 223 f. Tese (Doutorado) Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

NEVES, M. F, Kalakari R. B. A dimensão do setor sucroenergético: mapeamento e quantificação da safra 2013/2014. In: Belardo GC, Cassia MT, Silva RP

(Eds.) Processos agrícolas e mecanização da cana-de-açúcar. Jaboticabal: SBEA, p. 35-71, 2015.

PASSARELLI, Brasilina. Teoria das múltiplas inteligências aliada à multimídia na educação: novos rumos para o conhecimento. São Paulo: Escola do Futuro, USP, 2003.

PEVIDE, K. De O. Controle e estabilidade em um sistema automático de aplicação de selante anaeróbico. Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2018.

ROSÁRIO, João Maurício. Princípios de mecatrônica. São Paulo: Prentice Hall, 2005.

SANTOS, G. R. et al. Apontamentos e Diretrizes para Políticas Públicas. In: GESMAR ROSA DOS SANTOS (Org.). Quarenta anos de etanolem larga escala no Brasil : desafios, crises e perspectivas. Brasília: Ipea, 2016. p. 283–303.

SANTOS, V.M.F. Robótica Industrial. Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade de Aveiro, 2003-2004.

SICILIANO, B. et al. Robotics: Modelling, Planning and Control. [S.l.]: Springer, 2009. ISBN 978-1-84628-641-4.

SILVA, R. P. et al. Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar. Engenharia Agrícola, v. 28, n. 2, p. 292-304, 2008.

SCHMIDT JUNIOR, J. C. Avaliação de desempenho efetivo de colhedora de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) / João Conrado Schmidt Junior. - - Piracicaba, 2011. 108 p. : il.

SOUZA, M. R. S. B. De. Validação do sensor Leap Motion Controller para o desenvolvimento de um jogo sério para a reabilitação virtual do antebraço humano. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2019.

STRINGHETTA, L. M. F. Aplicação do TRF em manutenções preventivas no conjunto rodante de uma colhedora de cana-de-açúcar no setor agrícola de uma usina sucroalcooleira/ Lincon Matheus Ferreira Stringhetta. –Araçatuba, 2019, 89f. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Mecânica –Centro Universitário Toledo.

VERTULO, R. Robôs de classe. <<http://labdeeletronica.com.br/robos-de-classe/>>. Acessado em 07 Jun. 2022.

VIEIRA, A. S. Desenvolvimento de Aplicativo para Monitoramento e Comando de Braço Robótico. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, p. 52. 2016.

VOLTARELLI, M.A.; SILVA, R.P.; CASSIA, M.A.; DALOIA, J.G.M.; PAIXÃO, C.S.S. Qualidade do corte basal de cana-de-açúcar efetuado por facas de diferentes angulações e revestimentos. Revista Ciência Agronômica, v. 48, n. 3, p. 438-447, 2017.

VOLTARELLI, M.A.; SILVA, R.P.; TAVARES, T. De O., PAIXÃO, C. S. S. Colheita de cana-de-açúcar. Material didático, Laboratório de Máquinas e Mecanização, UNESP, Jaboticabal, 2015.

APÊNDICE A – Códigos

1. Trajetória interna

0000 NOP
0001 001 MOVJ VJ=50.00
0002 002 MOVL V=100.0
0003 003 MOVL V=100.0
0004 004 MOVL V=100.0
0005 005 MOVS V=100.0
0006 006 MOVS V=100.0
0007 007 MOVS V=100.0
0008 008 MOVC V=100.0
0009 009 MOVC V=100.0
0010 0010 MOVC V=100.0
0011 011 MOVC V=100.0
0012 012 MOVL V=100.0
0013 013 MOVS V=100.0
0014 014 MOVS V=100.0
0015 015 MOVS V=100.0
0016 016 MOVL V=100.0
0017 017 MOVC V=100.0
0018 018 MOVC V=100.0
0019 019 MOVC V=100.0
0020 020 MOVS V=100.0
0021 021 MOVS V=100.0
0022 022 MOVS V=100.0
0023 023 MOVL V=100.0
0024 024 MOVJ V=75.0
0025 END

2. Trajetória externa

0000 NOP
0001 001 MOVJ VJ=100.00
0002 002 MOVL V=100.0
0003 003 MOVL V=100.0
0004 004 MOVS V=100.0
0005 005 MOVS V=100.0
0006 006 MOVS V=100.0
0007 007 MOVS V=100.0
0008 008 MOVS V=100.0
0009 009 MOVS V=100.0
0010 0010 MOVS V=100.0
0011 011 MOVC V=100.0
0012 012 MOVC V=100.0
0013 013 MOVC V=100.0
0014 014 MOVS V=100.0
0015 015 MOVS V=100.0

0016 016 MOVS V=100.0
0017 017 MOVC V=100.0
0018 018 MOVC V=100.0
0019 019 MOVC V=100.0
0020 020 MOVS V=100.0
0021 021 MOVS V=100.0
0022 022 MOVS V=100.0
0023 023 MOVC V=100.0
0024 024 MOVC V=100.0
0025 025 MOVC V=100.0
0026 026 MOVL V =100.0

0027 027 MOVS V=100.0
0028 028 MOVS V=100.0
0029 029 MOVS V=100.0
0030 030 MOVL V=100.0
0031 031 MOVL V=100.0
0032 032 MOVL V=100.0
0033 033 MOVL V=100.0
0034 034 MOVL V=100.0
0035 035 MOVC V=10D.0
0036 036 MOVC V=100.0
0037 037 MOVC V=100.0
0038 038 MOVL V=100.0
0039 039 MOVC V=100.0
0040 040 MOVC V=100.0
0041 041 MOVC V=100.0
0042 042 MOVL V=100.0
0043 043 MOVL V=100.0
0044 044 MOVS V=100.0
0045 045 MOVS V=100.0
0046 046 MOVS V=100.0
0047 047 MOVL V=100.0
0048 048 MOVC V=100.0
0049 049 MOVC V=100.0
0050 050 MOVC V=100.0
0051 051 MOVL V=100.0
0052 052 MOVC V=100 0
0053 053 MOVC V=100.0
0054 054 MOVC V=100.0
0055 055 MOVL V=100.0
0056 056 MOVC V=100.0
0057 057 MOVC V=100.0
0058 058 MOVC V=100.0
0059 059 MOVL V=100.0
0060 060 MOVC V=100.0
0061 061 MOVC V=100.0
0062 062 MOVC V=100.0
0063 063 MOVL V=100.0
0064 064 MOVC V=100.0

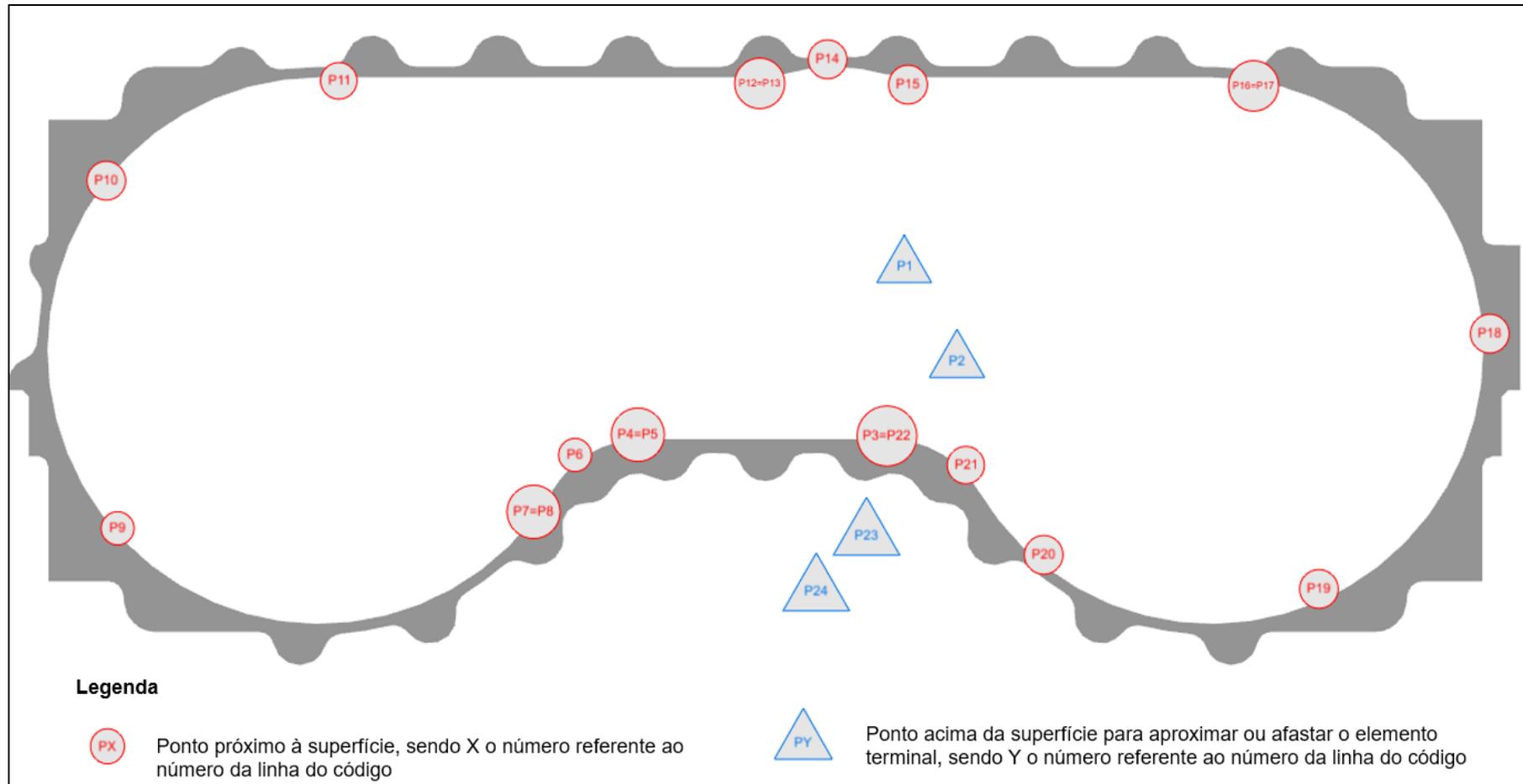
0065 065 MOVC V=100.0
0066 066 MOVC V=100.0
0067 067 MOVL V=100.0
006B 068 MOVC V=100.0
0069 069 MOVC V=100.0
0070 070 MOVC V=100.0
0071 071 MOVL V=100.0
0072 072 MOVC V=100.0
0073 073 MOVC V=100.0
0074 074 MOVC V=100.0
0075 075 MOVL V=100.0
0076 076 MOVC V=100.0
0077 077 MOVC V=100.0
0078 078 MOVC V=100.0
0079 079 MOVL V=100.0
0080 080 MOVC V=100.0
0081 081 MOVC V=100.0
0082 082 MOVC V=100.0
0083 083 MOVL V=100.0
0084 0844 MOVS V=100.0
0085 085 MOVS V=100.0
0086 086 MOVS V=100.0
0087 087 MOVL V=100.0
0088 088 MOVL V=100.0
0089 089 MOVL V=100.0
0090 090 MOVL V=100.0
0091 091 MOVL V=100.0
0092 092 MOVL V=100.0
0093 093 MOVL V=100.0
0094 094 MOVL V=100.0
0095 095 MOVL V=100.0
0096 096 MOVL V=100.0
0097 097 MOVS V=100.0
0098 098 MOVS V=100.0
0099 099 MOVS V=100-0
0100 100 MOVL V=100.0
0101 101 MOVC V=100.0
0102 102 MOVC V=100.0
0103 103 MOVC V=100.0
0104 104 MOVS V=100.0
0105 105 MOVS V=100.0
10106 106 MOVS V=100.0
0107 107 MOVC V=100.0
0108 108 MOVC V=100.0
0109 109 MOVC V=100.0
0110 110 MOVS V=100.0
0111 111 MOVS V=100.0
0112 112 MOVS V=100.0
0113 113 MOVC V=100.0
0114 114 MOVC V=100.0

0115 115 MOVC V=100.0
0116 116 MOVS V=100.0
0117 117 MOVS V=100.0
0118 118 MOVS V=100-0
0119 119 MOVS V=100.0
0120 120 MOVS V=100-0
0121 121 MOVS V=100.0
0122 122 MOVC V=100-0
0123 123 MOVC V=100.0
0124 124 MOVC V=100.0
0125 125 MOVL V=100-0
0126 126 MOVC V=100.0
0127 127 MOVC V=100.0
0128 128 MOVC V=100.0
0129 129 MOVL V=100.0
0130 130 MOVC V=100.0
0131 131 MOVC V=100.0
0132 132 MOVC V=100.0
0133 133 MOVJ VJ=50.00
0134 END

3. Trajetória espátula

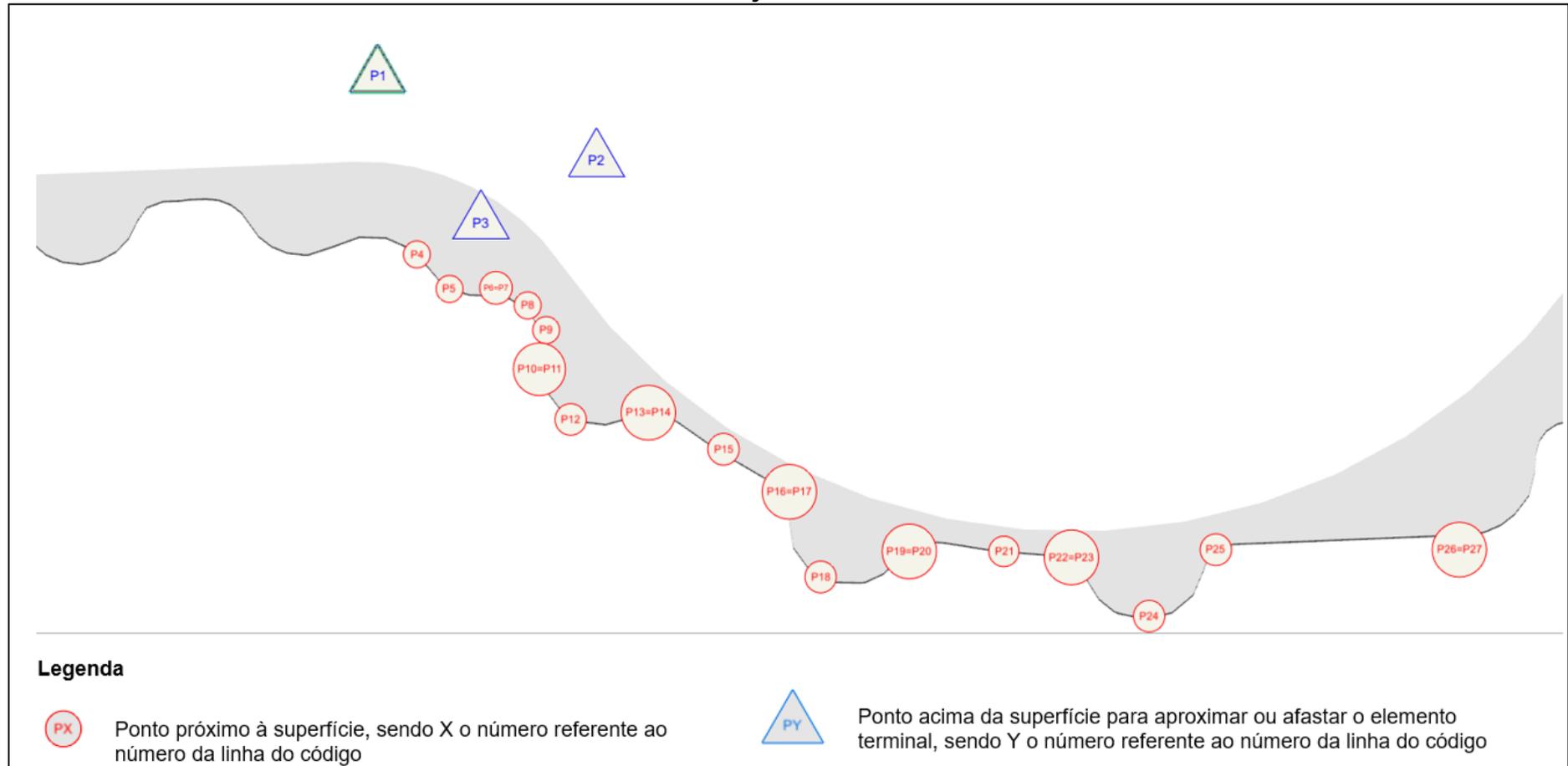
0000 NOP
0001 001 MOVJ VJ=50.00
0002 002 MOVC V=50.0
0003 003 MOVC V=50.0
0004 004 MOVC V=50.0
0005 005 MOVC V=50.0
0006 006 MOVC V=50.0
0007 007 MOVL V=40.0
0008 008 MOVL V=25.0
0009 009 MOVL V=25.0
0010 0010 MOVC V=50.0
0011 011 MOVC V=50.0
0012 012 MOVC V=50.0
0013 013 MOVC V=25.0
0014 014 MOVC V=25.0
0015 015 MOVL V=25.0
0016 016 MOVL V=25.0
0017 017 MOVL V=25.0
0018 018 MOVL V=25.0
0019 019 MOVL V=25.0
0020 020 MOVC V=50.0
0021 021 MOVC V=50.0
0022 022 MOVC V=50.0
0023 023 MOVC V=50.0
0024 024 MOVC V=50.0
0025 025 MOVL V=25.0
0026 END

APÊNDICE B – Trajetória interna



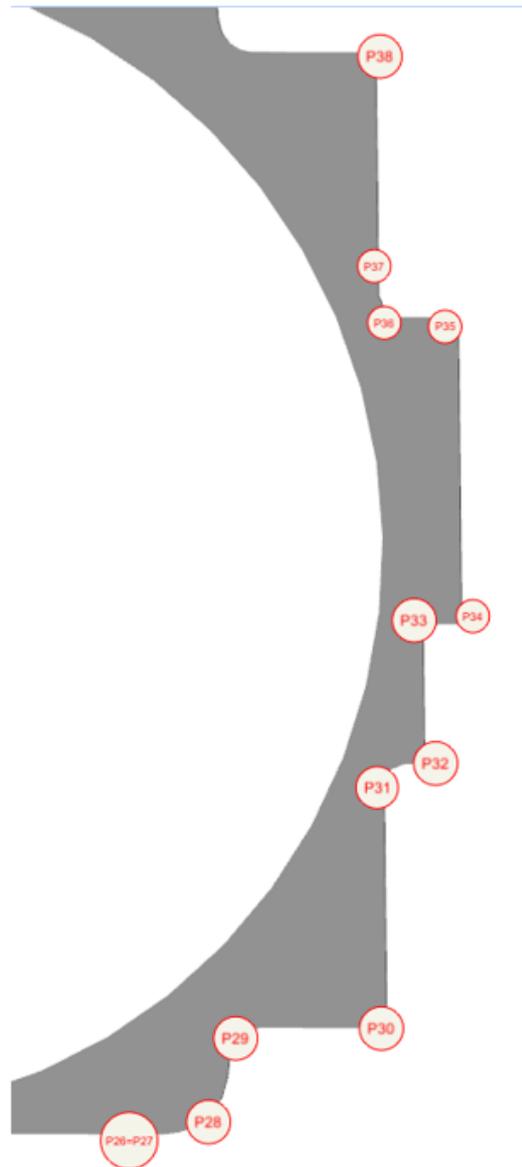
Fonte: Elaborada pela autora, 2022

APÊNDICE C – Trajetória externa da base



Fonte: Elaborada pela autora, 2022

APÊNDICE D – Trajetória externa da lateral



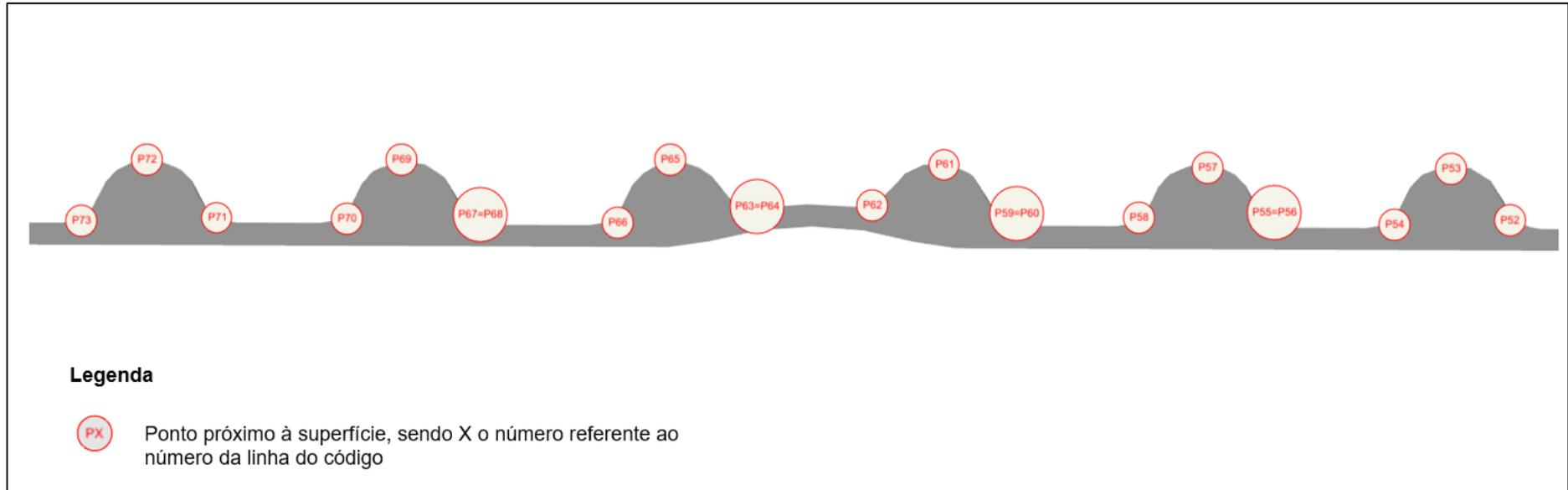
Legenda



Ponto próximo à superfície, sendo X o número referente ao número da linha do código

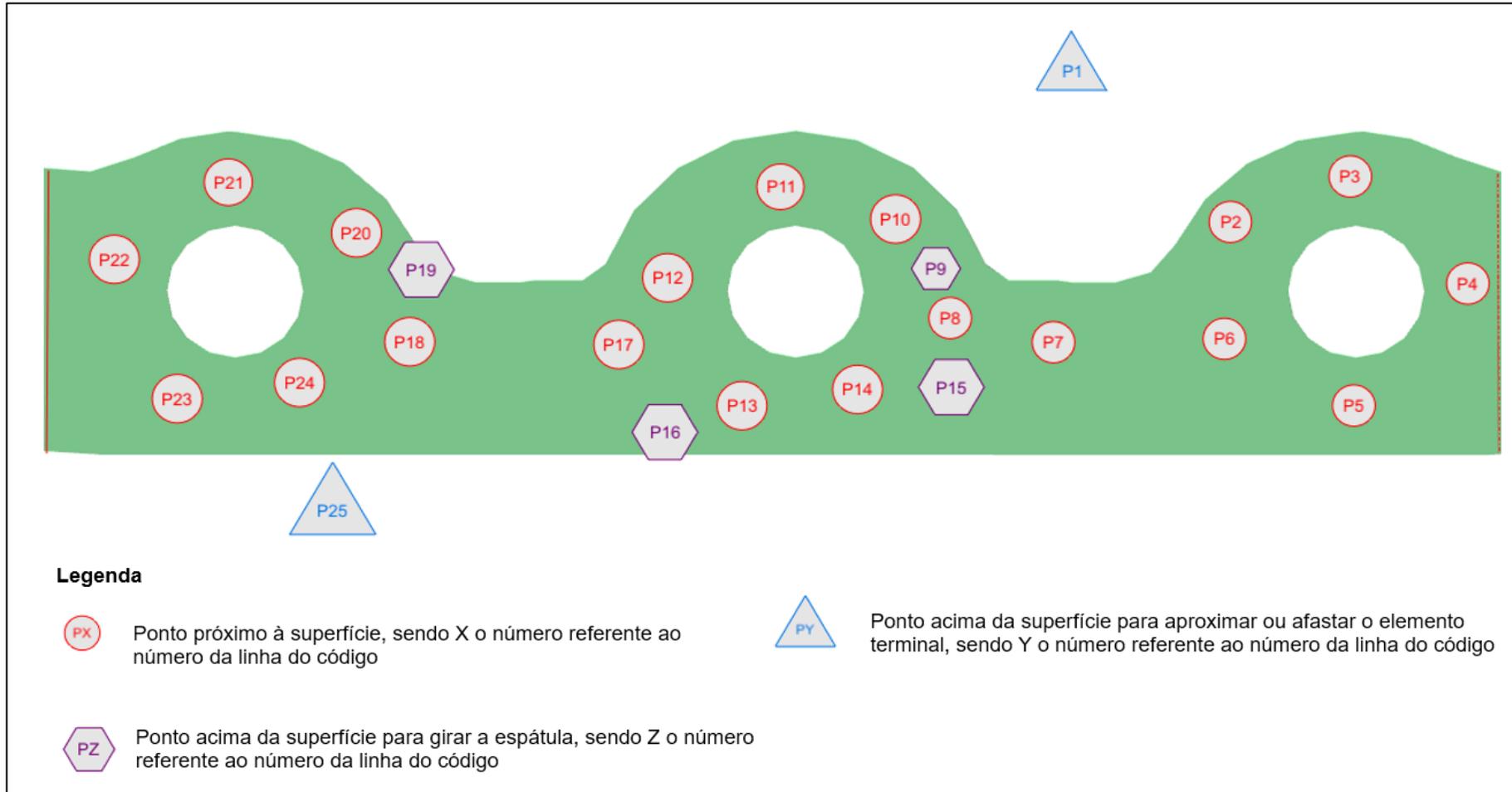
Fonte: Elaborada pela autora, 2022

APÊNDICE E – Trajetória externa do topo



Fonte: Elaborada pela autora, 2022

APÊNDICE F – Trajetória da espátula



Fonte: Elaborada pela autora, 2022