

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS - *CAMPUS* BETIM
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Jonathan Ferreira Martins Prado

**ANÁLISE AUTOMATIZADA DE FACTIBILIDADE DE PONTOS DE SOLDA COM A
API NX OPEN**

Betim
2023

Jonathan Ferreira Martins Prado

**ANÁLISE AUTOMATIZADA DE FACTIBILIDADE DE PONTOS DE SOLDA COM A
API NX OPEN**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora do curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais *Campus* Betim, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. André Fonseca Félix
Coorientador: Prof. Virgil Del Duca Almeida

Betim

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

P896a Prado, Jonathan Ferreira Martins
Análise automatizada de factibilidade de pontos de solda
com aAPI NX Open / Jonathan Ferreira Martins Prado. – 2023.

56 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia
Mecânica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
de Minas Gerais, Câmpus Betim, 2023.

Orientador: Prof. Dr. André Fonseca Félix
Coorientador: Prof. Me. Virgil Del Duca
Almeida

1. Soldagem. 2. Automatização. 3. Indústria. 4. Engenharia
mecânica. I. Prado, Jonathan Ferreira Martins. II. Título.

Jonathan Ferreira Martins Prado

**ANÁLISE AUTOMATIZADA DE FACTIBILIDADE DE PONTOS DE SOLDA COM A
API NX OPEN**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora do curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais *Campus* Betim, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovado em: 06 / 02 / 2024 pela banca examinadora:

DocuSigned by:

André Félix

550F8407CD9E4B7...

Prof.^(a) Dr. André Fonseca Félix (Orientador) – IFMG Campus Betim

DocuSigned by:

Virgil Almeida

A2DB9480CAE44DD...

Prof.^(a) Me. Virgil Del Duca Almeida (Coorientador) – IFMG Campus Betim

DocuSigned by:

Fabio Pires Mourão

E533798ED80E40F...

Prof. Me. Fabio Pires Mourão – IFMG Campus Betim

DocuSigned by:

Cristiano Martins Nunes

CA0CD2403EB8469...

Prof. Me. Cristiano Martins Nunes – IFMG Campus Betim

AGRADECIMENTOS

Deixo meus sinceros agradecimentos aos meus pais, que sempre estiveram do meu lado, sempre me incentivaram a ir em frente, e a toda a dedicação, mesmo quando isso custava a dedicação a eles mesmos. À minha irmã por sempre estar ao meu lado, independentemente da situação, e com sua leveza me manter sempre de pé. Ao meu irmão, por sempre se colocar disposto a me ajudar, e sempre demonstrar que o que eu faço é valioso. À minha avó, que de forma simples me mostrou o lado bom da vida, e que por mais que ela seja difícil as vezes, tudo passa. Aos meus amigos que foram pilares para que eu não desistisse, e que me acompanharam durante essa trajetória. E a mim mesmo por acreditar que tudo valeu a pena.

*“Não espere o futuro mudar tua vida,
porque o futuro será a consequência do
presente.”*

(Racionais MC's)

RESUMO

A indústria, em constante evolução, demanda o desenvolvimento contínuo de novos produtos para garantir a relevância em um ambiente altamente competitivo. Deste modo, reduzir o tempo de desenvolvimento nesse cenário é uma prioridade, e, para isto, a simulação computacional aparece como uma ferramenta estratégica para antecipar o comportamento de novos produtos durante os processos de produção, com o intuito de otimizar recursos. O processo de solda a ponto, especialmente na indústria automotiva, é amplamente adotado devido à sua alta produtividade e baixo custo operacional. Por esse motivo, torna-se um método prevalente na concepção de diversos produtos na área industrial. A antecipação do comportamento do produto nos processos de produção é feita por meio de análises, conhecidas como análises de factibilidade. Contudo, a condução manual da análise de factibilidade para esses pontos de solda por analistas de produto apresenta-se como uma tarefa complexa, sujeita a desafios como lesões e erros humanos. A automatização desse processo surge como uma solução, não apenas para reduzir o tempo de análise, mas também para aumentar a confiabilidade, mitigando potenciais erros humanos. A relevância dos *softwares* 3D, evidenciando o Siemens NX com sua API NX Open, são essenciais para que a automatização da análise de factibilidade de pontos de solda seja realizada, desta forma contribuindo para um desenvolvimento de produto mais otimizado.

Palavras-chave: análise; API; automatização; factibilidade; solda.

ABSTRACT

"The industry, in constant evolution, demands continuous development of new products to ensure relevance in a highly competitive environment. Therefore, reducing development time in this scenario is a priority, and for this, computational simulation emerges as a strategic tool to anticipate the behavior of new products during production processes, aiming to optimize resources. The resistant welding spot process, especially in the automotive industry, is widely adopted due to its high productivity and low operational cost. For this reason, it becomes a prevalent method in the design of various products in the industrial sector. Anticipating the product's behavior in production processes is done through analyses known as feasibility analyses. However, manually conducting the feasibility analysis for these spot welds by product analysts proves to be a complex task, subject to challenges such as injuries and human errors. The automation of this process emerges as a solution, not only to reduce analysis time but also to increase reliability, mitigating potential human errors. The relevance of 3D software, highlighting Siemens NX with its NX Open API, is essential for the automation of spot weld feasibility analysis, thus contributing to a more optimized product development.

Keywords: analysis; API; automation; feasibility; welding.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Processo de soldagem a ponto evidenciando a região de solda entre as chapas.	19
Figura 2 - Pinças de solda em geometrias diferentes	20
Figura 3 - Linha de soldagem por ponto robotizada.....	20
Figura 4 - Macro fases e fases do modelo PRODIP	22
Figura 5 - Fluxograma evidenciando o ciclo de desenvolvimento entre a etapa de projeto conceitual e projeto preliminar.....	23
Figura 6 - Quais os tipos de análise podem ser feitos por um DMU.	25
Figura 7- Figura 7 - Colisão entre pinça e peça inviabilizando a aplicação do ponto de solda	28
Figura 8 - Destaque da distância mínima a ser mantida entre pinça e peças que participam do processo de solda a ponto.....	29
Figura 9 - Principais símbolos da notação BPMN.....	31
Figura 10 - União da geometria de <i>underbody</i> com a geometria de teto, obtendo uma carroceria veicular completa	33
Figura 11 - Região de aplicação dos pontos de solda na geometria de união do <i>underbody</i> com o teto evidenciada em vermelho	33
Figura 12 - Modelo virtual do produto que será utilizado	34
Figura 13 - Decomposição da geometria do modelo virtual do produto.....	35
Figura 14 - Distribuição dos pontos de solda.....	37
Figura 15 - Componentes base da geometria de uma pinça de solda a ponto	38
Figura 16 - Modelo virtual da pinça que será utilizado na análise.....	38
Figura 17 - Distância entre as extremidades dos eletrodos.	39
Figura 18 - Condição inicial do processo de análise no ambiente de modelagem do Siemens NX.....	40
Figura 19 - Processo análise de factibilidade de pontos solda, com a etapa 1.....	41
Figura 20 - Processo análise de factibilidade de pontos solda, com as etapas: 1, 2 e 3.....	41
Figura 21 - Ponto não viável comparado a ponto viável.	42
Figura 22 - Processo análise de factibilidade de pontos solda, com as etapas: 1, 2, 3 e 4.....	42
Figura 23 - Processo análise de factibilidade de pontos solda completo.....	43

Figura 24 - Sequência de passos para acessar a ferramenta Journaling e suas opções.	45
Figura 25 - Processo para automatização de processos de análise no NX.....	47
Figura 26 - Pseudocódigo da integração dos blocos.	49
Figura 27 - Utilizando a janela Journal Manager para selecionar e executar o código.	50
Figura 28 - Demonstração em capturas de tela da análise sendo realizada	51
Figura 29 - Ambiente do NX após a análise realizada	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coordenadas e identificação dos pontos de solda no modelo virtual do produto.....	36
Tabela 2 - Representação fictícia da base de dados gerada pela análise	48
Tabela 3 - Relatório da análise feita	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RSW - Resistant Weld Spot

API - Application Programming Interface

PDP - Processos de Desenvolvimento de Produtos

PRODIP - Processo de Desenvolvimento de Produtos Industriais

DMU - Digital Mockup

CAD - Computer Aided Design

RPA - Robotic Process Automation

BPMN - Business Process Modeling Notation

VB – Visual Basic

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1	Como funciona o processo de solda a ponto	18
2.2	A utilização de modelos de processo de desenvolvimento de produtos 21	
2.3	A utilização da simulação para atestar a viabilidade de produtos	24
2.4	Utilizando <i>softwares</i> 3D para simular	25
2.5	Os parâmetros de viabilidade do processo de solda a ponto	27
2.6	A automatização do processo de análise	30
2.6.1	Motivação para automatizar a um processo	30
2.6.2	Modelagem do processo de análise	30
3	METODOLOGIA.....	32
3.1	Criação dos objetos para simulação	32
3.1.1	Modelo virtual do produto	32
3.1.2	Modelo virtual da pinça de solda	37
3.1.3	Aplicação dos modelos virtuais.....	39
3.2	Definição do processo de análise de factibilidade de pontos de solda 39	
3.3	Como utilizar a API NX Open para automatizar processos	44
3.4	PROCESSO PARA AUTOMATIZAÇÃO DE ANÁLISES NO AMBIENTE DO NX	45
3.5	CRIAÇÃO DO CÓDIGO QUE REALIZA A AUTOMATIZAÇÃO	47
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
5	CONCLUSÃO.....	54
	REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento constante de novos produtos na indústria é fruto da necessidade das empresas se manterem relevantes em um mercado cada vez mais competitivo. Alinhado a essa ideia, o tempo que essas empresas levam para desenvolver seus novos produtos é um fator chave para se manter no topo do mercado. Deste modo, avaliar antecipadamente o comportamento destes novos produtos nas linhas de produção, se torna um fator indispensável na economia de tempo e recursos. Identificar os impactos de um produto novo em um processo, utilizando modelos físicos é uma tarefa complexa que gera impactos financeiros e de tempo ao desenvolvimento. A utilização de ferramentas e conceitos de simulação computacional é, nestes casos, um recurso valioso para as empresas.

“(...) a simulação fornece um meio para validar se as melhores decisões estão sendo tomadas e evitar as caras técnicas de tentativa e erro que são demoradas e de natureza interrompedoras.” (HARREL et al., 2000). Simular virtualmente o comportamento dos produtos nos processos de industrialização reduz custos e tempo de desenvolvimento. Um dos processos de industrialização mais utilizados para união de chapas metálicas é o processo de solda a ponto. Como cita Avila et al. (2017), o processo de soldagem a ponto por resistência elétrica é utilizado, principalmente, na indústria automotiva. A sua alta capacidade de produção, fácil automatização, fácil manuseio e custo operacional baixo, colocam essa técnica em evidência se comparada a outras técnicas de soldagem.

As análises que antecipam o comportamento do produto nos processos de industrialização, atestando se eles são tecnicamente viáveis ou não, são chamadas, comumente, na área industrial, de análise de factibilidade. As análises de factibilidade são análises que antecedem a manufatura do produto, a fim de atestar a viabilidade técnica. Uma análise de factibilidade de solda a ponto, dentro dos setores automotivos, é normalmente realizada manualmente por analistas de produto. Conforme cita Tavasolizadeh et al. (2011), os veículos mais modernos somam em sua construção entre 2000 e 5000 pontos de solda aplicados. A grande quantidade de pontos torna esta análise repetitiva.

Para garantir a conformidade de uma análise, é necessário ter um processo bem definido de como ela deve acontecer. Apoiado nesses conceitos, as análises de factibilidade de pontos de solda se mostram como processos repetitivos dentro do

desenvolvimento de um novo produto, pois cada análise sempre irá seguir os mesmos passos por repetidas vezes.

Segundo Silva (2022), existem desafios associados à utilização de mão de obra humana em processos repetitivos, incluindo possíveis erros, riscos de lesões por esforço repetitivo e dependência do fluxo de trabalho. A interdependência entre tarefas primárias e secundárias torna-se um ponto frágil na cadeia de entrega quando envolve fatores humanos. Dessa forma, o autor sugere adotar soluções para superar esses problemas.

Corroborando a ideia de Silva (2022), a automatização da análise de factibilidade de pontos de solda é uma estratégia técnica que contorna os pontos citados. Além disso, adicionalmente reduz o tempo de análise, bem como aumenta a confiabilidade da análise, retirando o fator erro humano do processo. Deste modo, um grande aliado nas simulações de factibilidade são os *softwares* 3D, onde são utilizados modelos que descrevem com certa fidelidade o comportamento de objetos em um ambiente virtual. Alguns *softwares* 3D, como cita Silva (2022): “(...) disponibilizam uma arquitetura de programação aberta, ou seja, é possível acessar as funções existentes dentro do *software* utilizando aplicativos ou programas em diversas linguagens de programação.”

As interfaces de programação de aplicações do inglês *Application Programming Interface* (API) são mecanismos que realizam o que foi descrito por Silva (2022), a fim de acessar funções existentes em um *software* via aplicativos ou linguagens de programação. Um destes *softwares* 3D que disponibiliza uma API aberta a usuários é o *Siemens NX*. A API deste *software* é chamada de *NX Open*. A utilização da API *NX Open* na automatização do processo de análise de factibilidade de pontos de solda, diante do exposto, será relevante neste contexto.

A automatização da análise de factibilidade de pontos de solda não apenas auxilia em limitações associadas a métodos manuais, mas também se alinha com a busca por eficiência e confiabilidade. Assim, este trabalho tem como objetivo geral realizar a automatização de uma análise de factibilidade de pontos de solda, utilizando a API *NX Open*, a fim de atestar a viabilidade técnica do produto analisado.

Para atingir esse objetivo, foram delineados os seguintes objetivos específicos: desenvolver um processo de análise de factibilidade de pontos de solda, desenvolver um processo para automatizar análises no ambiente do NX, criar um código que interage com a API *NX Open* para realizar a automatização da análise e

gerar um relatório da análise automatizada que contenha informações sobre a viabilidade técnica dos pontos de solda analisados.

Dessa forma, o foco do presente trabalho é compreender os conceitos que fundamentam uma análise de factibilidade de pontos de solda, entender o processo dessa análise e explorar a possibilidade de automatizá-la por meio da aplicação de métodos definidos de automatização e da utilização de ferramentas que auxiliam esse processo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Como funciona o processo de solda a ponto

“A soldagem é um processo permanente de união entre dois materiais metálicos, que ocorre através de uma fusão localizada, resultado de uma apropriada combinação de temperatura, pressão e condições das peças a serem soldadas.” (“Recommended Practices for Resistance Welding”, [s.d.]

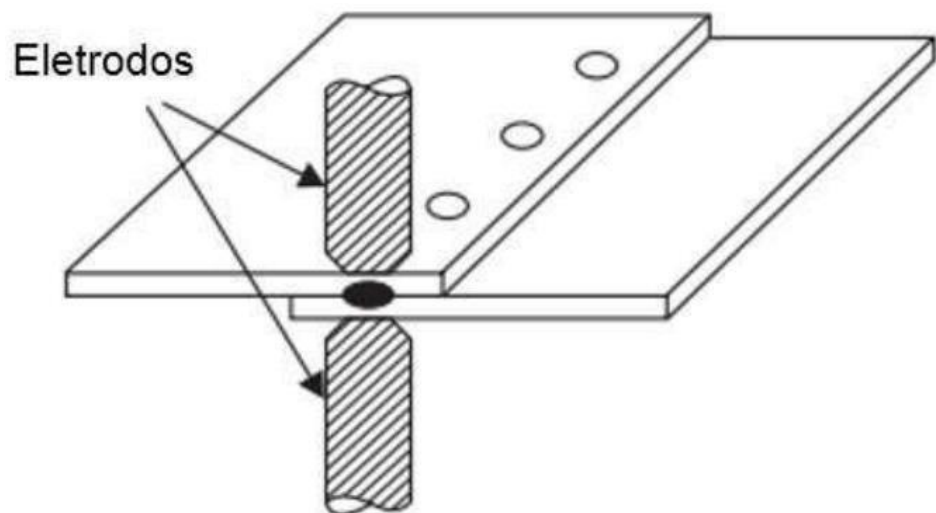
Batista (2020) afirma que os processos de soldagem devem garantir a não interrupção entre os materiais unidos, bem como suas características mecânicas e químicas. O tipo de material de base e suas características metalúrgicas; tipo de junta, sua localização e posição de soldagem; custo de produção; tamanho da estrutura; desempenho desejado; acessibilidade da junta e a precisão de montagem requerida são fatores que impactam na escolha do processo de soldagem. Ainda de acordo com Batista (2020), nos dias de hoje, a tecnologia de soldagem é utilizada em aplicações robustas, como nos vasos de pressão para usinas de energia nuclear e estrutura de carroceria para automóveis. Atualmente, existem variados processos de solda, como: solda por fusão, resistência elétrica, por deformação.

De acordo com Mondenesi (2011), o grupo de processos por fusão pode ser separado em subgrupos, por exemplo, de acordo com o tipo de fonte de energia usada para fundir as peças. Dentre estes, os processos de soldagem a arco (fonte de energia: arco elétrico) são os mais utilizados nos setores industriais na atualidade. E no grupo de soldagem por pressão (ou por deformação) inclui-se os processos de soldagem por ultrassom, por fricção, por forjamento, por resistência elétrica, por difusão, entre outros. Destacando-se a técnica de solda por resistência elétrica, que é dentro dos setores automotivos, o mais utilizado.

“A soldagem por resistência elétrica do inglês *Resistant Weld Spot* (RSW) abrange um conjunto de processos que tem como resultado a união das superfícies de contato pela energia via calor obtido por efeito *Joule* e com a aplicação de pressão.” (BATISTA, 2020). Esse tipo de soldagem pode ser realizado por alguns processos, dentre eles, os mais utilizados na indústria atualmente são: soldagem a ponto, soldagem por costura, soldagem por projeção e soldagem a topo. Neste trabalho, o tipo de processo de soldagem por resistência elétrica abordado é o processo de solda a ponto.

Marques et al. (2015), descreveram que na soldagem por pontos, a solda é obtida na região das peças colocadas entre um par de eletrodos, e várias soldas podem ser obtidas através de uma aplicação sequencial. Os eletrodos em contato com as chapas fecham um circuito elétrico, o que causa a passagem de corrente nas chapas no ponto de contato, fazendo com que o efeito *Joule* aconteça, emitindo calor e causando a fusão das chapas.

Figura 1 - Processo de soldagem a ponto evidenciando a região de solda entre as chapas.



Fonte: Batista (2020)

O equipamento básico utilizado no processo de soldagem a ponto por resistência consiste em um circuito elétrico e uma ferramenta de aplicação. Este processo pode ser realizado utilizando uma variedade de equipamentos de soldagem, que vão desde equipamentos mais simples até sistemas bem sofisticados e automatizados que fazem centenas de soldas em poucos segundos.

Como cita Batista (2020), a indústria automotiva aplica de forma extensiva o processo de soldagem a ponto, onde o produto que será formado consiste na união de chapas sobrepostas. Para que essa união seja feita é necessário que o acesso a ambos os lados das chapas seja garantido, para que os eletrodos possam realizar a aplicação dos pontos. Em muitos casos a adoção de sistemas automatizados para realizar essa aplicação dos pontos é feita.

Schibelbain (2021) afirma que, quando se trata do processo de solda a ponto um dos elementos fundamentais que se utiliza para realizar este processo é a pinça de solda.

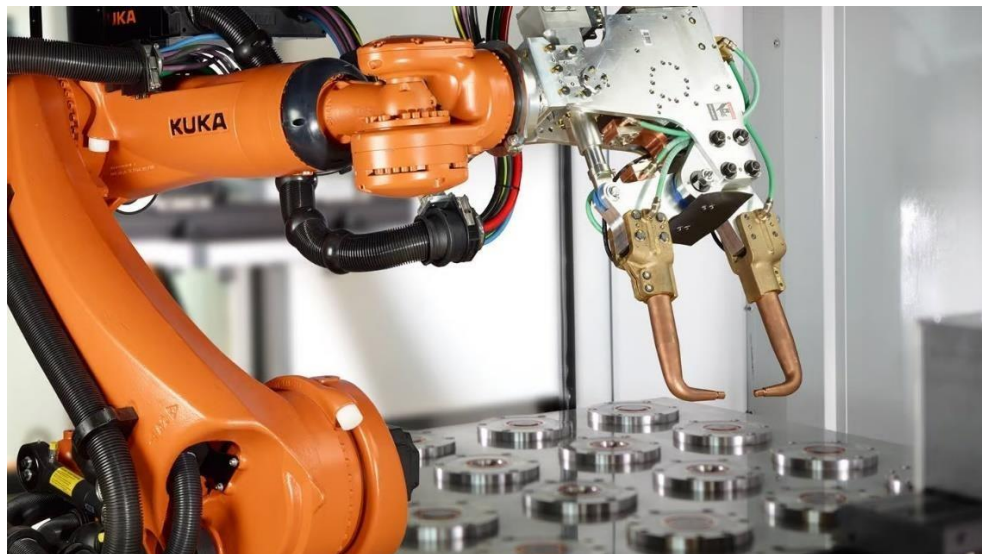
Figura 2 - Pinças de solda em geometrias diferentes.



Fonte: Yaskawa ([s.d])

Somando ainda a o que afirma Schibelbain (2021), essas pinças de solda podem ser operadas manualmente, ou, devida a grande possibilidade de automatização desse processo, podem ser operadas por robôs. Esta operação robótica é feita com programação baseada em coordenadas.

Figura 3 - Linha de soldagem por ponto robotizada.



Fonte: (MSM soluções industriais, [s.d])

O curto tempo de soldagem e a simplicidade exigida do operador são as principais vantagens deste processo. Outra importante vantagem é a facilidade de automação, que proporciona altos índices de produtividade. A principal desvantagem é a necessidade de ter acesso a ambos os lados da peça a ser soldada. (RECOMMENDED PRACTICES FOR RESISTANCE WELDING, 2022)

Entender como os elementos que participam do processo de solda a ponto interagem e tornam ou não esse processo viável de ser realizado, é um fator relevante ao se definir a utilização deste processo de soldagem na produção de um produto. Definir parâmetros para a aplicação de pontos de solda se mostra um ponto importante para a utilização do processo de soldagem.

2.2 A utilização de modelos de processo de desenvolvimento de produtos

Segundo Rozenfeld et al. (2006), o desenvolvimento de produtos é baseado em uma sequência de passos e atividades. E dentro deste processo há uma busca por atender as demandas do mercado, considerando as limitações tecnológicas. Além disso as estratégias competitivas do produto e da empresa são levadas em consideração, culminando na definição das especificações técnicas do produto para que ele possa ser manufaturado.

Baseado nesse conceito inicial, o desenvolvimento de produtos se torna um processo inerente à cadeia de entrega de valor de uma empresa. Para que exista um produto, que em sua manufatura utiliza um processo de solda a ponto deve-se primariamente ter existido um processo de desenvolvimento deste mesmo. Esse desenvolvimento é descrito como um processo constituído de fases, onde cada fase garante a obtenção de definições para o produto.

“O processo de desenvolvimento de produtos abrange etapas que apoiam as equipes na tarefa da obtenção de produtos inovadores ou ainda na melhoria dos já existentes, atividades importantes para empresas que almejam obter produtos de elevada qualidade e a maior porcentagem possível da fatia do mercado.” (PRAZERES, 2017)

Corroborando com a ideia de Prazeres (2017), a utilização de modelos de Processos de Desenvolvimento de Produtos (PDP) se mostra uma estratégia relevante aos negócios. Para este trabalho o modelo de PDP utilizado foi o modelo

Processo de Desenvolvimento de Produtos Industriais (PRODIP), um modelo bem difundido na área de desenvolvimento de produtos.

“O modelo PRODIP consiste em três macro fases (planejamento, elaboração do projeto do produto e implementação de lote piloto), e cada macro fase se divide em etapas.” (BACK et al., 2008)

- Planejamento do projeto: a primeira macro fase corresponde à fase de planejamento do projeto. Envolve a elaboração do plano do projeto do produto, principal resultado da fase;
- Elaboração do projeto do produto: envolve a elaboração do projeto do produto e do plano de manufatura. Decompõe-se em quatro fases denominadas projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado. Os resultados principais de cada fase são respectivamente, as especificações de projeto, a concepção do produto, a viabilidade técnica e econômica e a documentação do produto;
- Implementação do lote piloto: envolve a execução do plano de manufatura na produção da empresa e o encerramento do projeto. Decompõe-se em três fases denominadas de preparação da produção, lançamento e validação do produto. Os resultados principais de cada fase incluem, respectivamente, a liberação do produto, a liberação do lote piloto e a validação do produto.

Podemos visualizar o fluxo do modelo PRODIP pela Figura 4.

Figura 4 - Macro fases e fases do modelo PRODIP.



Fonte: (BACK et al., 2008)

Como abordado na seção 2.1 a definição de parâmetros para a aplicação de pontos de solda se mostra um fator necessário para que seja garantida a

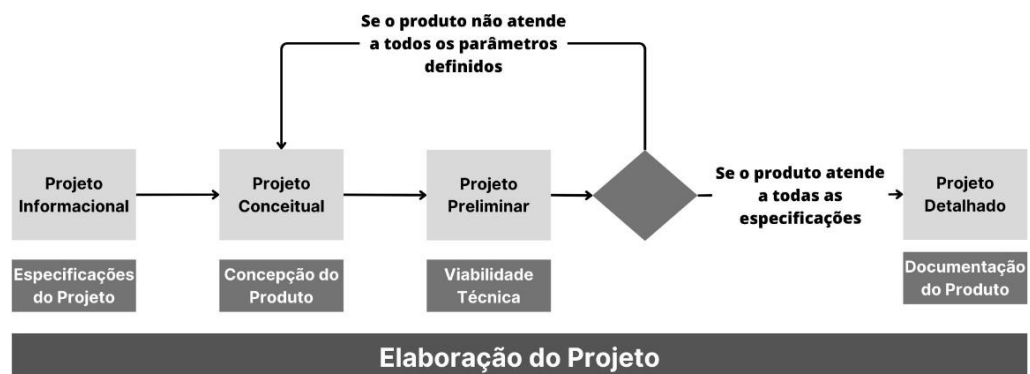
viabilidade da utilização do processo de solda a ponto. De acordo com o modelo PRODIP, as especificações destes parâmetros devem ser realizadas na macro fase de elaboração do projeto do produto, na etapa de projeto informacional, cujo resultado esperado dessa fase são as especificações de projeto.

A etapa que sucede a definição das especificações do produto é a etapa de projeto conceitual, cujo resultado esperado dessa fase é a concepção do produto. A concepção do produto se trata da criação de protótipos e modelos virtuais, seguindo o planejamento do projeto e as especificações definidas na etapa anterior.

Após feito o projeto conceitual é necessário que haja uma etapa que ateste se o produto apresenta as especificações técnicas pré-definidas. Essa atividade é realizada na etapa de projeto preliminar, cujo resultado esperado dessa fase é a viabilidade técnica do produto. As especificações técnicas nem sempre são atendidas na primeira passagem pela fase de projeto preliminar.

Observa-se, portanto, que entre as etapas de projeto conceitual e projeto preliminar deve ocorrer um ciclo de desenvolvimento. Se, durante uma análise de viabilidade técnica, ficar evidente que o produto não atende às especificações, é necessário retornar à fase de concepção. Nessa etapa, ajustes são feitos e, em seguida, a viabilidade é reavaliada, criando assim um ciclo no processo de desenvolvimento, como mostra a Figura 5.

Figura 5 - Fluxograma evidenciando o ciclo de desenvolvimento entre a etapa de projeto conceitual e projeto preliminar.



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

O desenvolvimento de produtos pode se tornar uma tarefa bem complexa. Atestar a viabilidade de produtos que são complexos, ou utilizam processos industriais

complexos para serem manufaturados se torna uma questão relevante, ao se pensar em qual é a melhor solução para que essas análises sejam realizadas.

2.3 A utilização da simulação para atestar a viabilidade de produtos

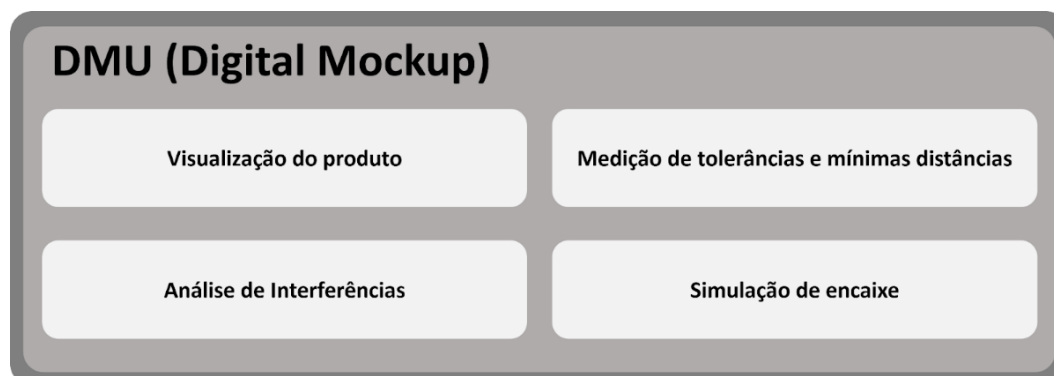
Para Harrel et al. (2000), as simulações consistem em tentar imitar fielmente um sistema através de outro sistema. As simulações possibilitam que cenários e variáveis complexas sejam trabalhos de forma simplificada, como construir modelos virtuais para a validação do produto ao invés de se construir modelos físicos, que são mais complexos e mais caros.

Conforme Schützer et al. (1999) dizem, dentro de um processo de desenvolvimento de produtos, a criação de protótipos físicos são caros é demasiado demorado. Desta forma, eliminar a prototipagem física deste processo resulta na redução de tempo e custos.

De acordo com Schützer et al. (1999), dentro dos setores automotivos, para que o desenvolvimento de produtos aconteça de forma mais simultânea e colaborativa, a utilização de sistemas e conceitos de desenvolvimento que permitem esta colaboração são amplamente aplicados. Um destes conceitos é o *Digital Mockup* (DMU). O conceito de DMU representa a integração de tecnologias e ferramentas para a criação de protótipos digitais, proporcionando uma abordagem colaborativa e eficiente para o desenvolvimento e análise de produtos na fase virtual.

Atualmente os sistemas CAD que incorporaram modelos geométricos volumétricos, ou seja, 3D (tridimensionais) permitem a utilização do DMU. A aplicação do DMU no ambiente colaborativo de times de engenharia, permite que os projetistas envolvidos no desenvolvimento do produto realizem simulações de forma realística no computador. Nas simulações realizadas com o produto no computador é possível visualizar e verificar, por exemplo, as falhas de montagem do produto, colisões entre componentes, espaços disponíveis para passagem de cabos e acessórios etc. Estes problemas podem ser claramente identificados e corrigidos pelos projetistas, ainda no estágio inicial do desenvolvimento. (SCHÜTZER et al., 1999 apud BAAKE et al., 1997).

Figura 6 - Quais os tipos de análise podem ser feitos por um DMU.



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

A utilização do conceito de DMU no desenvolvimento de produtos é uma solução que traz vantagens competitivas às empresas que o utilizam. A aplicação desse conceito na fase de projeto preliminar possibilita que o produto seja desenvolvido com menor custo e menor tempo.

Um grande pilar da aplicação de uma análise virtual é a utilização de *softwares* que permitem que essas análises sejam feitas. Entender como esses *softwares* funcionam, quais as suas vantagens e desvantagens soma grande importância para a realização deste trabalho. Na próxima seção será explorada a natureza dos *softwares* 3D, como eles são fundamentais para a realização de análises virtuais e como eles podem auxiliar na produtividade utilizando automações.

2.4 Utilizando *softwares* 3D para simular

No cenário competitivo global atual, os fabricantes de automóveis deparam-se com diversos desafios relacionados à vasta quantidade de documentos em seus projetos.

Como citam Wöhlke et al. (2021), os métodos de desenvolvimento de produtos baseados em modelos 2D têm se mostrado menos eficazes e mais complexos quando comparados à utilização de modelos 3D em sistemas CAD. Com a difusão generalizada do CAD na indústria para o desenvolvimento de produtos, substituiu-se a criação de protótipos físicos por protótipos digitais.

Corroborando com Wöhlke et al. (2021), Shehab et al. (2010) descreve que, as empresas que adotam um desenvolvimento preferencialmente dentro de ambientes 3D impulsionam a produtividade e otimizam o tempo de desenvolvimento.

De acordo com Gherghina et al. (2018), o DMU é utilizado para a criação de modelos 3D virtuais na fase de concepção do produto, em substituição a desenhos 2D e protótipos físicos. Butdee et al. (2008) citam que, pesquisadores mostraram que utilizar o DMU na validação do projeto conceitual de produtos e processos utilizados na indústria demonstra uma alta taxa de sucesso.

Corroborando com a ideia de Gherghina et al., (2018) e Butdee et al., (2008) a utilização de *softwares* CAD permitem a criação de modelos virtuais dos produtos, possibilitando que eles possam ser utilizados em simulações.

“Os *softwares* CAD modernos disponibilizam vários módulos que ajudam no desenvolvimento de produtos, esses módulos integrados dos *softwares* CAD vão desde ferramentas que auxiliam na criação de desenhos 2D baseados no modelo 3D feito, até ferramentas mais complexas de simulação operacional.” (GHERGHINA et al., 2018).

No mercado, é observável a presença de *softwares* que oferecem módulos e ferramentas integradas às plataformas CAD. Estes recursos contribuem para o desenvolvimento e validação de produtos.

A utilização de ferramentas que possibilitam uma maior integração e automatização com *softwares* externos viabiliza um aumento na produtividade, ao reduzir o tempo de desenvolvimento, e é um fator relevante na escolha de qual *software* será utilizado para a aplicação em questão. Por esse motivo os desenvolvedores destes *softwares* estão sempre explorando inovações que auxiliam nos ganhos de performance.

Manikas (2016) descreve que, as interfaces de programação de aplicações do inglês (*Application Programming Interface* ou APIs) são uma inovação no campo de desenvolvimento de *software*, e estas desempenham um papel fundamental nos ecossistemas de desenvolvimento de *software*, principalmente.

De acordo com o guia O que é uma API? – Guia de APIs para iniciantes ([s.d.]), as APIs são como "pontes" que permitem que diferentes *softwares* se comuniquem usando regras e instruções comuns. Por exemplo, um aplicativo de previsão do tempo em um *smartphone* se comunicando com o sistema do instituto meteorológico para obter as atualizações diárias. Essa comunicação acontece por meio de APIs, que facilitam a troca de informações entre esses dois sistemas de *software*.

A utilização de uma API para fazer uma interface entre um *software* externo e uma aplicação, no contexto desse trabalho um *software* 3D, se mostra relevante ao evidenciar a possibilidade de se enviar comandos utilizando uma API, para que um *software* 3D realize tarefas.

A utilização de APIs dentro de *softwares* 3Ds é uma solução já bem utilizada nos ambientes de desenvolvimento de produto pelo mundo inteiro, e a utilização dessa ferramenta possibilita a automatização de processos repetitivos.

2.5 Os parâmetros de viabilidade do processo de solda a ponto

O que se espera de uma análise na fase de projeto preliminar é atestar a viabilidade técnica e os requisitos técnicos de industrialização. Estes requisitos de viabilidade técnica são definidos na fase de projeto informacional, como demonstrado na seção 2.2 deste capítulo. Assegurar a qualidade da aplicação dos pontos de solda é um fator importante no desenvolvimento de um produto.

Uma baixa qualidade da soldagem por resistência a ponto (RSW), geralmente causam outros problemas de qualidade, como integridade estrutural e ruído na montagem da carroceria do carro. Nota-se que a qualidade de aplicação dos pontos de solda tem um grande impacto caso não estejam de acordo com os requisitos pré-definidos. (LING et al., 2010)

De acordo com Bassetto (2004) apud Pahl e Beitz (1996), o processo de um projeto começa quando é definido qual será o problema a ser resolvido, e é com este problema bem definido que se tem a ideia inicial do que será o produto, mesmo que somente na forma de requisitos de projeto.

A definição da ideia inicial e dos requisitos do produto, podem surgir como problemas de viabilidade técnica na fase de projeto informacional. Como descrito na seção 2.1 entender como os elementos que participam do processo de solda a ponto interagem e tornam ou não esse processo viável de ser realizado, é relevante a este trabalho.

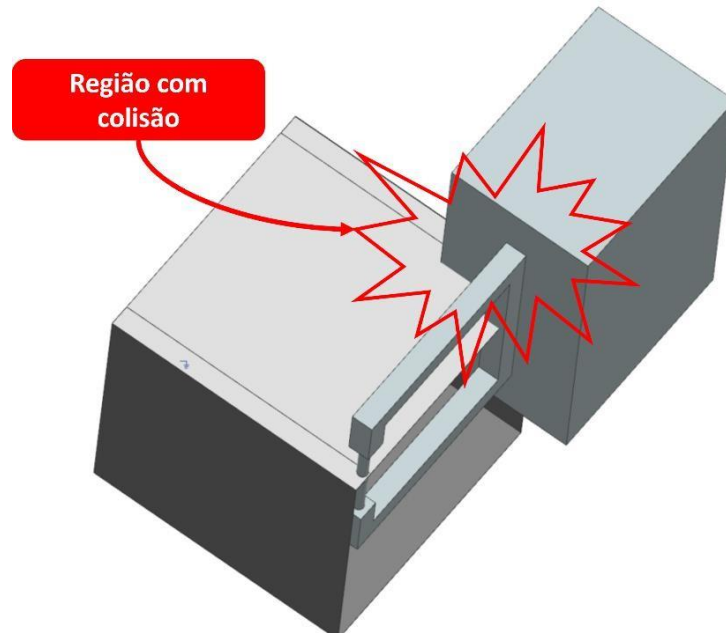
Os parâmetros de processo que se referem a viabilidade da aplicação dos pontos de solda, advém do que constitui esse processo, e quais são os impeditivos que fazem com que ele não possa ser realizado. Os elementos que compõem a aplicação de pontos de solda são: as chapas a serem soldadas e a pinça de solda que realizará a aplicação. Garantir que os eletrodos tenham acesso a ambos os lados das

chapas a serem soldadas é um requisito que deve ser levado em consideração ao realizar a análise de viabilidade técnica.

Como cita Schützer et al., (1999), a verificação de interferência entre os objetos analisados e a checagem de mínimas distâncias são itens chave para atestar a viabilidade técnica de um produto em desenvolvimento. Como requisitos técnicos para esta análise de viabilidade define-se então: analisar se a pinça de solda está colidindo com as chapas a serem soldadas e analisar se a pinça de solda tem uma distância mínima dos elementos envolvidos no processo, neste exemplo o produto manufaturado.

Garantir que a pinça de solda não esteja colidindo com os elementos físicos que fazem parte do processo é de extrema importância, a colisão entre pinça de solda e o produto invalida o processo de aplicação dos pontos de solda, como mostra a Figura 7.

Figura 7- Figura 7 - Colisão entre pinça e peça inviabilizando a aplicação do ponto de solda.

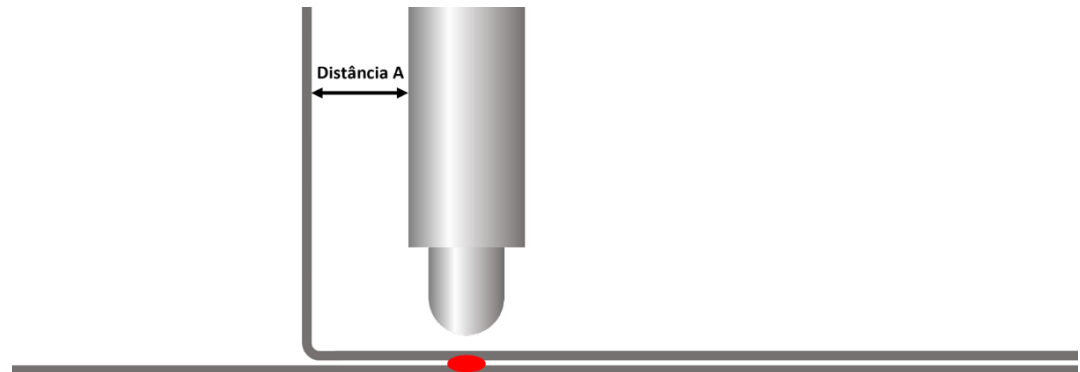


Fonte: elaborado pelo autor (2023).

A verificação de mínimas distâncias se mostra inerente às análises de viabilidade no desenvolvimento de produtos. Corroborando com essa afirmação, o The Aluminium Automotive Manual (2015) define que: por razões de acessibilidade, alinhamento da pinça de solda e prevenção de desvio de corrente, nenhuma parte do

eletrodo ou seu suporte (corpo da pinça) pode estar em contato com as chapas que estão sendo soldadas. Assim, uma certa distância (Distância A) deve ser mantida entre os elementos que fazem parte do processo, como evidenciado na Figura 8.

Figura 8 - Destaque da distância mínima a ser mantida entre pinça e peças que participam do processo de solda a ponto.



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Essa distância mínima (Distância A) dentro dos ambientes de desenvolvimento de produto pode variar, de acordo com o que cada empresa que desenvolve um novo produto define como ideal. Esses padrões normalmente são documentados como guias de padronização de produtos e processos, em empresas privadas, esses guias são normalmente restritos, por motivos de segredo industrial.

Existem guias e manuais disponíveis para o público geral que podem ser utilizados para definir essa distância mínima. Esses guias são baseados em boas práticas do setor industrial, e abrangem de uma forma generalizada as variações que os processos podem apresentar. De acordo com Rajadhyaksha (2016), essa mínima distância entre a pinça de solda e os elementos envolvidos no processo de solda deve ser superior a 3mm. Essa distância mínima deve ser respeitada em torno de todo o corpo da pinça de solda em relação às chapas soldadas.

Outros parâmetros, como o acesso da pinça e o tamanho da sobreposição das chapas, por exemplo, podem ser destacados pela equipe de desenvolvimento de produtos durante a análise de viabilidade técnica de pontos de solda.

Entretanto os parâmetros colocados acima constituem uma análise satisfatória para a proposta feita neste trabalho.

2.6 A automatização do processo de análise

2.6.1 Motivação para automatizar a um processo

Analisar o comportamento de um produto e dos processos de manufatura que fazem parte da industrialização destes produtos, asseguram um bom ciclo de desenvolvimento. Utilizar as tecnologias dos ambientes 3D e a aplicação do conceito de DMU para se criar uma cópia virtual dos produtos e processos de industrialização, possibilita uma solução que suporta a realização de análises para atestar viabilidade.

As análises de viabilidade técnica, são comumente chamadas nos ambientes de desenvolvimento de produtos de análises de factibilidade. Para Oliveira (2019), processos são sequências de atividades e tarefas ordenadas com o objetivo de se chegar a um resultado esperado. Corroborando com Oliveira (2019), pode-se definir que o processo de análise de factibilidade de pontos de solda segue uma sequência de passos para que esta análise seja dada como concluída.

Segundo Silva (2022) apud Abbott e Bogenshneider (2018), a automação de processos teve seu início em meados do século XX no setor automotivo com objetivo de maior eficiência e qualidade do produto.

Na atualidade, esse conceito de automação está cada vez mais amplo, por exemplo, através da RPA – Automação Robótica de Processos, do inglês *Robotic Process Automation*. Dado os fatos expostos, soluções que visam automatizar processos repetitivos ou parte deles são muito úteis. (SILVA, 2022)

A repetibilidade e padronização do processo de análise possibilitam a automatização deste processo. Como cita Casey (2019), as RPAs são definidas com base em uma sequência de passos, que constituem a regra que um “robô” deve seguir para realizar a tarefa de forma automatizada. Assim, para a aplicação de uma automatização deve-se existir um processo bem definido.

2.6.2 Modelagem do processo de análise

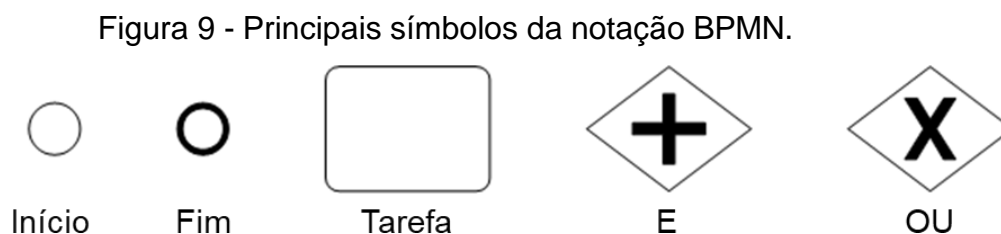
Paim et al. (2009) dizem que, para que sejam criados processos bem definidos, existem ferramentas e notações que auxiliam na criação ou mapeamento destes processos. Sendo assim, o emprego de ferramentas adequadas para modelagem permite uma maior compreensão do processo e facilita a implantação de

soluções para os problemas que envolvem este mesmo no menor tempo e custos possíveis.

De acordo com Ribeiro et al. (2015), entre as linguagens para modelagem de processos, o *Business Process Modeling Notation* (BPMN) é bastante disseminado, seja no meio empresarial ou acadêmico. Como citam Laue et al. (2011), devido à sua notoriedade atual o BPMN tem sido a técnica mais discutida e, possivelmente, a mais utilizada.

De acordo com Capote (2011), o BPMN é a notação para representação de processos mais utilizada no mercado atualmente, sendo um padrão adotado por várias ferramentas de modelagem. Conforme cita OMG Standards Development Organization (2014), o BPMN consiste em um padrão de símbolos dispostos em um diagrama cujo principal objetivo é que todas as partes interessadas em um determinado processo de negócio o compreendam facilmente.”

A notação BPMN é dotada de símbolos que, quando combinados, descrevem um processo. Na Figura 9 é possível observar os principais elementos que fazem parte da notação.



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Neste trabalho, usaremos essa notação para descrever processos.

3 METODOLOGIA

3.1 Criação dos objetos para simulação

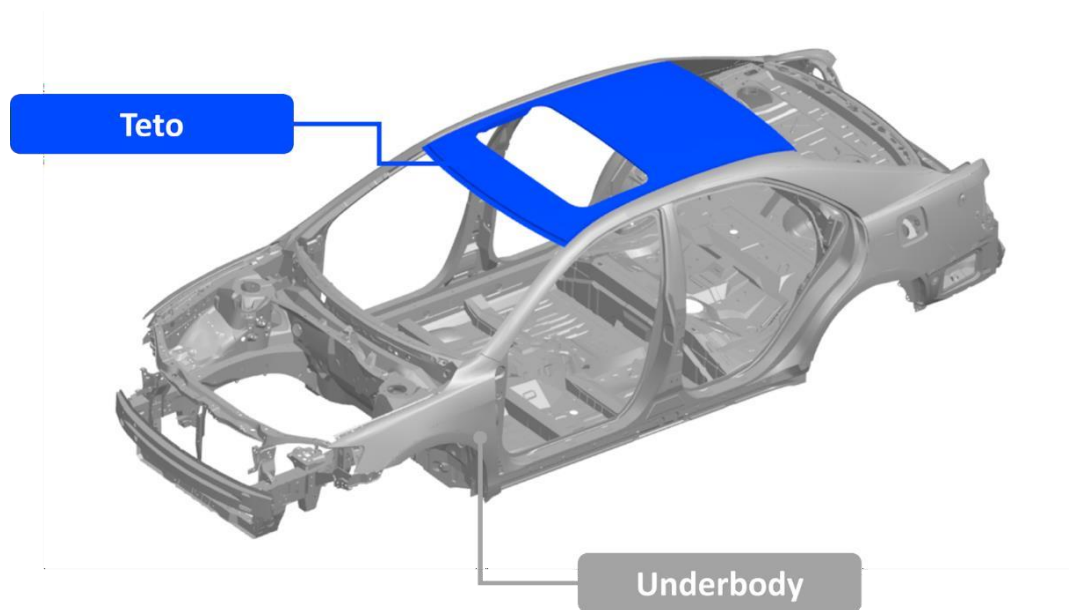
Para que a análise de factibilidade seja feita, seguindo o modelo PRODIP, a fase de projeto informacional onde foram definidos os parâmetros de viabilidade técnica, vistos no tópico 2.5, é seguida pela fase de projeto conceitual, cujo resultado esperado desta fase é a concepção do produto. A concepção do produto se trata da criação de protótipos e modelos virtuais, seguindo o planejamento do projeto e as especificações definidas.

Assim, a definição dos modelos virtuais que serão utilizados é parte relevante da metodologia. A utilização de um *software* 3D será necessária para a criação destes modelos e posteriormente, para realização da análise de factibilidade. A disponibilidade de ferramentas de análise e de uma API são requisitos para a escolha deste *software*. Deste modo, a fim de atender a estes requisitos, o *software* 3D que será utilizado para a modelagem e análise será o *Siemens NX*.

3.1.1 Modelo virtual do produto

A união de duas chapas metálicas ou a união de um conjunto de chapas previamente unidas com um outro conjunto de chapas ou outra chapa é chamado comumente na indústria de geometria. Uma geometria pode ser formada através da união de duas ou mais chapas ou através da união de duas ou mais geometrias. A geometria do protótipo que será utilizado na análise será baseada em geometrias existentes na indústria automotiva. Deste modo cria-se uma aproximação do problema a um caso real. A geometria escolhida para ser a base do modelo virtual do produto é a geometria de união da carroceria do veículo (*underbody*) com o teto, como evidenciado na Figura 10.

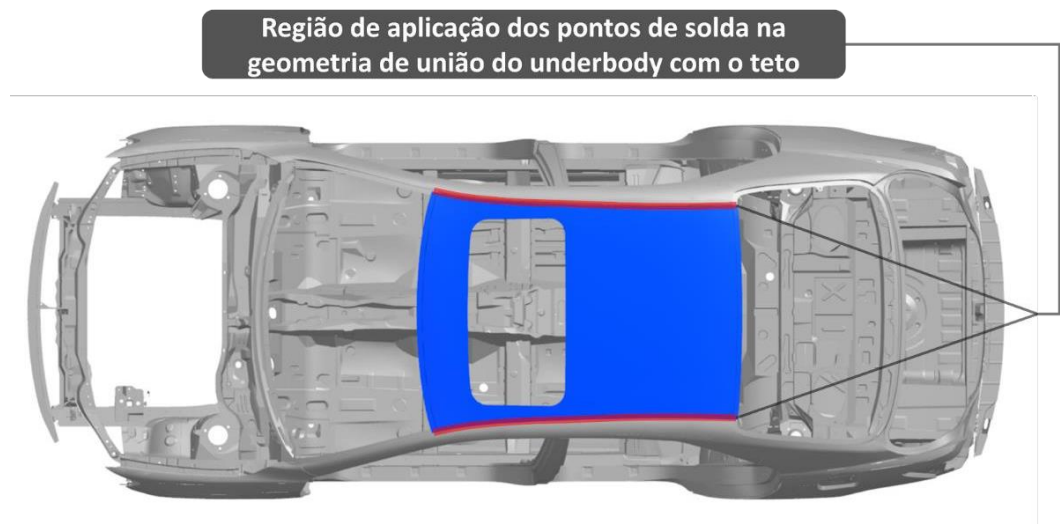
Figura 10 - União da geometria de *underbody* com a geometria de teto, obtendo uma carroceria veicular completa.



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Os pontos de solda que realizam a união dessas duas geometrias, são aplicados nas regiões onde as chapas das geometrias se tocam.

Figura 11 - Região de aplicação dos pontos de solda na geometria de união do *underbody* com o teto evidenciada em vermelho.



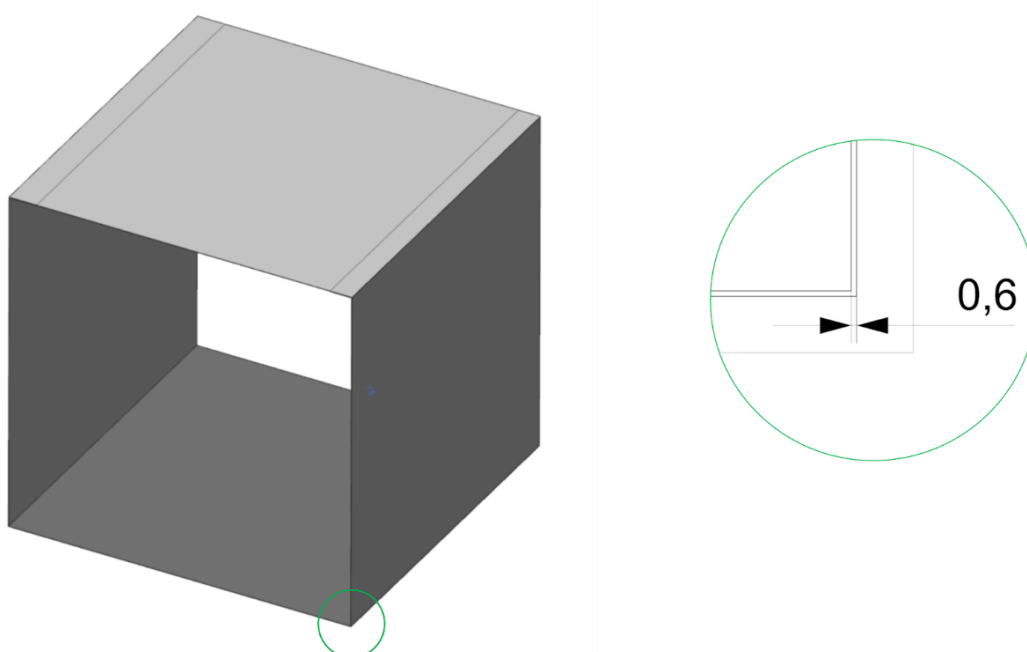
Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Uma simplificação desta geometria apresentada será feita com o intuito de reduzir a complexidade de modelagem, e a complexidade da prova de conceito da automatização da rotina de análise.

A simplificação da geometria deve atender a algumas condições, para que o conceito apresentado da geometria da carroceria veicular se mantenha. As condições a serem consideradas incluem que a região de aplicação dos pontos de solda deverá ser semelhante ao apresentado no exemplo da carroceria do veículo e o formato da geometria deve ser semelhante ao exemplo. De acordo com Bepex ([s.d]), a espessura das chapas da carroceria de um veículo moderno fabricada a partir de 2010 é de 0,7 mm, chegando a 0,5 mm, em determinados modelos. Baseado nesses valores, para a modelagem do produto será utilizada uma espessura de chapas de 0,6mm.

Com as especificações e condições apresentadas, a modelagem que será utilizada na análise pode ser vista pela Figura 12.

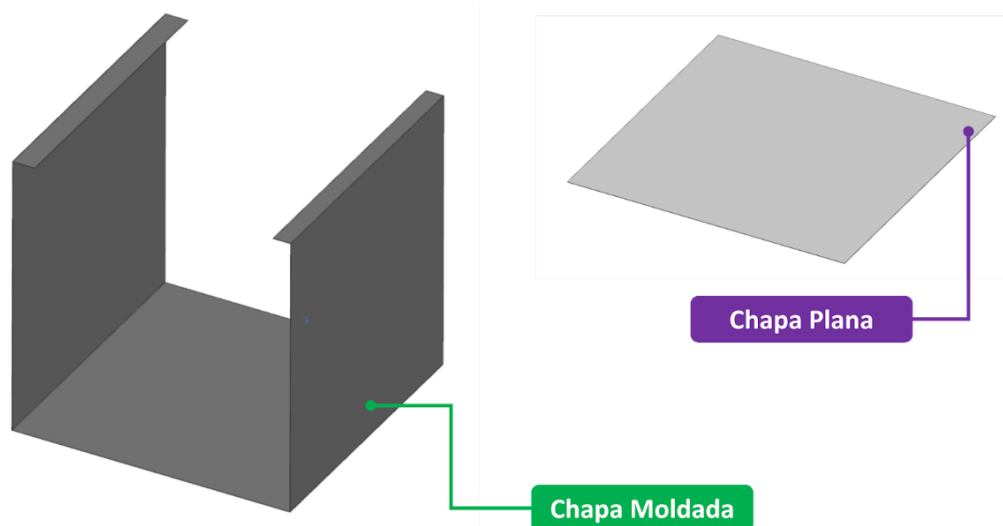
Figura 12 - Modelo virtual do produto que será utilizado.



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Na Figura 13, se observa melhor a composição da geometria do modelo, que é feita utilizando a união de uma chapa moldada com três faces e duas abas na parte superior, e uma chapa plana. A chapa plana representa o teto, no modelo da carroceria que foi colocada como base e a chapa moldada representa o *underbody*.

Figura 13 - Decomposição da geometria do modelo virtual do produto.



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

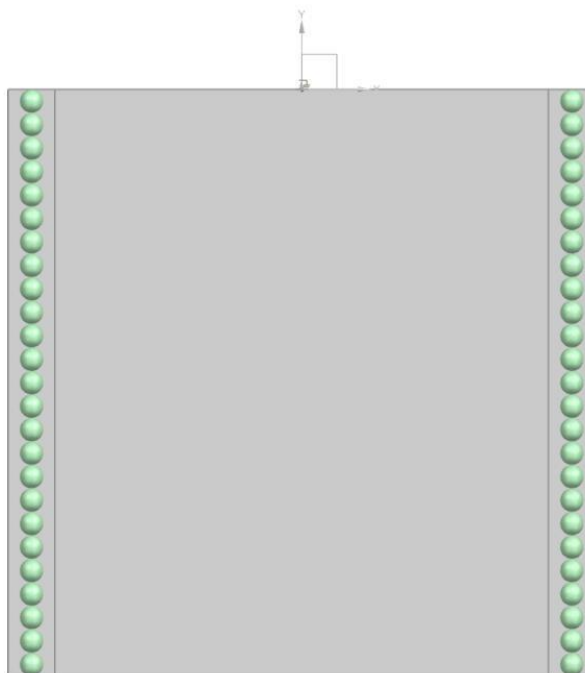
O posicionamento dos pontos de solda foi feito respeitando as seguintes características: o espaço mínimo entre os pontos de solda deve ser de 10mm, o espaço máximo entre os pontos de solda deve ser de 20mm, a distância entre o centro do ponto e as bordas das chapas deve ser de no mínimo 10mm e ele deve estar centralizado na faixa de sobreposição das duas chapas. Deste modo na Tabela 1 pode-se visualizar as coordenadas e a identificação dos pontos de solda que realizarão a união da geometria do modelo virtual.

Tabela 1 - Coordenadas e identificação dos pontos de solda no modelo virtual do produto.

ID do ponto	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z
Ponto 1	-230	-10	500
Ponto 2	-230	-30	500
Ponto 3	-230	-50	500
Ponto 4	-230	-70	500
Ponto 5	-230	-90	500
Ponto 6	-230	-110	500
Ponto 7	-230	-130	500
Ponto 8	-230	-150	500
Ponto 9	-230	-170	500
Ponto 10	-230	-190	500
Ponto 11	-230	-210	500
Ponto 12	-230	-230	500
Ponto 13	-230	-250	500
Ponto 14	-230	-270	500
Ponto 15	-230	-290	500
Ponto 16	-230	-310	500
Ponto 17	-230	-330	500
Ponto 18	-230	-350	500
Ponto 19	-230	-370	500
Ponto 20	-230	-390	500
Ponto 21	-230	-410	500
Ponto 22	-230	-430	500
Ponto 23	-230	-450	500
Ponto 24	-230	-470	500
Ponto 25	-230	-490	500
Ponto 26	230	-10	500
Ponto 27	230	-30	500
Ponto 28	230	-50	500
Ponto 29	230	-70	500
Ponto 30	230	-90	500
Ponto 31	230	-110	500
Ponto 32	230	-130	500
Ponto 33	230	-150	500
Ponto 34	230	-170	500
Ponto 35	230	-190	500
Ponto 36	230	-210	500
Ponto 37	230	-230	500
Ponto 38	230	-250	500
Ponto 39	230	-270	500
Ponto 40	230	-290	500
Ponto 41	230	-310	500
Ponto 42	230	-330	500
Ponto 43	230	-350	500
Ponto 44	230	-370	500
Ponto 45	230	-390	500
Ponto 46	230	-410	500
Ponto 47	230	-430	500
Ponto 48	230	-450	500
Ponto 49	230	-470	500
Ponto 50	230	-490	500

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Figura 14 - Distribuição dos pontos de solda.



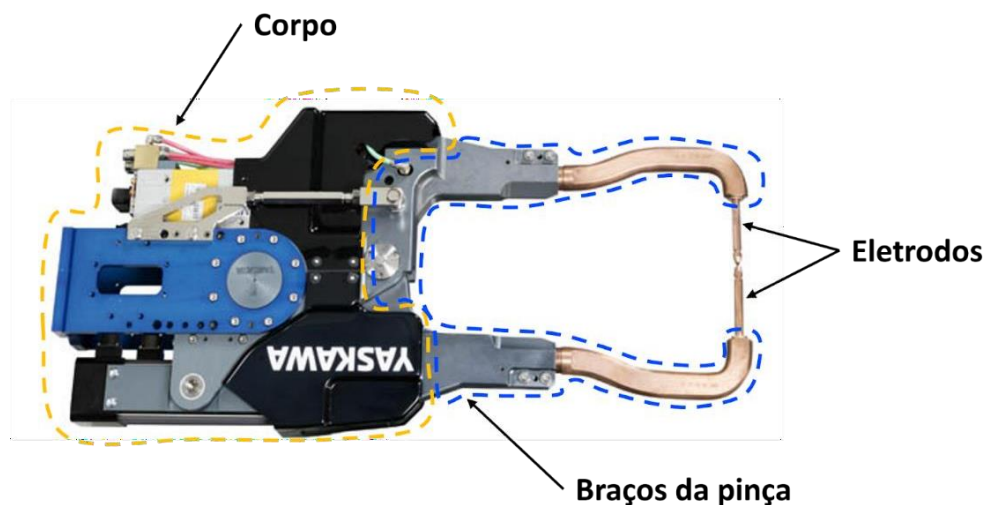
Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Com o modelo virtual do produto pronto, um modelo virtual da pinça de solda deve também ser criado para que seja utilizado na rotina de análise.

3.1.2 Modelo virtual da pinça de solda

As pinças de solda comumente utilizadas na indústria são produtos padrões de catálogos de venda. O modelo utilizado para a confecção do modelo virtual da pinça, que será utilizado neste trabalho, será baseado em um dos modelos de pinça mais utilizados na indústria. Esse modelo de pinça mais comum é composto por um corpo, os braços da pinça, e acoplados aos braços os eletrodos, como pode-se observar na Figura 15.

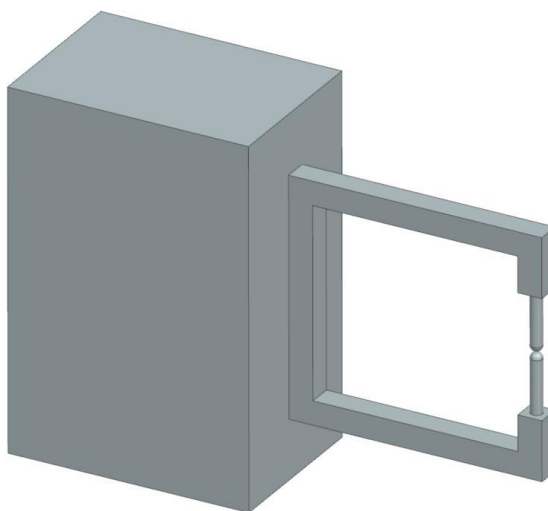
Figura 15 - Componentes base da geometria de uma pinça de solda a ponto.



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Utilizando o conceito de simplificar a geometria dos objetos que serão utilizados no ambiente 3D para análise, a geometria escolhida para o modelo virtual da pinça se apresenta como mostra a Figura 16.

Figura 16 - Modelo virtual da pinça que será utilizado na análise.

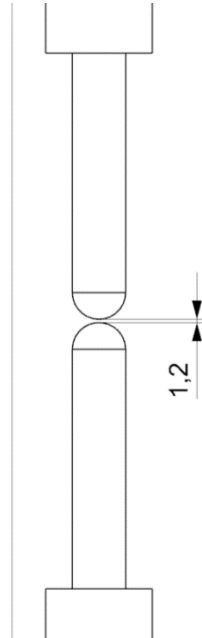


Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Uma característica importante que esta geometria da pinça deve apresentar, é o espaço entre as extremidades dos eletrodos. A espessura das chapas do produto é de 0,6mm, e as extremidades dos eletrodos devem idealmente tangenciar os dois lados das chapas a serem soldadas. Deste modo a distância entre

as extremidades dos eletrodos deve ser de 1,2mm, o equivalente à soma das espessuras das chapas.

Figura 17 - Distância entre as extremidades dos eletrodos.



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Seguindo o fluxo do modelo PRODIP, foi alcançado o objetivo final da etapa de projeto conceitual tratada neste tópico, que é a concepção produto e dos elementos que fazem parte do seu processo de fabricação. A concepção da caixa representa o produto e a concepção da pinça representa a ferramenta que faz parte do processo da fabricação deste produto.

3.1.3 Aplicação dos modelos virtuais

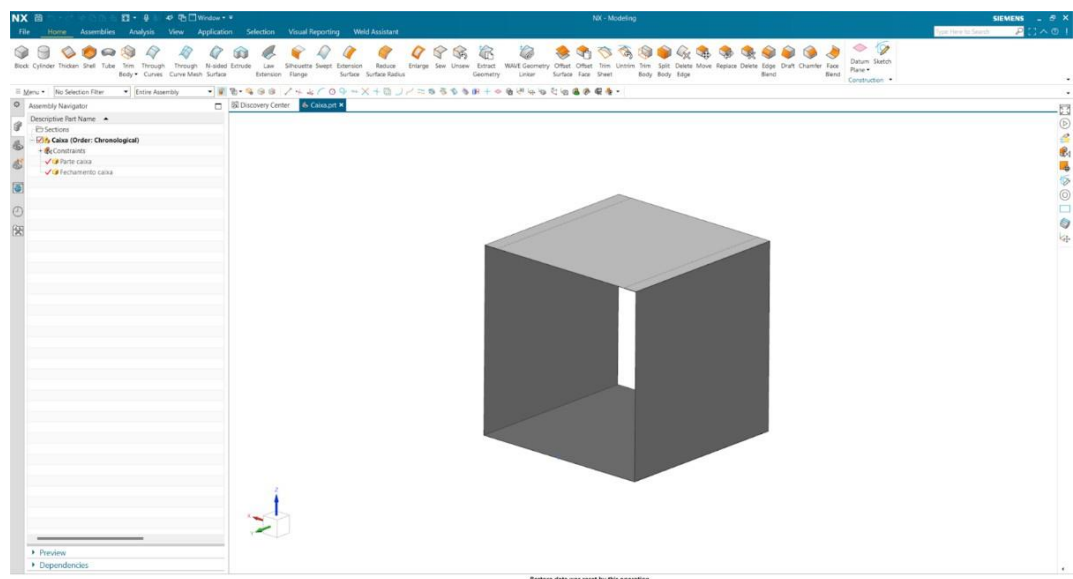
Com os modelos virtuais destinados à análise de factibilidade devidamente elaborados, avançamos da etapa de projeto conceitual, na qual foram definidos os modelos virtuais (protótipos) para a etapa de projeto preliminar, cujo objetivo é atestar a viabilidade técnica do produto, baseado nos parâmetros definidos na fase de projeto informacional.

3.2 Definição do processo de análise de factibilidade de pontos de solda

Para que possa ser realizada a automatização da análise de factibilidade de pontos de solda, deve-se definir o processo desta análise ou também chamado de rotina de análise. Para efetuar o mapeamento deste processo, será adotada a notação BPMN. Para definir este processo, é necessário contemplar a utilização do ambiente 3D e dos objetos que integram a análise (modelos virtuais). Deste modo, como integrantes deste processo de análise temos o ambiente 3D, a caixa que representa o produto que será soldado e a pinça de solda que será utilizada no processo de solda.

Todo processo, por definição, deve ter um início e fim, e entre estes existem etapas que devem ser executadas. A condição inicial deste processo de análise será o produto aberto no ambiente 3D (ambiente de modelagem do NX).

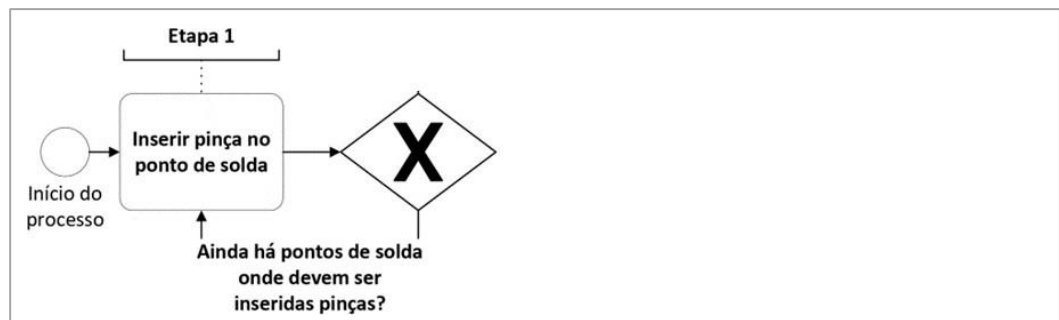
Figura 18 - Condição inicial do processo de análise no ambiente de modelagem do Siemens NX.



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

O início do processo de análise de factibilidade de pontos de solda parte do posicionamento da pinça na coordenada do ponto que será analisado, deste modo a primeira etapa (Etapa 1) deste processo deve ser a inserção da pinça de solda no ambiente 3D. A inserção deve acontecer para cada ponto de solda que o produto apresenta. Assim, serão inseridas pinças de solda em cada um dos pontos que fazem parte da análise. Com os dois modelos virtuais que são necessários para a análise dispostos no ambiente 3D, já podem ser verificados os parâmetros de viabilidade técnica pré-definidos.

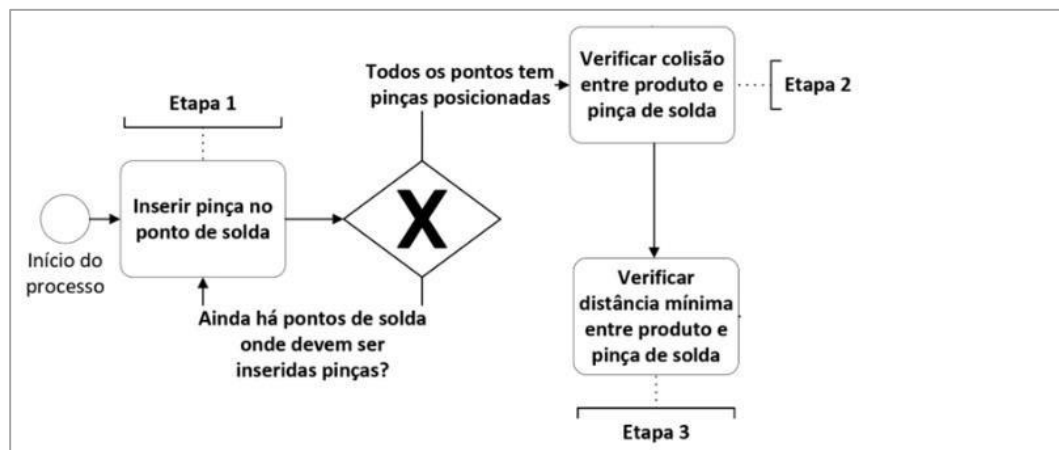
Figura 19 - Processo análise de factibilidade de pontos solda, com a etapa 1.



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

O primeiro parâmetro que será analisado é a verificação de colisão entre o produto e a pinça de solda (Etapa 2). Em seguida, deve-se verificar se o requisito de distância mínima definido (Etapa 3) está de acordo com o mínimo especificado. Se um destes dois parâmetros não atenderem ao que é definido como um requisito para ser viável ou não (não haver colisões entre produto e pinça de solda e haver uma distância mínima de 3mm entre produto e pinça de solda), o ponto deve ser considerado tecnicamente inviável de ser aplicado na posição em que a pinça se encontra.

Figura 20 - Processo análise de factibilidade de pontos solda, com as etapas: 1, 2 e 3.

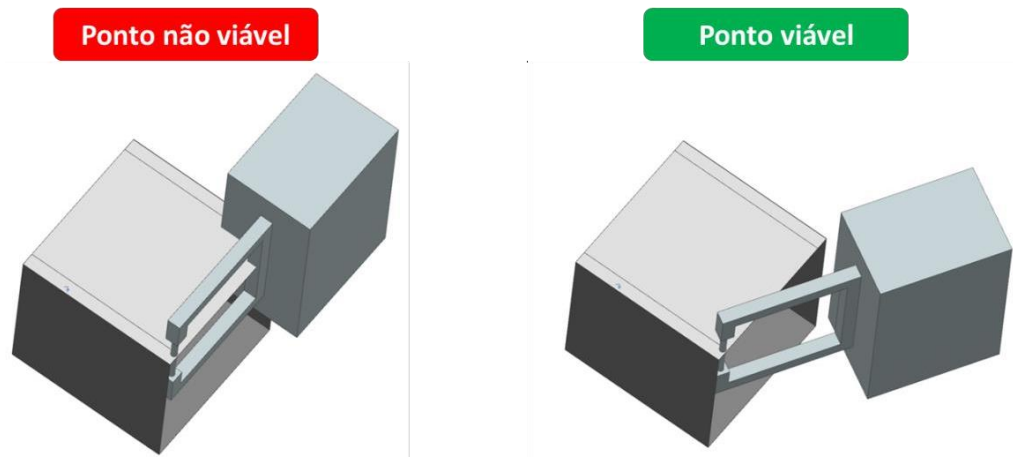


Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Para determinar se um ponto é viável ou não para aplicação, é necessário explorar todas as possibilidades de posicionamento da pinça no ambiente 3D. Como

mostra a Figura 21, ao realizar a inserção da pinça no ponto, o corpo da pinça pode interferir com a peça, verifica-se que, se feita a movimentação da pinça, mantendo os eletrodos sobre o eixo do ponto em questão, obtém-se -se uma posição diferente da posição inicial, que viabiliza tecnicamente o ponto.

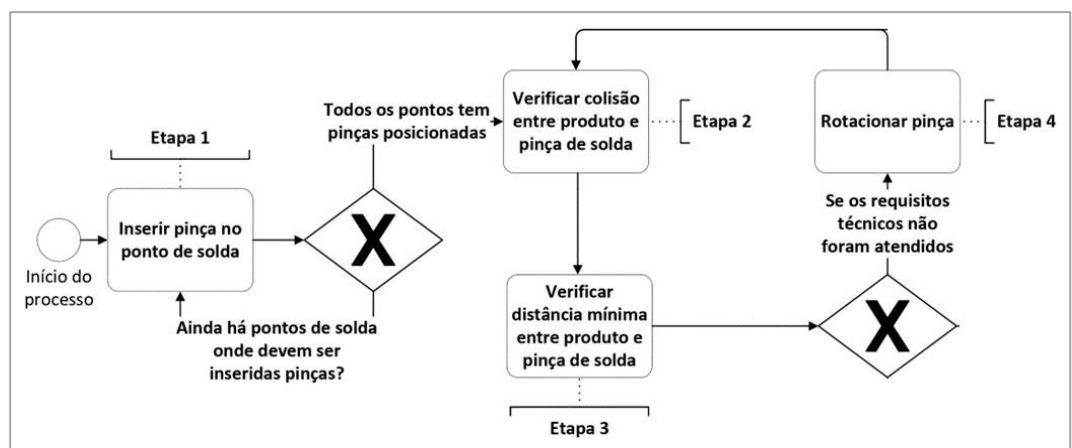
Figura 21 - Ponto não viável comparado a ponto viável.



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Desta forma, uma etapa do processo que deve existir, para que a análise de factibilidade dos pontos de solda seja feita de maneira coerente é a etapa de rotacionar a pinça (Etapa 4). Esta etapa só será realizada se um ou ambos os parâmetros não atenderem aos requisitos que os tornam viáveis. Dessa forma, ocorre um ciclo de repetição entre a (Etapa 4) e a (Etapa 2).

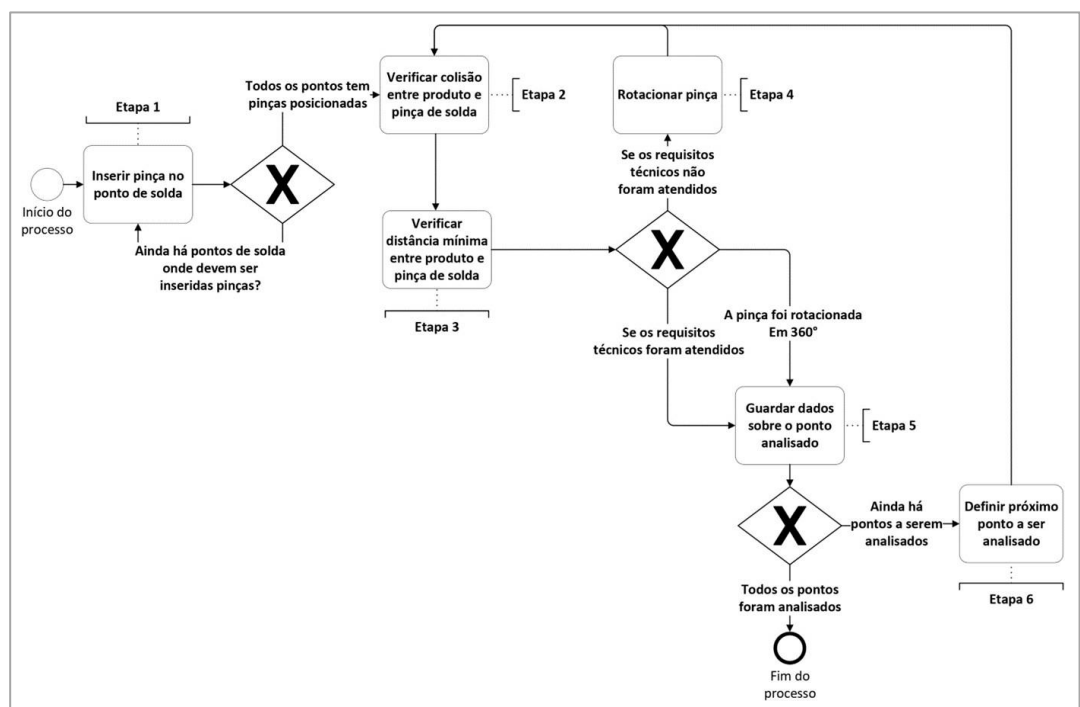
Figura 22 - Processo análise de factibilidade de pontos solda, com as etapas: 1, 2, 3 e 4.



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Existem duas possibilidades resultantes deste ciclo descrito: ao rotacionar a pinça encontrou-se uma posição onde os parâmetros de viabilidade são atendidos ou a pinça foi rotacionada em 360° voltando a sua posição inicial, significando que em todas as posições analisadas os parâmetros de viabilidade não foram atendidos. Assim, é necessário existir uma etapa (Etapa 5), onde os dados sobre a viabilidade do ponto analisado serão guardados para posterior utilização em relatórios ou para consultas. Após a (Etapa 5), se houverem mais pontos a serem analisados deve existir uma etapa (Etapa 6), onde o próximo ponto a ser analisado deve ser definido, criando um ciclo de análise dos pontos até que todos sejam analisados para que o processo de análise chegue ao seu fim.

Figura 23 - Processo análise de factibilidade de pontos solda completo.



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

A automatização do processo de análise de factibilidade de pontos de solda será fundamentalmente baseada na rotina de análise definida acima, combinada com a utilização da API e das ferramentas de análise disponíveis no *software* NX.

No próximo tópico, será abordado de maneira mais detalhada a implementação prática da API para automatizar esse processo de análise. Este

ênfoque proporcionarรก uma compreensรกo maior de como as capacidades da API podem ser aproveitadas para realizar a automatizaçรกo do processo de anรกlise.

3.3 Como utilizar a API NX Open para automatizar processos

Para que a automatizaçรกo da anรกlise de factibilidade de pontos de solda seja feita, a comunicaçรกo entre a API do NX e o *software* externo que enviarรก os comandos para que ambiente 3D realize as tarefas serรก feita. A interaçรกo de *softwares* com a API do NX pode ser feita de duas maneiras, de forma externa ao ambiente do NX ou de forma interna. Para esta aplicaçรกo utilizaremos abordagem de interaçรกo interna, onde o *software* que enviarรก os comandos para a API 茅 executado no prrprio ambiente do NX.

A API do NX, chamada *NX Open* possibilita a utilizaçรกo de algumas linguagens de programaçรกo para a criaçรกo dos *softwares* externos que irรกo interagir com ela. *C#, C++, Java, Python* e *Visual Basic* (VB) sรกo as linguagens disponrveis para interaçรกo com a API. Neste trabalho serรก utilizado o *Visual Basic* como linguagem para o desenvolvimento do *software* que irรก interagir com o ambiente do NX. A escolha do *Visual Basic* foi feita considerando uma maior disponibilidade de conteudo sobre a utilizaçรกo da API utilizando o VB comparada a outras linguagens.

A API *NX Open* disponibiliza tambem uma ferramenta voltada a automatizaçรกo chamada *Journaling*. A ferramenta realiza a gravaçรกo das açrres do usuรกrio no ambiente do NX. Esta gravaçรกo gera um cfdigo da sessrre gravada, neste cfdigo as açrres que o usuรกrio realizou sรกo traduzidas para a linguagem de programaçรกo escolhida, estes cfdigos podem posteriormente serem utilizados para se integrar a outros cfdigos, gerando uma rotina de açrres mais complexa.

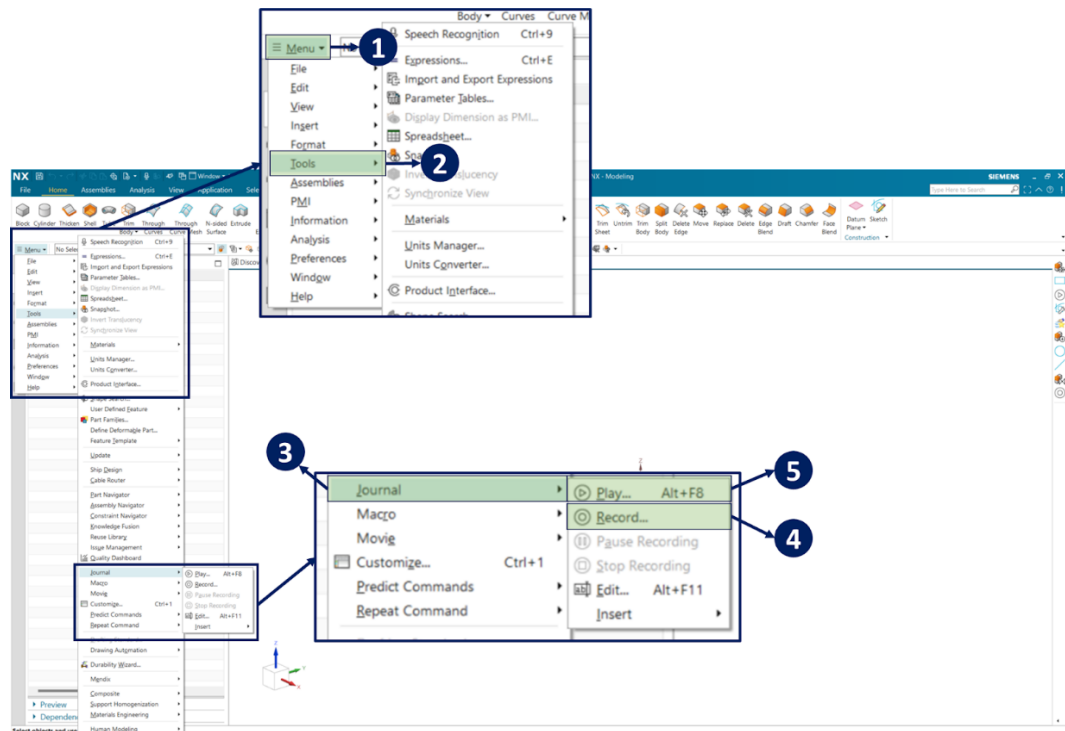
O *Journaling* tambem permite a ediçrre e a reproduçrre de cfdigos. Deste modo a interaçรกo que serรก feita de forma interna entre API e *software*, serรก feita atravrs desta ferramenta.

A utilizaçrre do *Journaling* serรก entrre feita em dois momentos da metodologia. O primeiro momento serรก na gravaçrre das açrres feitas em uma sessrre, para posterior utilizaçrre na integraçrre entre cfdigos gerados e o segundo momento serรก para a execuçrre do cfdigo que realiza a automatizaçrre da rotina de anรกlise.

No ambiente do NX a utilizaçrre das ferramentas citadas se dรก pela seguinte seqrrencia de passos: acessar o "*Menu*" (1), acessar a aba "*Tools*" (2),

acessar a aba “*Journal*” (3). A opção que será utilizada para gravação é a opção “*Record*” (4) e para a execução do código que gerado posteriormente nesta metodologia vai se utilizar a opção “*Play*” (5).

Figura 24 - Sequência de passos para acessar a ferramenta *Journaling* e suas opções.



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

3.4 PROCESSO PARA AUTOMATIZAÇÃO DE ANÁLISES NO AMBIENTE DO NX

Para Pressman (2021), um *software* é definido como um conjunto de instruções, que são construídas por linguagens de programação. São um conjunto de linhas de código que constroem a lógica que irá realizar a rotina de instruções. Para a elaboração do código que vai realizar a automatização da rotina de análise de factibilidade de pontos de solda, um processo de como criar este código será desenvolvido. O processo que será desenvolvido é generalista, e pode ser aplicado na automatização de outros processos de análise que são realizados dentro do NX.

O princípio da automatização de um processo, é baseado em uma sequência de passos que devem ser executados a fim de obter um resultado. No

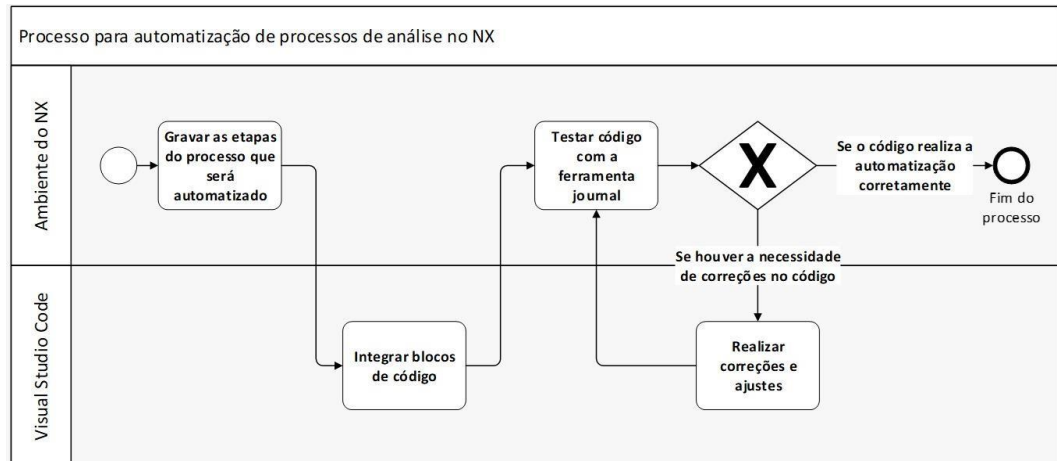
tópico 3.2 a criação do fluxo de processo que define a análise de factibilidade mostra a sequência de passos que a análise deve seguir do início ao fim. Cada etapa do processo que será automatizado representa uma ação específica dentro do ambiente do NX.

A ação de importar a pinça é a etapa inicial do processo análise de factibilidade. Para que se possa realizar uma automatização dessa ação, será utilizada a ferramenta *Journaling*. Deste modo deve-se gravar a sessão, realizar o procedimento manualmente de importar a pinça, para que ao final estas ações manuais sejam traduzidas para um código em VB.

Esse processo de gravação das etapas do processo deve ser realizado para cada etapa presente no fluxograma descrito na Figura 23, dessa forma ao fim serão obtidos vários códigos. Para realizar essa integração de códigos o editor *Visual Studio Code* será utilizado. O código gerado pela etapa de gravação dos códigos será chamado de bloco de código. Estes blocos devem ser integrados, ajustados e testados, para que ao fim obtenha-se o código que realiza a automatização do processo de análise.

O processo de automatização deve contemplar então dois ambientes de *software*, o ambiente do NX e o ambiente do *Visual Studio Code*. E os passos para que, ao final, obtenha-se o código que realiza a automatização do processo são apresentados da seguinte forma: gravar todas as etapas do processo de análise (Figura 23), integrar os blocos de códigos gerados com o *Visual Studio Code*, testar o código integrado utilizando a opção *play* da ferramenta *Journaling*, se o código não realiza o que se esperava deve-se realizar correções no código, até que, ao final, o código realize a automatização corretamente, sem erros ou inconsistências. Pode-se visualizar essa sequência de passos que constitui essa metodologia na Figura 25.

Figura 25 - Processo para automatização de processos de análise no NX.



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Utilizando o processo desenvolvido, obtêm-se ao final a automatização desejada. Dentro de cada etapa desse processo têm-se alguma especificidade, e tais serão tratadas no próximo tópico, aonde vamos de fato aplicar este processo para realizar a automatização do processo de análise de factibilidade de pontos de solda.

3.5 CRIAÇÃO DO CÓDIGO QUE REALIZA A AUTOMATIZAÇÃO

Aplicando o processo de automatização desenvolvido no tópico anterior, foram obtidos os blocos de código referentes a cada etapa do processo de análise, desta forma integrar esses blocos de código deve ser a próxima etapa de acordo com o processo. Para a integração dos blocos de códigos, serão utilizados conceitos lógicos de programação que a linguagem VB oferece, como operadores lógicos, funções e estruturas de repetição. A utilização do guia da API *NX Open* será feita para a realização de consultas sobre o funcionamento, funções que poderão ser utilizadas para realizar a integração, estrutura e método da API, dentre outras consultas que podem ser necessárias.

A disponibilização de um relatório da análise deve ser feita a fim de apresentar os dados da análise para consulta, para isto deve ser desenvolvida uma base de dados em *excel*, que realiza o armazenamento das informações sobre o ponto analisado. Esse desenvolvimento será feito durante a integração dos códigos. Cada ponto analisado deve ser registrado na base de dados, incluindo sua situação após a análise (indicando se é factível ou não) e o ID do ponto. Esta base de dados deve ser

salva em uma pasta do computador que está realizando a análise e esta pasta deve ser especificada dentro do código. Dessa maneira, podemos visualizar a estrutura que a base de dados deve apresentar na Tabela 2.

Tabela 2 - Representação fictícia da base de dados gerada pela análise.

ID do ponto	Situação do ponto
Ponto 1	Factível
Ponto 2	Factível
Ponto 3	Factível
Ponto 4	Factível
Ponto 5	Não Factível
Ponto 6	Factível
Ponto 7	Factível
Ponto 8	Factível
Ponto 9	Factível
...	...

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

A consulta das coordenadas dos pontos de solda será feita em uma planilha de *excel* que reflete os dados da Tabela 1, desta forma o código deve fazer uma consulta neste arquivo *.xlsx*, para atribuir os valores das coordenadas *x,y* e *z* onde serão inseridas as pinças.

Os blocos de código gerados consistem em várias linhas de texto, podendo chegar a até 800 linhas por código, deste modo apresentar estes códigos neste trabalho se torna inviável. Para fins práticos, a demonstração de como será feita a integração dos códigos será feita por um pseudocódigo. Os pseudocódigos são uma forma de representar algoritmos por meio de linguagem. Desta forma podemos observar como foi feita a integração dos blocos de código na Figura 26.

Figura 26 - Pseudocódigo da integração dos blocos.

```
1  (Inicio da Rotina de Analise)
2
3  Enquanto houver pontos sem pincas posicionadas:
4      Ler coordenadas do arquivo Excel
5      Importar a pinca para o ponto --- (BLOCO DE CODIGO) ---
6
7  Enquanto houver pontos a serem analisados:
8      Inicializar a analise do ponto
9      Enquanto existirem possibilidades a serem consideradas para o ponto atual:
10         Verificar se ha colisao --- (BLOCO DE CODIGO) ---
11         Verificar a distancia minima --- (BLOCO DE CODIGO) ---
12
13         Se os requisitos tecnicos nao forem atendidos:
14             Rotacionar a pinca --- (BLOCO DE CODIGO) ---
15         Senao:
16             Marcar o ponto como viavel
17
18         Se a pinca foi rotacionada em 360 graus:
19             Marcar o ponto como nao viavel
20
21         Definir o proximo ponto a ser analisado --- (BLOCO DE CODIGO) ---
22         Armazenar dados sobre o ponto na base de dados --- (BLOCO DE CODIGO) ---
23         Continuar a analise do ponto definido
24
25  (Fim da Rotina de Analise)
```

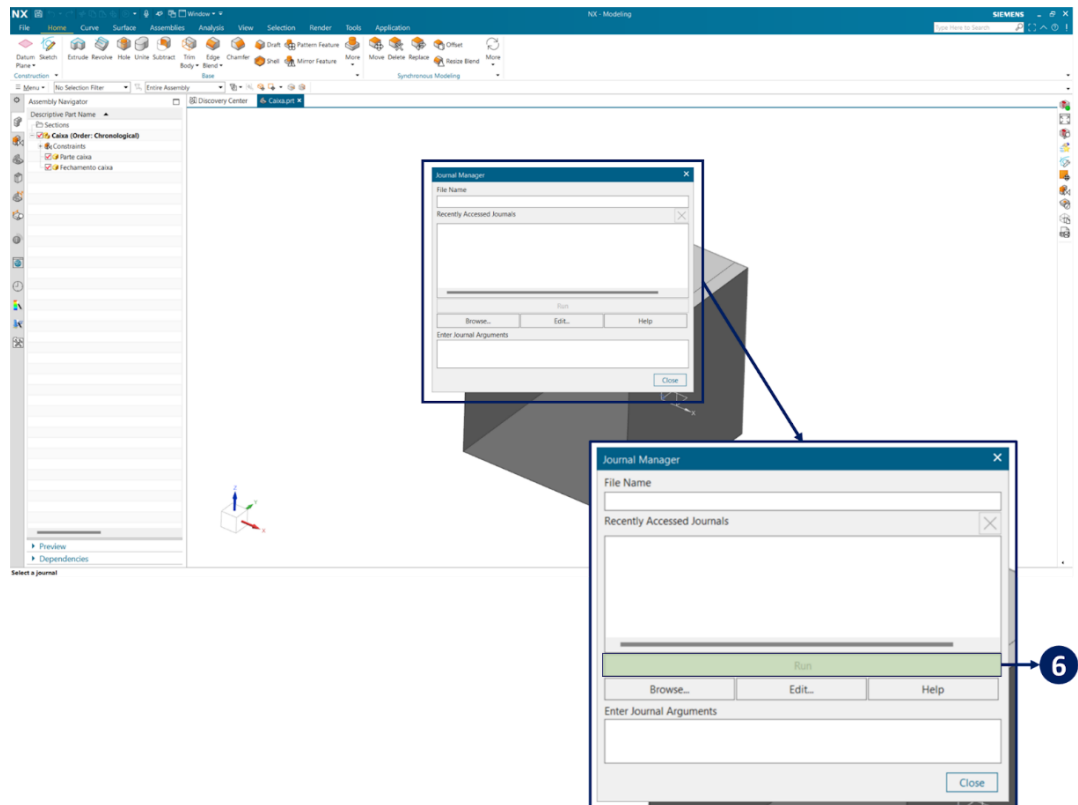
Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Após a integração dos blocos, foi realizado o teste deste código no ambiente do NX para verificar se a automatização da análise apresentava um funcionamento assertivo. Para realizar este teste isso foi utilizada a ferramenta *Journaling*, e o ciclo formado entre a etapa de testes e a etapa de ajustes descrita pelo processo desenvolvido no tópico 3.4 foi realizado até que não houvesse mais ajustes a serem aplicados no código. Desta forma obteve-se no final um código que realiza a automatização do processo de análise de factibilidade de pontos de solda.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para que se observe os resultados do código desenvolvido utiliza-se a opção “Play” da ferramenta *Journaling*, inserindo-o de forma interna ao ambiente do NX. Esse procedimento se dá pela seguinte sequência de passos: acessar o “Menu” (1), acessar a aba “Tools” (2), acessar a aba “Journal” (3). Utilizar a opção “Play” (5), utilizando a Figura 24 como referência. Em seguida é aberta uma janela chamada “*Journal Manager*” onde o arquivo que contém o código em VB deve ser escolhido, em seguida o botão “Run” (6) deve ser pressionado para que o código possa se comunicar com a API.

Figura 27 - Utilizando a janela *Journal Manager* para selecionar e executar o código.

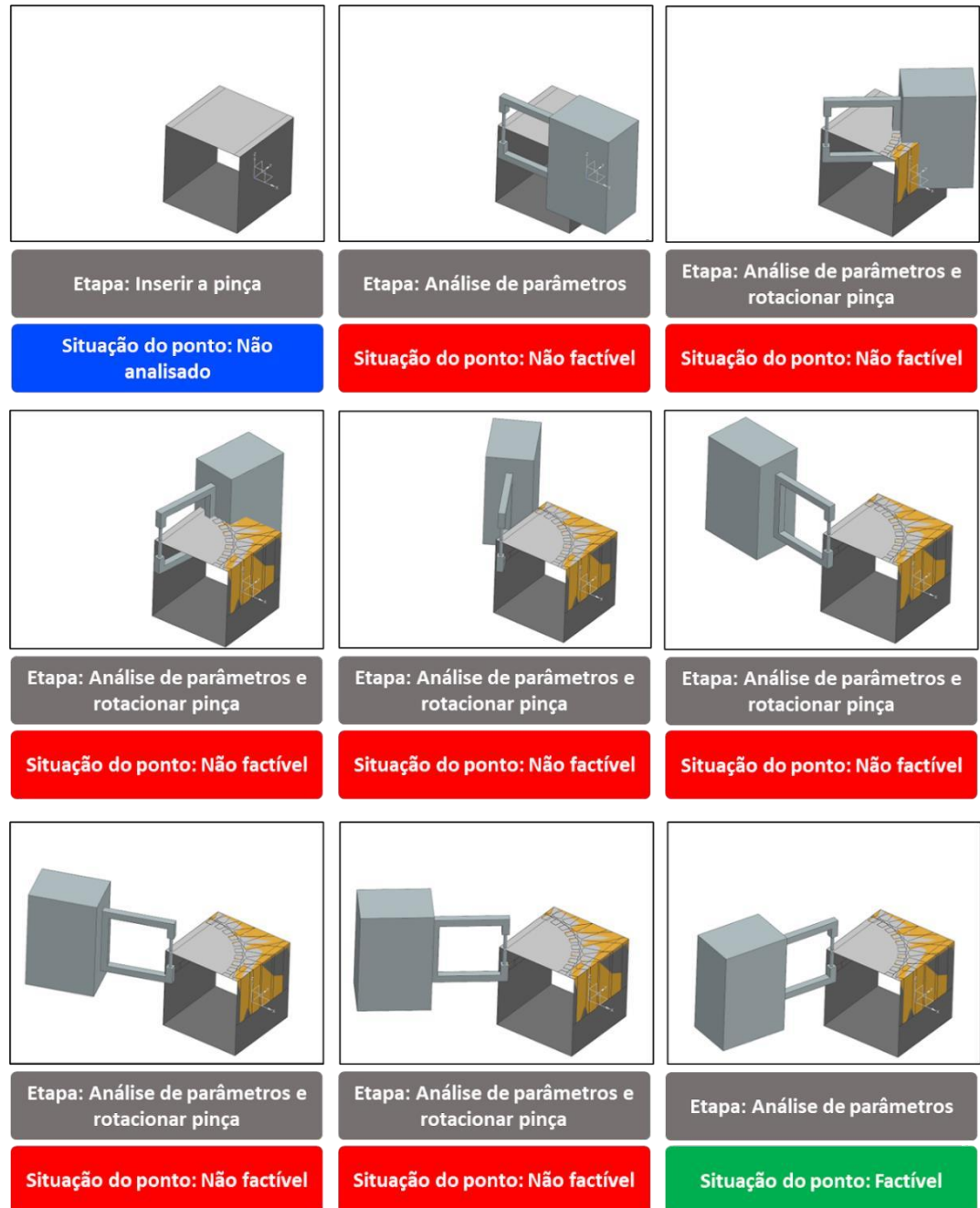


Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Após pressionar o botão “Run” a rotina de análise acontece. Visualizar a totalidade da sequência de passos da análise realizada, é um fator limitante neste trabalho. Para que se possa visualizar de forma simplificada o que acontece na análise, foi escolhido um ponto de solda analisado, e da análise deste ponto, várias capturas de imagem foram feitas do ambiente do NX enquanto a rotina de análise

acontecia. Desta forma apresenta-se na Figura 28, uma aproximação da sequência de passos feitos pela análise deste ponto de solda.

Figura 28 - Demonstração em capturas de tela da análise sendo realizada.



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Uma pequena mudança proposital foi realizada no arquivo .xlsx que contém as coordenadas dos pontos, para que um dos 50 pontos analisados esteja em uma condição não factível, a mudança feita foi nas coordenadas do ponto 5, e uma segunda análise foi realizada para atestar o funcionamento do relatório da análise.

Deste modo podemos observar na Tabela 3 o resultado da análise feita, onde todos os pontos se mostraram factíveis e o ponto 5 se mostra não factível, validando que a análise é de fato realizada de forma assertiva.

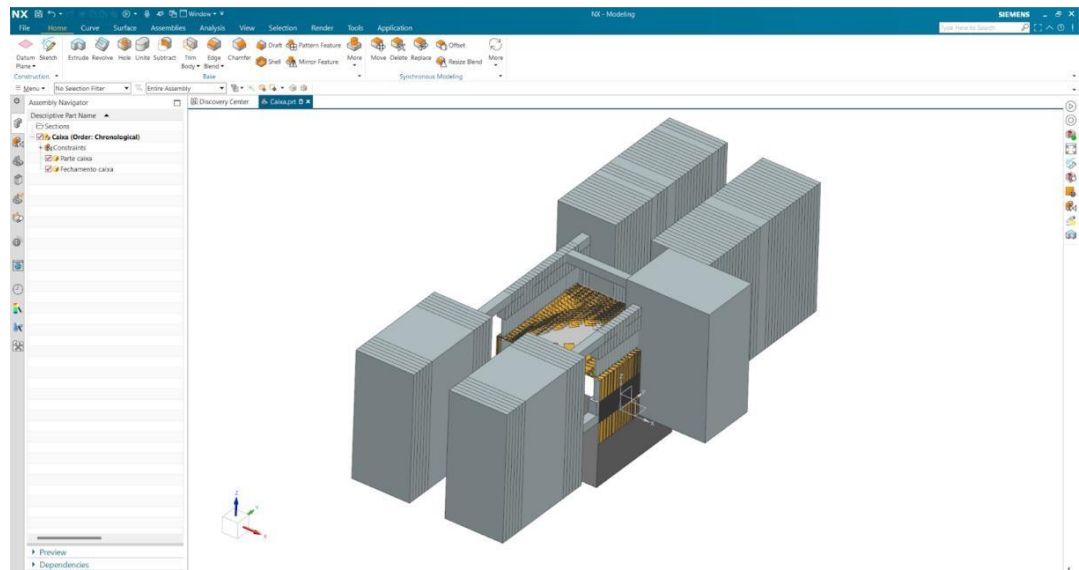
Tabela 3 - Relatório da análise feita.

ID do ponto	Situação do ponto
Ponto 1	Factível
Ponto 2	Factível
Ponto 3	Factível
Ponto 4	Factível
Ponto 5	Não Factível
Ponto 6	Factível
Ponto 7	Factível
Ponto 8	Factível
Ponto 9	Factível
Ponto 10	Factível
Ponto 11	Factível
Ponto 12	Factível
Ponto 13	Factível
Ponto 14	Factível
Ponto 15	Factível
Ponto 16	Factível
Ponto 17	Factível
Ponto 18	Factível
Ponto 19	Factível
Ponto 20	Factível
Ponto 21	Factível
Ponto 22	Factível
Ponto 23	Factível
Ponto 24	Factível
Ponto 25	Factível
Ponto 26	Factível
Ponto 27	Factível
Ponto 28	Factível
Ponto 29	Factível
Ponto 30	Factível
Ponto 31	Factível
Ponto 32	Factível
Ponto 33	Factível
Ponto 34	Factível
Ponto 35	Factível
Ponto 36	Factível
Ponto 37	Factível
Ponto 38	Factível
Ponto 39	Factível
Ponto 40	Factível
Ponto 41	Factível
Ponto 42	Factível
Ponto 43	Factível
Ponto 44	Factível
Ponto 45	Factível
Ponto 46	Factível
Ponto 47	Factível
Ponto 48	Factível
Ponto 49	Factível
Ponto 50	Factível

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Após a análise finalizada, o ambiente de modelagem do NX exibe todas as pinças posicionadas onde tornam os pontos factíveis, ou na posição inicial caso o ponto não seja factível. Na Figura 29 pode-se observar como o ambiente do NX onde a análise foi realizada dispõe os modelos virtuais. A pinça que está paralela às demais representa o ponto 5, que foi propositalmente forçado a ser não factível, retornando a pinça na sua posição inicial.

Figura 29 - Ambiente do NX após a análise realizada.



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

A utilização da sessão do NX onde a análise foi feita, também deve ser empregada como relatório, visando a verificação dos pontos e da interação dos modelos virtuais no ambiente 3D, contribuindo assim para a tomada de decisões no desenvolvimento do produto. Para que essa utilização seja feita, deve-se salvar a sessão em um arquivo que permite a visualização e interação no ambiente do NX. A extensão .prt, proprietária do NX, é a mais recomendada para salvar a sessão, possibilitando a utilização simultânea do relatório apresentado na Tabela 3 para indicar possíveis problemas.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho o principal objetivo foi realizar a análise automatizada de factibilidade de pontos de solda com a api *NX Open*. Para que esta automatização pudesse acontecer, ferramentas e métodos foram utilizados. Compreender como a aplicação dessas ferramentas e métodos contribuiu para essa automatização é parte essencial para a conclusão. Dessa forma, apresenta-se a seguir uma análise sobre os temas relevantes ao tópico.

O processo de análise desenvolvido se mostra satisfatório para que a análise de factibilidade de pontos de solda seja realizada. A criação das etapas do processo de análise permite uma quebra do problema proposto em etapas menores, e cria um fluxo de análise com ações bem definidas e condições que permitem uma complexidade maior na definição do processo.

A aplicação do processo de automatização desenvolvido no tópico 3.4, apresenta um resultado satisfatório na automatização de processos de análise dentro do NX. A sequência de passos permite que um usuário possa realizar um processo de automatização de qualquer processo de análise, desde que seja tecnicamente viável diante das limitações que o *software* apresenta. Desta forma o processo desenvolvido pode ser usado de forma generalista na automatização de processos de análise que são feitos no ambiente do NX utilizando a API *NX Open*, e não se limita apenas a automatização da análise de factibilidade de pontos de solda apresentada neste trabalho.

O código desenvolvido apresenta um funcionamento assertivo, realizando a rotina de análise sem inconsistências ou erros. A utilização do VB como linguagem de programação permite a aplicação de conceitos e ferramentas que são úteis na criação e integração dos blocos de código gerados pela ferramenta *Journaling* do NX.

A criação do relatório, apresenta uma correta leitura dos dados gerados na análise, permitindo que as análises feitas sejam verificadas posteriormente, para que o ciclo de desenvolvimento entre as etapas de projeto conceitual e projeto preliminar, descrito no tópico 2.2 possa ser realizado.

O trabalho apresentou uma solução para a automatização do processo de análise descrito, mas também define que esta solução pode ser utilizada de forma generalista. A utilização da programação apresenta uma grande gama de

possibilidades, desta forma o enriquecimento deste trabalho em pesquisas futuras se torna relevante e viável.

REFERÊNCIAS

- HARRELL, Charles; GHOSH, Biman K.; BOWDEN, Royce. **Simulação usando promodel**. Nova York: McGraw-Hill, 2000.
- AVILA, Thales Lucas Diniz de; BRACARENSE, Alexandre Queiroz. **Influência dos parâmetros de soldagem no ensaio de torção de solda a ponto em um dispositivo automatizado recém desenvolvido**. Soldagem & Inspeção, v. 22, p. 228-237, 2017.
- TAVASOLIZADEH, A.; MARASHI, S. P. H.; POURANVARI, M. **Mechanical performance of three thickness resistance spot welded low carbon steel**. Materials Science and Technology, v. 27, n. 1, p. 219-224, 2011.
- SILVA, Gabriel Miranda. **Desenvolvimento de uma RPA aplicada no contexto de um call center**. 2022.
- American National Standards Institute. **Recommended Practices for Resistance Welding**. Danvers, 6th Edition, out.2022. Disponível em: <https://pubs.aws.org/Download_PDFS/C1.1M_C1.1_2019_AMD1_PV.pdf>. Acesso em: 1 dez. 2023
- BATISTA, Márcio. **Desenvolvimento de um processo de soldagem a ponto por resistência elétrica utilizando manufatura aditiva**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2020.
- MARQUES, Paulo Villani. **Soldagem-fundamentos e tecnologia**. Editora UFMG, 2005.
- SCHIBELBAIN, Daniel et al. **Método para redução de tempo computacional e melhoria de flexibilidade de demanda no balanceamento de linhas de soldagem robotizadas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná .2021.
- Spot Welding Guns. **YASKAWA**. Disponível em: <https://www.yaskawa.eu.com/products/robots/hardware%20accessories/seriesdetail/serie/spot-welding-guns_11274>. Acesso em: 15 nov. 2023.
- Projeto de Aplicação de Robôs. **MSM Soluções Industriais**. Disponível em: <<https://msmindustrial.com.br/projeto-de-aplicacao-de-robos/>>. Acesso em: 01 nov. 2023.
- ROZENFELD, Henrique; AMARAL, Daniel Capaldo. **Gestão de projetos em desenvolvimento de produtos**. São Paulo: Saraiva, 2006.
- PRAZERES, Douglas Alexandre. **Estruturação de metodologia de projeto de produto para uma empresa do ramo metalmeccânico da Grande Florianópolis**. 2021.

BACK, Nelson et al. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. 2008.

SCHÜTZER, Klaus; DE SOUZA, Nara Lúcia. **Implantação do "Digital Mockup" na Indústria Automotilística: conquistando vantagens competitivas**. 1999.

WÖHLKE, Günter; SCHILLER, Emmerich. Validação de planejamento digital na indústria automotiva. **Computadores na indústria**, v. 56, n. 4, pág. 393-405, 2005.

SHEHAB, Essam et al. Melhorando a disponibilidade de dados de projeto digital na indústria aeroespacial. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, v. 4, pág. 240-246, 2010.

GHERGHINA, George et al. Processo baseado em modelo 3D na indústria automotiva. **Applied Mechanics and Materials**, v. 880, pág. 151-156, 2018.

BUTDEE, Manoch Numfu Suthep; NOOMTONG, Chaiwat. Estudo de comparação de 2D e 3D para design automotivo por Digital Mockup. **Journal of Metals, Materials and Minerals**, v. 18, n. 2, p. 41-44, 2008.

MANIKAS, Konstantinos. Revisitando a pesquisa em ecossistemas de software: Um estudo longitudinal da literatura. **Journal of Systems and Software**, v. 117, p. 84-103, 2016.

O que é uma API? – Guia de APIs para iniciantes. **AWS**. Disponível em: <<https://aws.amazon.com/pt/what-is/api/>>. Acesso em: 15 de out. de 2023.

BASSETTO, Edson Luis et al. **Proposta de metodologia para o ensino das fases de projeto informacional e projeto conceitual**. 2004.

EAA Aluminium Automotive Manual – Joining. **The Aluminium Automotive Manual**. 2015. Disponível em: <https://european-aluminium.eu/wp-content/uploads/2022/11/5-resistance-welding_2015.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2023.

RAJADHYAKSHA, Rahul. **Spot Welding Design Guidelines**. 2016. Apostila em PDF. Disponível em: < <https://pt.scribd.com/document/299040284/DFM-Guidebook-Welding-Design-Guidelines-Issue-XVII>. Acesso em: 08 de nov de 2023.

OLIVEIRA, Wallace. O que é, afinal, um processo na administração? **Helfo**, 13 dez.2019. Disponível em: <<https://www.heflo.com/pt-br/melhoria-processos/o-que-e-processo-na-administracao/>> Acesso em: 05 nov. 2023.

PAIM, R.; CARDOSO, V.; CAULLIRAUX, H.; CLEMENTE, R. **Gestão de processos: pensar, agir e aprender**. Porto Alegre: Bookman, 2009.

RIBEIRO, T. D. O. et al. Benefícios do BPMN na Modelagem dos Processos: Um Estudo Exploratório. In: **Simpósio de Engenharia de Produção**. 2015.

LAUE, Ralf; AWAD, Ahmed. **Sugestões visuais para melhorias em diagramas de processos de negócios**. *Journal of Visual Languages & Computing*, v. 5, pág. 385-399, 2011.

Graphical notations for business processes. **OMG Standards Development Organization**. Disponível em: < <https://www.omg.org/bpmn/>>. Acesso em: 15 nov. 2023.

Qual chapa é usada na funilaria. **BEPEX**. Disponível em: <<https://bepex.com.br/qual-chapa-e-usada-na-funilaria/#:~:text=A%20espessura%20da%20chapa%20de,a%20pr%C3%B3pria%20fibra%20de%20carbono.>>. Acesso em: 10 dez. 2023.

PRESSMAN, Roger S.; MAXIM, Bruce R. **Engenharia de software-9**. McGraw Hill Brasil, 2021.